

**Guías para los laboratorios de
Electrónica 1 y Electrónica 3**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

**Guías para los laboratorios de
Electrónica 1 y Electrónica 3**

Trabajo de investigación presentado para
optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Electrónica



Guatemala

2003

PREFACIO

Existen ciertos fenómenos en la electrónica que no se entienden bien hasta que se llega a la parte práctica y se experimenta con los dispositivos y sus propiedades; y especialmente para un ingeniero, la puesta en práctica de la teoría que conoce de cada elemento es una parte fundamental para solucionar problemas.

Por lo tanto, los laboratorios en la clase de electrónica son esenciales para obtener un entendimiento óptimo de las características de cada fenómeno y las propiedades de cada dispositivo. Con este trabajo de tesis, se espera mejorar la calidad del conocimiento obtenido por los alumnos en la clase, unificando los objetivos del curso teórico con prácticas de laboratorio que vayan acorde a lo que se mira en clase y el alumno llegue a entender la forma adecuada de aplicar sus conocimientos teóricos.

La publicación en Internet de las prácticas, descritas adecuadamente, junto con fotografías, simulaciones y referencias teóricas, pretende presentar los laboratorios de una forma mejor planeada, sin improvisaciones y más ordenada, para facilitar el estudio de el alumno, de manera que él pueda planificar lo que deba repasar antes de la práctica; qué materiales debe proporcionar; y, para que después de realizar la práctica pueda consultar, cuando él lo crea conveniente, la guía de la práctica con las simulaciones.

La guía del auxiliar presenta una ayuda para la persona encargada del laboratorio y asegura, al departamento, el cumplimiento de los objetivos primordiales de cada práctica en el laboratorio.

Aunque en el trabajo se presentaron ciertas limitaciones, todas éstas fueron superadas sin mucha dificultad, en gran parte gracias al apoyo del Ing. Julio Vásquez, asesor de esta tesis, quien en todo momento contribuyó con este trabajo aportando ideas y material didáctico para un mejor entendimiento de los objetivos de ésta.

También es oportuno agradecer al Dr. Manuel López, director del departamento de Electrónica, quien me dio la confianza y la libertad para trabajar en esta tesis, incorporando también ideas y sugerencias que fueron de mucha utilidad.

CONTENIDO

Página

RESUMEN i

Capítulos

I. INTRODUCCIÓN 1

II. GUÍAS ELECTRÓNICA 1 5

III. GUÍAS ELECTRÓNICA 3 134

IV. PEQUEÑO MANUAL PARA ADMINISTRACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE LOS
LABORATORIOS DE ELECTRÓNICA 1 Y ELECTRÓNICA 3 EN INTERNET .. 269

V. CONCLUSIONES 276

VI. BIBLIOGRAFÍA 277

RESUMEN

Las prácticas de laboratorio son parte esencial de una educación completa, especialmente para clases como Electrónica en donde la teoría no se llega a entender por completo hasta que se pone las manos en la práctica. Universidades como el MIT (Massachusetts Institute of Technology) tienen ya bastante experiencia en la planificación de laboratorios y elaboración de guías. En la actualidad los laboratorios de electrónica en el MIT están planificados para pasar la mitad del curso estudiando temas como diodos, transistores, Jfets, amplificadores operacionales, etc. y la otra mitad del curso es dedicada para que los estudiantes diseñen y construyan su propio proyecto. Estos proyectos varían desde un amplificador de potencia, hasta unos audífonos con supresión de ruido. Las guías están diseñadas para minimizar el análisis matemático y hacer un énfasis en el entendimiento visual e intuitivo de los circuitos. Se publican tres guías de laboratorio, y los alumnos tienen dos semanas para realizar cada una de ellas. Cada guía trae consigo las instrucciones para hacer un pre-laboratorio el cual debe ser entregado a la entrada al laboratorio cada semana. Este pre-laboratorio consiste en ejercicios de análisis de circuitos y lecturas de libros de referencia o manuales de los dispositivos que se utilizarán en la práctica. Todas las guías hacen referencia a la utilización de equipo como multímetros digitales, osciloscopios y generadores de funciones. Todas las guías están publicadas en una página en Internet en formato PDF, en formato Word y en formato Html, junto con ejercicios y links a sitios donde el alumno puede encontrar información de referencia.

Otra universidad que también tiene una muy buena planificación de guías para laboratorios de electrónica es el ITESM (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey). En las guías se cubren temas como: elementos pasivos, diodos, transistores, SCR's, Triac's y el circuito integrado 555. Además la guía del primer laboratorio pretende introducir al alumno en el uso de los manuales de los

componentes y de los equipos de medición. El objetivo principal de las guías es el de describir el diseño y la construcción de circuitos específicos, de tal modo que al alimentarlos se obtengan señales deseadas y éstas se midan con multiprobadores y osciloscopios. En las guías se pide la presentación de un pre-reporte y un reporte de la práctica por el alumno. Cada guía está publicada en una página de Internet en formato Html, con instrucciones para hacer simulaciones de los circuitos en el programa Pspice de MicroSim Corporation.

La universidad Carnegie Mellon también es una de las pioneras en la educación con laboratorios. Los cursos de fundamentos de Electrónica basan las guías de sus laboratorios en la elaboración de un cuaderno de laboratorio, en el cual deben apuntar todos sus resultados y conclusiones del experimento que realizaron para poder después realizar adecuadamente su reporte, además los alumnos deben comprar un kit de laboratorio el cual incluye todos los dispositivos a utilizar en las prácticas. La guía de cada práctica, luego de mostrar partes básicas de teoría, muestra cómo diseñar un proyecto utilizando los conceptos mostrados en la teoría como por ejemplo: diseño de filtros, sintetizadores de audio, amplificadores de audio, etc. cada guía incluye sugerencias para que la experiencia en el laboratorio sea menos frustrante y más productiva. Además, en todas las guías se incluye una lista de los componentes que se utilizarán. Todas las guías están publicadas en una página de Internet específica para ello, junto con un vínculo a un pizarrón electrónico en donde el estudiante puede publicar sus dudas y comentarios para que sean resueltos por el auxiliar o por algún otro estudiante.

La elaboración de las prácticas tiene como fin formar una guía más personalizada y mejor descrita para el auxiliar y el estudiante, que más que referencia sea realmente un instrumento con herramientas como la simulación utilizando el programa Circuit Maker, referencias de libros o internet, y ayuda en línea. El trabajo consistirá en que después de tener ya planificadas las prácticas, se probará cada una de ellas para corroborar que se consiguen los resultados que pide el experimento, y luego de haber

probado cada práctica en un protoboard y simularla en un paquete de software, colocarlas en la página web del departamento o en una página web exclusiva para ello junto con el circuito simulado funcionando en Circuitmaker para que el estudiante pueda acceder a ella en cualquier momento que desee, para comprobar resultados, resolver dudas o simplemente aplicar cualquier tipo de mejora al circuito propuesto.

Cada práctica deberá incluir:

- Título
- Objetivos
- Materiales a utilizar
- Teoría previa al desarrollo de la práctica
- Diagrama de los circuitos
- Resultados teóricos
- Temas a discusión
- Simulación
- Fotos de los circuitos hechos en protoboard(opcional)
- Preguntas del Laboratorio
- Enlaces a libros o sitios de internet para referencia

Además, cada práctica incluirá una guía para el auxiliar, en la cual se describirán las partes en las que el auxiliar deberá poner más énfasis, y los resultados que se deberían esperar de la práctica.

La información en internet se presentará utilizando la herramienta que proporciona la Universidad, Teleduc. La página está estructurada de tal manera que se incluye la lista de prácticas para cada laboratorio, y cada práctica tiene un vínculo a su respectiva guía en formato Word. Además, en la página se encuentra un vínculo para poder descargar los archivos de las simulaciones para la práctica que desee el alumno. Información de dónde contactar a los encargados de la clase también se incluye.

A continuación se presenta una lista de los temas que podrían ser tratados en los laboratorios, algunos de estos temas podrían agruparse para formar una sola práctica, otros en cambio podrían llevarse a cabo individuales en una sola práctica:

Electrónica 1

- Comprobar las características típicas de un diodo. (Curva del Diodo)
- Experimentación con rectificadores de onda(onda completa, media onda, etc.)
- Compuertas lógicas con diodos.
- Protección de circuitos con diodos.
- Funcionamiento del diodo a altas frecuencias.
- Efectos de temperatura en el diodo.
- Regulación de voltaje con diodos zener.
- Comprobar las características típicas de transistores NPN y PNP. (Curva del transistor)
- El transistor como amplificador.(Operación en modo activo).
- Polarización de un transistor. (Como fijar un punto DC).
- Configuraciones de amplificadores de una etapa. (Emisor Común, Base Común, Colector Común).
- El inversor lógico de BJT.
- Utilización del transistor como switch. Región de corte y saturación.
- Experimentación con transistores de tipo FET.
- Etapas de potencia con transistores

Electrónica 3

- Aplicaciones de la configuración inversora de un opamp (inversor, multiplicador, sumador, diferenciador, integrador, etc.)
- Aplicaciones de la configuración no inversora de un opamp.(el seguidor de voltaje).
- Circuitos de comparación y aplicaciones de control. (Schmitt Trigger).
- Diseño de filtros activos de primer orden.
- Diseño de filtros activos de segundo orden.
- Limitación en frecuencia del opamp.

I. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios son parte fundamental de cualquier curso científico. Esto se debe a que por lo regular los temas de un curso expuestos en la clase teórica no se terminan de entender por completo por los alumnos hasta que se llega a la experimentación.

En el caso específico de los cursos de Electrónica 1 y de Electrónica 3, los laboratorios son de gran importancia ya que los dispositivos estudiados tienen características de operación reales que sólo al experimentar con ellos se pueden observar. Además en los laboratorios se pueden exponer muchas aplicaciones de los dispositivos y circuitos estudiados en la clase teórica que pueden servir para diseñar e implementar soluciones para diversos problemas de ingeniería.

Para que la experiencia del laboratorio por parte del alumno y el instructor sea llevada de la mejor manera, es primordial la planificación. Éste es uno de los objetivos principales del trabajo presentado. El presente trabajo consiste en una serie de guías con simulaciones para cada uno de los laboratorios de Electrónica 1 y de Electrónica 3. Las guías propuestas están planificadas según una calendarización basada en los temas expuestos en cada curso en la clase teórica. De esta manera se busca que el alumno llegue al laboratorio con los conocimientos teóricos de los circuitos y dispositivos que utilizará en la práctica del laboratorio de la semana.

Para el laboratorio del curso de Electrónica 1 se proponen diferentes prácticas que se pueden dividir en tres partes, las prácticas 1, 2, 3 y 4 estudian el funcionamiento y operación de los diodos, las prácticas 5, 6, 7 y 8 estudian el funcionamiento y operación de transistores y las prácticas 9, 10, 11, 12 y 13 tratan aplicaciones específicas con diodos y transistores. A continuación se presenta un listado de las prácticas realizadas para el curso de Electrónica 1:

- Práctica #1: Curva característica del diodo.
- Práctica #2: Circuitos rectificadores.
- Práctica #3: Diodos Zener.
- Práctica #4: El diodo Zener y la regulación de voltaje.
- Práctica #5: Características típicas de transistores NPN.

- Práctica #6: Polarización de un transistor BJT.
- Práctica #7: Configuraciones de amplificadores con transistores de una etapa.
- Práctica #8: Amplificadores multi-etapa.
- Práctica #9: Amplificadores de potencia.
- Práctica #10: Transistores de efecto de campo (FET).
- Práctica #11: El circuito limitador.
- Práctica #12: El circuito recortador.
- Práctica #13: Polarización de un transistor BJT por retroalimentación en el colector.

Para el laboratorio del curso de Electrónica 3 se proponen también diferentes prácticas que se pueden dividir en tres partes, las prácticas 1, 2, 3 y 4 estudian el funcionamiento y operación de amplificadores operacionales, las prácticas 5, 6, 7 y 8 estudian las características de frecuencia de los amplificadores operacionales y las prácticas 9, 10, 11 y 12 estudian aplicaciones de amplificadores operacionales y diodos. A diferencia del laboratorio de Electrónica 1, en este laboratorio las prácticas pretenden que el alumno en la mayoría de los casos diseñe e implemente sus propios circuitos para satisfacer ciertos requisitos solicitados por la guía, de esta manera se exige que el alumno desarrolle su capacidad de diseño, cualidad primordial en un ingeniero. A continuación se presenta el listado de prácticas realizadas para el curso de Electrónica 3:

- Práctica #1: Aplicaciones de la configuración inversora de un opamp.
- Práctica #2: Aplicaciones de la configuración no inversora de un opamp.
- Práctica #3: El amplificador operacional diferencial.
- Práctica #4: Circuitos comparadores.
- Práctica #5: Efecto de la frecuencia en un circuito amplificador.
- Práctica #6: Filtros activos: pasa altos y pasa bajos.
- Práctica #7: Filtros pasa bandas y el factor de calidad.
- Práctica #8: El diagrama de bode.
- Práctica #9: Amplificadores operacionales con diodos y transistores.
- Práctica #10: El circuito desfásador.
- Práctica #11: El circuito acondicionador de señal.
- Práctica #12: Aplicación de un circuito acondicionador en el control de temperatura.

Cada guía contiene uno o varios archivos de simulación, que el alumno debe observar y analizar utilizando Circuit Maker 2000, antes de llegar al laboratorio a realizar la práctica correspondiente a la semana. El objetivo de las simulaciones es que el alumno sepa qué resultados deben obtenerse en los circuitos antes de implementarlos en la realidad.

El trabajo presenta, para cada práctica, una guía del alumno y una guía del instructor. La guía del alumno consta de las siguientes partes:

- **Objetivos Específicos:** En este apartado se presentan los objetivos principales que el alumno debe alcanzar al finalizar la práctica.
- **Antecedentes teóricos:** Aquí se presenta la teoría necesaria para poder resolver adecuadamente la práctica.
- **Pre-Laboratorio:** La mayoría de la guía contiene ejercicios en este apartado que el alumno deberá resolver antes de llegar al laboratorio.
- **Descripción breve:** En este apartado se presenta un resumen de lo que el alumno debe realizar y los resultados a los que deberá llegar.
- **Materiales:** Aquí se incluyen los materiales que se utilizarán para construir los circuitos de la práctica. Es muy importante que el alumno lea este apartado antes de llegar al laboratorio para conseguir los materiales completos antes del día del laboratorio.
- **Procedimiento y Preguntas:** Ésta es la parte más importante de la práctica, aquí se presentan los circuitos a construir, las señales a medir y algunas preguntas que ayudarán a analizar de una mejor manera los circuitos.
- **Referencias:** Los libros y sitios de Internet que el alumno puede consultar si desea hacer una investigación más a fondo de los temas presentados en la guía.

Se presenta una guía del instructor para que éste sea capaz de conocer los resultados que los alumnos deben obtener en cada práctica, para que la evaluación de los laboratorios se lleve a cabo de una manera más justa y eficaz. La guía del instructor consta de las mismas partes que la guía del alumno y de las siguientes dos partes más:

- **Respuestas al pre-laboratorio:** En este apartado se presentan la resolución analítica a los ejercicios propuestos.

- Resolución al procedimiento y respuestas: Aquí se presentan los circuitos que el alumno debe de construir, los resultados de las mediciones que el alumno debe obtener, las gráficas que el alumno debe realizar, las figuras de las formas de onda que el alumno debe observar con el osciloscopio en la práctica y las respuestas a las preguntas de análisis de los circuitos. Todos estos resultados están basados principalmente en los resultados obtenidos con el programa simulador y en algunos casos en los resultados obtenidos al haber realizado la práctica en la realidad.

Para que el profesor, el alumno o el instructor tengan acceso a toda la información correspondiente a los laboratorios de Electrónica 1 y Electrónica 3 todo el tiempo, se incluyó la información de los laboratorios en un portal en Internet. La herramienta que se utilizó fue el TelEduc, el cual es un ambiente que pertenece a la Universidad del Valle de Guatemala y en donde se abrió un espacio exclusivo en donde residen todos los archivos, guías, simulaciones y material de apoyo para cada práctica de los laboratorios. Se utilizó esta herramienta ya que puede ser fácilmente modificada por el profesor o el instructor del laboratorio cuando éste lo desee. En el trabajo se incluye un pequeño manual para aprender los pasos básicos para utilizar el ambiente Tel-Educ en el espacio exclusivo de los laboratorios de Electrónica 1 y Electrónica 3.

**II.
GUÍAS
ELECTRÓNICA 1**

CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO PRÁCTICA #1

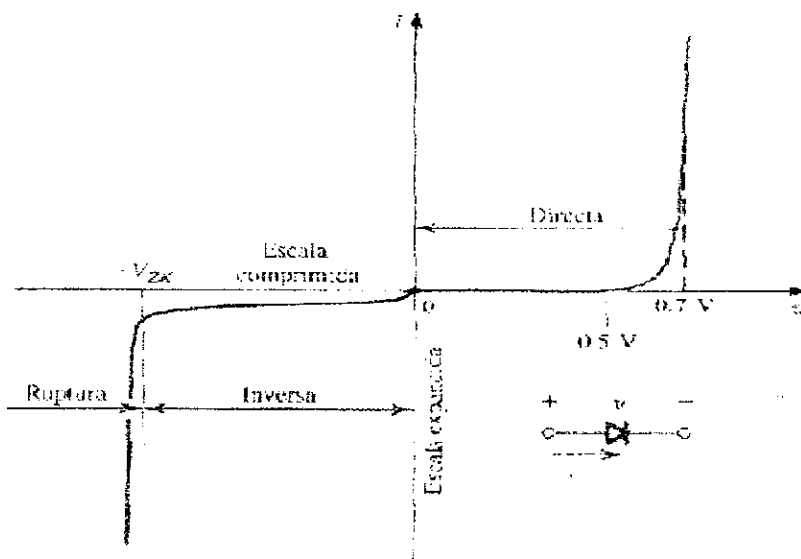
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un circuito que le permita al estudiante observar mediante la construcción de una tabla, la curva de corriente vrs. voltaje característica del diodo.
- Comparar los resultados obtenidos en las mediciones de voltaje y corriente del circuito implementado, con los resultados obtenidos de voltaje y corriente en la simulación del circuito.
- Identificar en la gráfica las tres diferentes regiones de la curva característica del diodo.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El elemento no lineal más sencillo y fundamental es el diodo. Al igual que el resistor, el diodo tiene dos terminales; pero, a diferencia de aquél, que tiene una relación lineal entre la corriente que circula a través de ese elemento y el voltaje que aparece en sus terminales, el diodo tiene una curva característica I-V no lineal.

En la siguiente figura se muestra la curva característica I-V de un diodo de unión de silicio. Nótese que en los diodos de germanio u otros materiales semiconductores la gráfica varía un poco.



Como se ve en la figura, la curva característica consta de tres regiones distintas:

1. La región polarizada directamente, determinada por $V > 0$.
2. La región polarizada inversamente, determinada por $V < 0$.
3. La región de ruptura, determinada por $V < -V_{zk}$.

Cada una de estas regiones tiene sus características especiales que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones.

DESCRIPCIÓN BREVE

El estudiante deberá hacer mediciones de voltaje y corriente que le permitan construir una tabla de valores para poder obtener la gráfica de la curva característica del diodo. Después de haber obtenido la gráfica el estudiante deberá analizar las tres regiones diferentes de la curva característica del diodo para poder caracterizarlas con una ecuación. El estudiante cuenta con un archivo de simulación como apoyo para la realización de la práctica.

MATERIALES

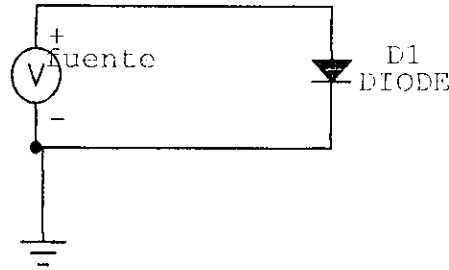
- un diodo de silicio
- fuente de voltaje regulada

PROCEDIMIENTO

1. Es obligatorio que el estudiante haya revisado la simulación incluida con la práctica antes de llegar al laboratorio. En la simulación de la presente práctica, únicamente debe variar el voltaje de la fuente y medir la corriente en el diodo que se muestra en uno de los multímetros conectados al circuito, para llenar la tabla siguiente:

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

2. Construya en su protoboard el circuito que se muestra a continuación:



3. Haga mediciones de voltaje en el diodo y de corriente en el circuito variando la fuente de voltaje de 0 a 2 voltios con variaciones de 0.1 voltio, y de 2 a 10 voltios con variaciones de 1 voltio. (NOTA: Si al aumentar el voltaje de la fuente, nota que el diodo se calienta demasiado, incluya una resistencia de 1 k Ω en el circuito entre la fuente y el diodo. En este caso para construir la gráfica que se requiere en el inciso 5 deberá tomar los datos de la corriente en el circuito y el voltaje a través del diodo, no el voltaje de la fuente.)
4. Haga los cambios adecuados en el circuito para hacer mediciones de voltaje en el diodo y de corriente en el circuito variando la fuente de voltaje de 0 a -2 voltios con variaciones de 0.1 voltio, y de -2 a -12 voltios con variaciones de 1 voltio y complete la siguiente tabla: (NOTA: Si al aumentar el voltaje de la fuente, nota que el diodo se calienta demasiado, incluya una resistencia de 1 k Ω en el circuito entre la fuente y el diodo. En este caso para construir la gráfica que se requiere en el inciso 5 deberá tomar los datos de la corriente en el circuito y el voltaje a través del diodo, no el voltaje de la fuente.)

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

5. Con los datos obtenidos anteriormente trace una gráfica de corriente vrs. voltaje y observe la curva de su diodo. Haga una comparación de los datos obtenidos experimentalmente con los obtenidos en la simulación.

PREGUNTAS

1. ¿Puede identificar en su gráfica el punto $-V_{ZK}$ donde inicia la región de ruptura?
2. ¿Qué diferencias habrían si se hubiera utilizado un diodo de germanio?
3. Encuentre una ecuación para la curva en cada una de las tres regiones de la gráfica y compárela con las ecuaciones teóricas de cada región.

Referencias:

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- www.americanmicrosemi.com/tutorials/diode.htm
- jever.phys.ualberta.ca/~gingrich/phys395/notes/node55.html

CURVA CARACTERÍSTICA DEL DIODO PRÁCTICA #1

GUÍA PARA EL AUXILIAR

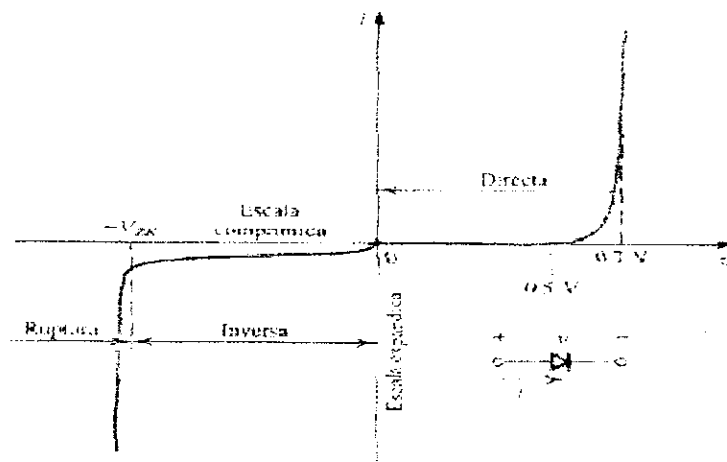
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Implementar un circuito que le permita al estudiante observar mediante la construcción de una tabla, la curva de corriente vrs. voltaje característica del diodo.
- Comparar los resultados obtenidos en las mediciones de voltaje y corriente del circuito implementado, con los resultados obtenidos de voltaje y corriente en la simulación del circuito.
- Identificar en la gráfica las tres diferentes regiones de la curva característica del diodo.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El elemento no lineal más sencillo y fundamental es el diodo. Al igual que el resistor, el diodo tiene dos terminales; pero, a diferencia de aquél, que tiene una relación lineal entre la corriente que circula a través de ese elemento y el voltaje que aparece en sus terminales, el diodo tiene una curva característica I-V no lineal.

En la siguiente figura se muestra la curva característica I-V de un diodo de unión de silicio. Nótese que en los diodos de germanio u otros materiales semiconductores la gráfica varía un poco.



Como se ve en la figura, la curva característica consta de tres regiones distintas:

1. La región polarizada directamente, determinada por $V > 0$.
2. La región polarizada inversamente, determinada por $V < 0$.
3. La región de ruptura, determinada por $V < -V_{zk}$.

Cada una de estas regiones tiene sus características especiales que las hacen adecuadas para diferentes aplicaciones.

DESCRIPCIÓN BREVE

El estudiante deberá hacer mediciones de voltaje y corriente que le permitan construir una tabla de valores para poder obtener la gráfica de la curva característica del diodo. Después de haber obtenido la gráfica el estudiante deberá analizar las tres regiones diferentes de la curva característica del diodo para poder caracterizarlas con una ecuación. El estudiante cuenta con un archivo de simulación como apoyo para la realización de la práctica.

MATERIALES

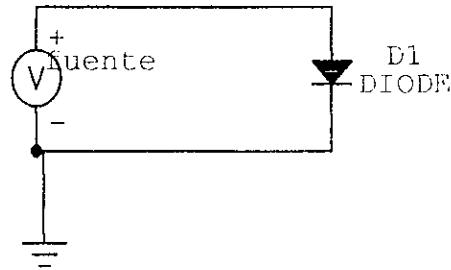
- un diodo de silicio
- fuente de voltaje regulada

PROCEDIMIENTO

1. Es obligatorio que el estudiante haya revisado la simulación incluida con la práctica antes de llegar al laboratorio. En la simulación de la presente práctica, únicamente debe variar el voltaje de la fuente y medir la corriente en el diodo que se muestra en uno de los multímetros conectados al circuito, para llenar la tabla siguiente:

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

2. Construya en su protoboard el circuito que se muestra a continuación:



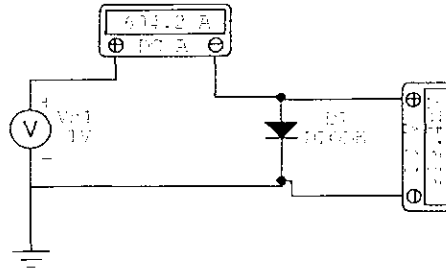
3. Haga mediciones de voltaje en el diodo y de corriente en el circuito variando la fuente de voltaje de 0 a 2 voltios con variaciones de 0.1 voltio, y de 2 a 10 voltios con variaciones de 1 voltio. (NOTA: Si al aumentar el voltaje de la fuente, nota que el diodo se calienta demasiado, incluya una resistencia de 1 k Ω en el circuito entre la fuente y el diodo. En este caso para construir la gráfica que se requiere en el inciso 5 deberá tomar los datos de la corriente en el circuito y el voltaje a través del diodo, no el voltaje de la fuente.)
4. Haga los cambios adecuados en el circuito para hacer mediciones de voltaje en el diodo y de corriente en el circuito variando la fuente de voltaje de 0 a -2 voltios con variaciones de 0.1 voltio, y de -2 a -12 voltios con variaciones de 1 voltio y complete la siguiente tabla: (NOTA: Si al aumentar el voltaje de la fuente, nota que el diodo se calienta demasiado, incluya una resistencia de 1 k Ω en el circuito entre la fuente y el diodo. En este caso para construir la gráfica que se requiere en el inciso 5 deberá tomar los datos de la corriente en el circuito y el voltaje a través del diodo, no el voltaje de la fuente.)

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

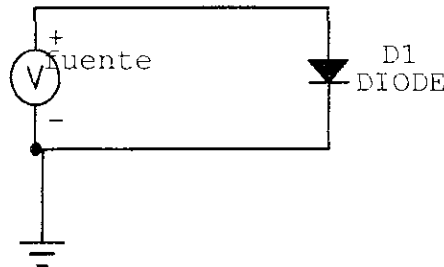
5. Con los datos obtenidos anteriormente trace una gráfica de corriente vrs. voltaje y observe la curva de su diodo. Haga una comparación de los datos obtenidos experimentalmente con los obtenidos en la simulación.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO

1. La simulación incluida en la práctica se observa como muestra la figura siguiente. Esta simulación se utilizará para obtener los valores de voltaje y corriente necesarios para llenar la tabla.



2. Construya en su protoboard el circuito que se muestra a continuación:

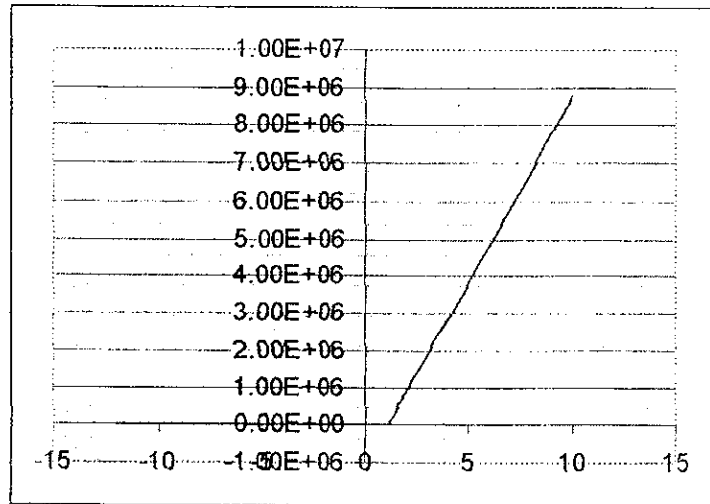


3. Para observar los resultados para los voltajes positivos vea la tabla que se muestra a continuación.
4. Para observar los resultados para los voltajes negativos vea la tabla que se muestra a continuación.

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10	8.753MA	1.8	621.2kA	0.8	271.1mA	-0.2	-2nA	-3	-30nA
9	7.756MA	1.7	525.5kA	0.7	5.675mA	-0.3	-3nA	-4	-40nA
8	6.759MA	1.6	430.7kA	0.6	118.8uA	-0.4	-4nA	-5	-50nA
7	5.764MA	1.5	337kA	0.5	2.492uA	-0.5	-5nA	-6	-60nA
6	4.769MA	1.4	245.3kA	0.4	56.06nA	-0.6	-6nA	-7	-70nA
5	3.775MA	1.3	156.8kA	0.3	4.090nA	-0.7	-7nA	-8	-80nA
4	2.782MA	1.2	75.67kA	0.2	2.023nA	-0.8	-8nA	-9	-90nA
3	1.794MA	1.1	15.95kA	0.1	1.001nA	-0.9	-9nA	-10	-100nA
2	814.2kA	1	604.2A	0	0	-1	-10nA	-11	-110nA
1.9	717.5kA	0.9	12.94A	-0.1	-1nA	-2	-20nA	-12	-120nA

5. Con los datos obtenidos anteriormente trace una gráfica de corriente vrs. voltaje y observe la curva de su diodo.

La gráfica se debería de observar de esta manera.



PREGUNTAS

1. ¿Puede identificar en su gráfica el punto $-V_{ZK}$ donde inicia la región de ruptura?
2. ¿Qué diferencias habría si se hubiera utilizado un diodo de germanio?
3. Encuentre una ecuación para la curva en cada una de las tres regiones de la gráfica y compárela con las ecuaciones teóricas de cada región.

RESPUESTAS

1. No es posible observar el punto $-V_{ZK}$ en la gráfica obtenida por los datos de la simulación, pero el alumno debería ser capaz de identificarlo con sus datos de las mediciones realizadas en el circuito. Este voltaje se presenta cuando la magnitud del voltaje inverso excede un valor de umbral específico al diodo en particular. Este valor se especifica por lo general en las hojas de datos del dispositivo.
2. Las diferencias que existen entre un diodo de silicio y uno de germanio es el que el diodo de silicio empieza a conducir cuando el voltaje entre sus terminales es aproximadamente 0.6 V, mientras que el diodo de germanio empieza a conducir cuando el voltaje entre sus terminales es aproximadamente 0.3 V.
3. La región polarizada directamente se puede modelar en teoría como $i = I_s(e^{V/nVT} - 1)$ donde I_s es una constante para un diodo a una temperatura dada llamada corriente de saturación, n es una constante que tiene un valor entre 1 y 2 dependiendo del material y la estructura física del diodo y VT es una constante denominada voltaje térmico. La región de polarización inversa se puede modelar con la ecuación $i = -I_s$ y finalmente la

región de ruptura puede ser modelada como $r = \frac{V}{I_Z}$, donde r_z es la resistencia incremental del diodo Zener. Típicamente este valor es de unos pocos ohms a varias decenas de ohms.

Referencias:

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- www.americanmicrosemi.com/tutorials/diode.htm
- jever.phys.ualberta.ca/~gingrich/phys395/notes/node55.html

CIRCUITOS RECTIFICADORES PRÁCTICA #2

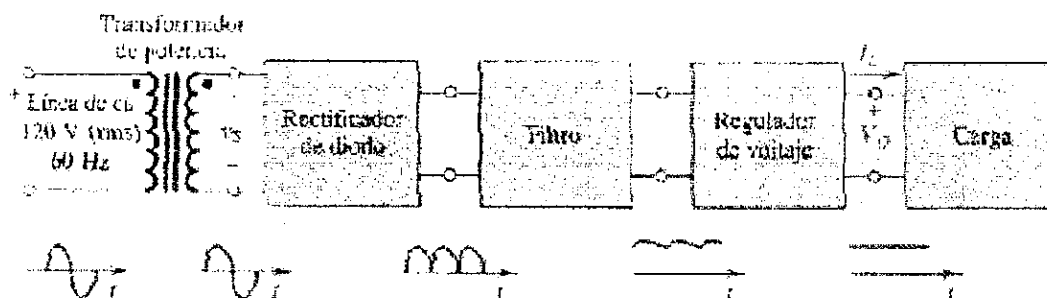
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito rectificador de media onda, un circuito rectificador de onda completa y un circuito rectificador con capacitor, utilizando diodos, y observe las diferencias de comportamiento en un osciloscopio.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una aplicación fundamental del diodo, que hace uso de su curva corriente vrs. voltaje no lineal, es el circuito rectificador. Un diodo rectificador forma un elemento esencial de las fuentes de alimentación de cd necesarias para alimentar equipo electrónico.

El primer bloque de una fuente de alimentación de cd es el transformador de potencia que, además de proporcionar la amplitud senoidal apropiada para la fuente de alimentación de cd, proporciona aislamiento eléctrico entre el equipo electrónico y el circuito de la línea de la red. Este aislamiento reduce al mínimo el riesgo de una descarga eléctrica al usuario del equipo. El rectificador de diodo convierte la senoide de entrada a una salida unipolar, que puede tener la forma de onda pulsante como la que se muestra en la figura. Aún cuando esta onda tiene un promedio diferente de cero o una componente de cd, su naturaleza pulsante la hace inapropiada como fuente de cd para circuitos electrónicos, por lo que hay necesidad de un filtro. Las variaciones en la magnitud de la salida del rectificador son reducidas considerablemente por el bloque de filtro. Para estabilizar la magnitud del voltaje de salida y eliminar las componentes dependientes del tiempo que aún conserva la señal se utiliza un regulador de voltaje.



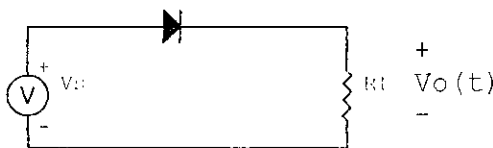
Al seleccionar diodos para el diseño de un rectificador, deben especificarse dos parámetros importantes: la capacidad de manejo de corriente necesaria del diodo,

determinada por la máxima corriente que se espera que conduzca el diodo, y el voltaje inverso de pico que el diodo debe ser capaz de resistir sin quemarse, determinado por el máximo voltaje inverso que se espera que aparezca en los terminales del diodo. Se deduce que el voltaje inverso de pico es igual al pico de la señal de entrada, por lo tanto es prudente seleccionar un diodo que tenga un voltaje de ruptura inversos por lo menos 50% mayor que el voltaje pico de entrada.

PRE-LABORATORIO

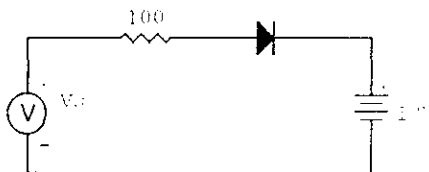
Es obligatorio que el alumno resuelva todos los ejercicios propuestos a continuación y los presente antes de entrar al laboratorio.

1. En el siguiente circuito $V_s(t) = V_p \sin(t)$.



Determine analíticamente y grafique $V_o(t)$.

2. En la siguiente figura se muestra un circuito para cargar una batería de 12 V. Si V_s es una senoide con amplitud pico de 24 V, encuentre la fracción de cada ciclo durante la que el diodo conduce. También encuentre el valor pico de la corriente del diodo y el voltaje máximo de polarización inversa que aparecerá en las terminales del diodo.



3. Un circuito rectificador de media onda, como el que se muestra en el ejercicio 1, con una carga de $1k\Omega$ opera desde una toma domiciliaria de 120 V(rms) y 60 Hz, por medio de un transformador reductor de 10 a 1. Utiliza un diodo de silicio que se puede modelar para tener una caída de 0.7 V para cualquier corriente. ¿Cuál es el voltaje pico de la salida rectificada? ¿Durante qué fracción del ciclo conduce el diodo? ¿Cuál es el promedio de voltaje de salida? ¿Cuál es el promedio de voltaje de salida? ¿Cuál es el promedio de corriente en la carga?

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá presentarse al laboratorio con los ejercicios del pre-laboratorio resueltos. Posteriormente deberá construir un circuito rectificador de onda sencilla, un circuito rectificador de onda completa en puente, y un circuito rectificador de onda con un capacitor

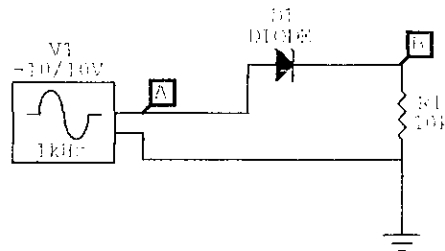
de filtro. Para cada circuito el alumno deberá observar su comportamiento en un osciloscopio y contestar a las preguntas que se presentan en la guía. El objetivo principal de la práctica es conocer en detalle las características de cada circuito rectificador.

MATERIALES

- cuatro diodos de silicio
- un capacitor de $1\mu\text{F}$
- Generador de funciones
- Resistencias de 10k y 1k
- Osciloscopio con dos canales
- un Opamp

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe la simulación #1 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador de media onda.



Construya en su protoboard ese circuito utilizando en lugar de la fuente AC que se presenta en la simulación, el generador de funciones con una onda de tipo senoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5V . Además utilice un diodo de silicio y una resistencia de carga de $10\text{k}\Omega$, y observe con un osciloscopio la entrada y la salida del circuito simultáneamente en dos distintos canales del osciloscopio.

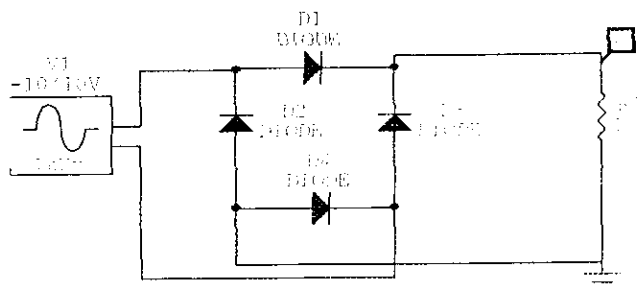
¿La amplitud máxima de la salida es la misma que la de entrada? ¿Por qué no?
¿Cuál es la corriente directa a través del diodo?

2. Repita el procedimiento del inciso anterior, pero esta vez utilizando una onda cuadrada y luego una onda triangular.

¿Ve usted alguna diferencia en el proceso de rectificación?

¿Cuál es el promedio de voltaje (nivel DC) para cada una de las ondas rectificadas, la senoidal, la cuadrada y la triangular?

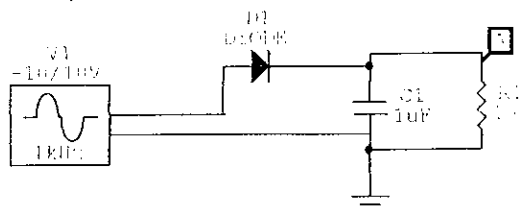
3. Observe la simulación #2 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador de onda completa en puente. Construya en su protoboard ese circuito utilizando el generador de funciones con una onda de tipo senoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5V . Además utilice un diodo de silicio y una resistencia de carga de $10\text{k}\Omega$, y observe con un osciloscopio la salida del circuito.



Explique como funciona analíticamente el circuito de rectificación en puente anterior. Observe que hay dos diodos en serie en la trayectoria de conducción y por lo tanto el voltaje de salida será menor que el voltaje de entrada por dos caídas de diodo; esta es una pequeña desventaja de este circuito.

Otra observación importante que debe hacerse es que el rectificador de onda completa produce una onda más energética que la del rectificador de media onda. Es por eso que en casi todas las aplicaciones de rectificación, se opta por el tipo de onda completa.

4. La naturaleza pulsante del voltaje de salida producido por los circuitos rectificadores vistos anteriormente lo hace inapropiado como fuente DC para circuitos electrónicos. Una forma sencilla de reducir la variación del voltaje de salida es poner un condensador en paralelo con el resistor de carga. Este capacitor de filtro sirve para reducir considerablemente las variaciones del voltaje de salida del rectificador. Observe la simulación #3 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador con un capacitor de filtro.



Construya en su protoboard ese circuito utilizando el generador de funciones con una onda de tipo senosoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5 V. Además utilice un diodo de silicio, un capacitor de 1μF y una resistencia de carga de 10kΩ, y observe con un osciloscopio la entrada y la salida del circuito simultáneamente en dos distintos canales del osciloscopio. Explique el funcionamiento del circuito con el capacitor. ¿Por qué no se obtiene un voltaje constante en la señal de salida? Observe que los espurios que se obtienen en la señal de salida de este circuito, pueden ser fácilmente eliminados con un adecuado regulador de voltaje.

Referencias:

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://quantum.ucting.udg.mx/~baa10588/electronica/rectificadores.htm>
- <http://geryon.uc3m.es/analogica/t7/t7recti01.htm>

CIRCUITOS RECTIFICADORES

PRÁCTICA #2 GUÍA PARA EL AUXILIAR

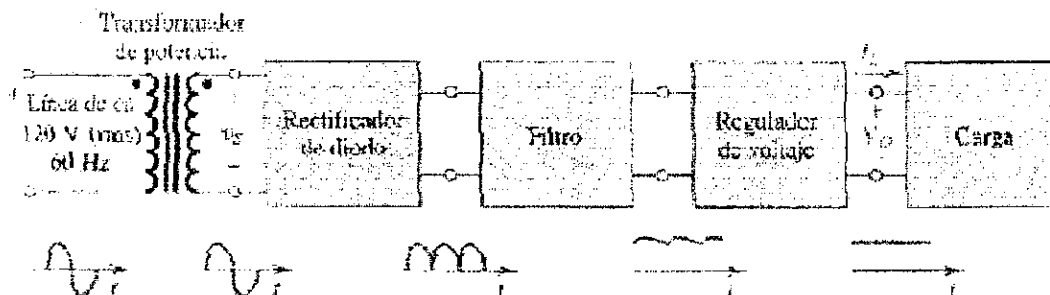
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir utilizando diodos un circuito rectificador de media onda, un circuito rectificador de onda completa y un circuito rectificador con capacitor, y observe las diferencias de comportamiento en un osciloscopio.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una aplicación fundamental del diodo, que hace uso de su curva corriente vrs. voltaje no lineal, es el circuito rectificador. Un diodo rectificador forma un elemento esencial de las fuentes de alimentación de cd necesarias para alimentar equipo electrónico.

El primer bloque de una fuente de alimentación de cd es el transformador de potencia, que además de proporcionar la amplitud senoidal apropiada para la fuente de alimentación de cd, proporciona aislamiento eléctrico entre el equipo electrónico y el circuito de la línea de la red. Este aislamiento reduce al mínimo el riesgo de una descarga eléctrica al usuario del equipo. El rectificador de diodo convierte la senoide de entrada a una salida unipolar, que puede tener la forma de onda pulsante como la que se muestra en la figura. Aún cuando esta onda tiene un promedio diferente de cero o una componente de cd, su naturaleza pulsante la hace inapropiada como fuente de cd para circuitos electrónicos, por lo que hay necesidad de un filtro. Las variaciones en la magnitud de la salida del rectificador son reducidas considerablemente por el bloque de filtro. Para estabilizar la magnitud del voltaje de salida y eliminar las componentes dependientes del tiempo que aún conserva la señal se utiliza un regulador de voltaje.

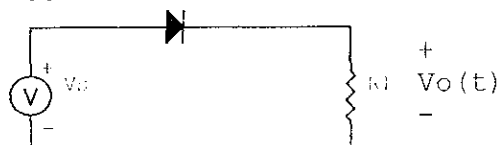


Al seleccionar diodos para el diseño de un rectificador, deben especificarse dos parámetros importantes: la capacidad de manejo de corriente necesaria del diodo, determinada por la máxima corriente que se espera que conduzca el diodo, y el voltaje inverso de pico que el diodo debe ser capaz de resistir sin quemarse, determinado por el máximo voltaje inverso que se espera que aparezca en los terminales del diodo. Se deduce que el voltaje inverso de pico es igual al pico de la señal de entrada, por lo tanto es prudente seleccionar un diodo que tenga un voltaje de ruptura inversos por lo menos 50% mayor que el voltaje pico de entrada.

PRE-LABORATORIO

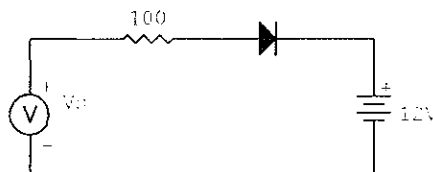
Es obligatorio que el alumno resuelva todos los ejercicios propuestos a continuación y los presente antes de entrar al laboratorio.

1. En el siguiente circuito $V_s(t) = V_p \text{ sen}(t)$.



Determine analíticamente y grafique $V_o(t)$.

2. En la siguiente figura se muestra un circuito para cargar una batería de 12 V. Si V_s es una senoide con amplitud pico de 24 V, encuentre la fracción de cada ciclo durante la que el diodo conduce. También encuentre el valor pico de la corriente del diodo y el voltaje máximo de polarización inversa que aparecerá en las terminales del diodo.

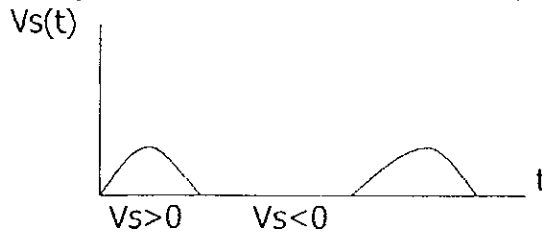


3. Un circuito rectificador de media onda, como el que se muestra en el ejercicio 1, con una carga de $1k\Omega$ opera desde una toma domiciliar de 120 V(rms) y 60 Hz, por medio de un transformador reductor de 10 a 1. Utiliza un diodo de silicio que se puede modelar para tener una caída de 0.7 V para cualquier corriente. ¿Cuál es el voltaje pico de la salida rectificadora? ¿Durante qué fracción del ciclo conduce el diodo? ¿Cuál es el promedio de voltaje de salida? ¿Cuál es el promedio de corriente en la carga?

RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. Para el análisis del circuito deben considerarse los dos casos: cuando $V_s > 0$ y cuando $V_s < 0$. En el caso en el que $V_s > 0$ el diodo conduce y se comporta como un corto

obteniendo la parte positiva de la señal. En el caso en el que $V_s < 0$, el diodo no conduce y se comporta como un abierto, eliminando la parte negativa de la señal.



- Como es fácil notar, el diodo conduce cuando V_s excede los 12 V. El ángulo de conducción es 2θ , donde θ está dado por: $24 \cos \theta = 12$. Por lo tanto, $\theta = 60^\circ$ y el ángulo de conducción es 120° . El valor pico de la corriente del diodo está dado por $I_d = \frac{24 - 12}{100} = 0.12 \text{ A}$. El máximo voltaje inverso en los terminales del diodo se presenta cuando V_s está en su pico negativo y es igual a $24 + 12 = 36 \text{ V}$.
- El voltaje pico de la salida rectificadora es 16.27 V. El diodo conduce durante 48.7% del tiempo del ciclo. El promedio de voltaje de salida es 5.05 V. El promedio de corriente en la carga es de 5.05 mA.

DESCRIPCIÓN BREVE

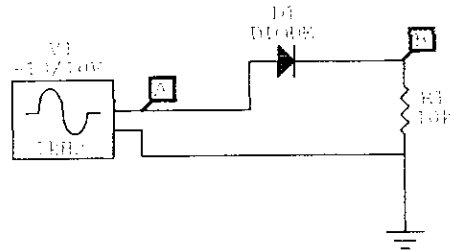
El alumno deberá presentarse al laboratorio con los ejercicios del pre-laboratorio resueltos. Posteriormente deberá construir un circuito rectificador de onda sencilla, un circuito rectificador de onda completa en puente, y un circuito rectificador de onda con un capacitor de filtro. Para cada circuito, el alumno deberá observar su comportamiento en un osciloscopio y contestar a las preguntas que se presentan en la guía. El objetivo principal de la práctica es conocer en detalle las características de cada circuito rectificador.

MATERIALES

- cuatro diodos de silicio
- un capacitor de $1\mu\text{F}$
- Generador de funciones
- Resistencias de 10k y 1k
- Osciloscopio con dos canales
- un Opamp

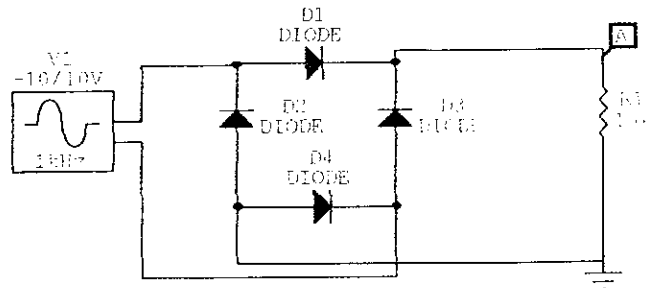
PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

- Observe la simulación #1 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador de media onda.



Construya en su protoboard ese circuito utilizando en lugar de la fuente AC que se presenta en la simulación, el generador de funciones con una onda de tipo senosoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5 V. Además, utilice un diodo de silicio y una resistencia de carga de 10k Ω , y observe con un osciloscopio la entrada y la salida del circuito simultáneamente en dos distintos canales del osciloscopio. ¿La amplitud máxima de la salida es la misma que la de entrada? ¿Por qué no? ¿Cuál es la corriente directa a través del diodo?

2. Repita el procedimiento del inciso anterior, pero esta vez utilizando una onda cuadrada y luego una onda triangular. ¿Ve usted alguna diferencia en el proceso de rectificación?
3. Observe la simulación #2 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador de onda completa en puente. Construya en su protoboard ese circuito utilizando el generador de funciones con una onda de tipo senosoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5 V. Además utilice un diodo de silicio y una resistencia de carga de 10k Ω , y observe con un osciloscopio la salida del circuito.

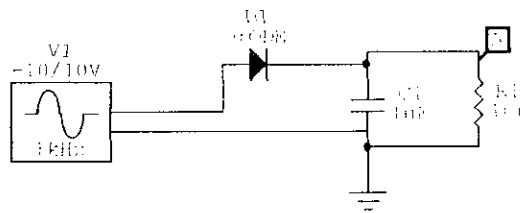


Explique cómo funciona analíticamente el circuito de rectificación en puente anterior. Observe que hay dos diodos en serie en la trayectoria de conducción y, por lo tanto, el voltaje de salida será menor que el voltaje de entrada por dos caídas de diodo; esta es una pequeña desventaja de este circuito.

Otra observación importante que debe hacerse es que el rectificador de onda completa produce una onda más energética que la del rectificador de media onda. Es por eso que en casi todas las aplicaciones de rectificación, se opta por el tipo de onda completa.

4. La naturaleza pulsante del voltaje de salida producido por los circuitos rectificadores vistos anteriormente lo hace inapropiado como fuente DC para circuitos electrónicos. Una forma sencilla de reducir la variación del voltaje de salida es poner un condensador en paralelo con el resistor de carga. Este capacitor de filtro sirve para reducir considerablemente las variaciones del voltaje de salida del rectificador.

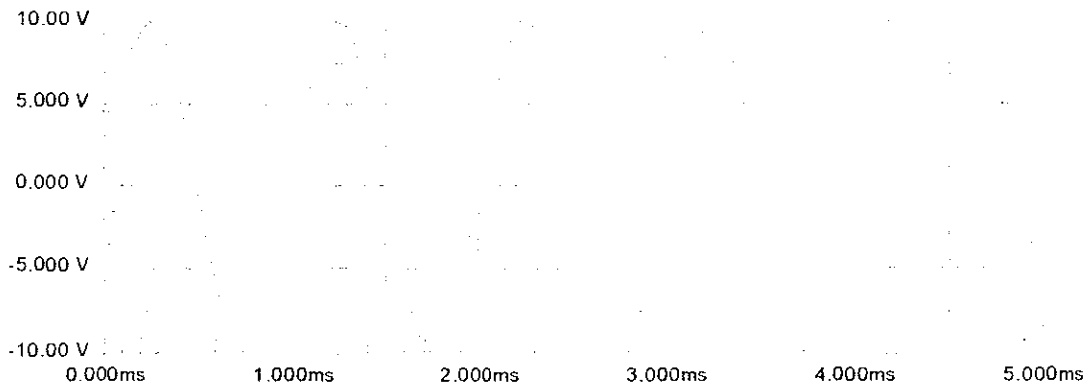
Observe la simulación #3 para este laboratorio y note que el circuito presentado es un circuito rectificador con un capacitor de filtro.



Construya en su protoboard ese circuito utilizando el generador de funciones con una onda de tipo senosoidal a 1kHz de frecuencia y una amplitud de por lo menos 5 V. Además utilice un diodo de silicio, un capacitor de 1µF y una resistencia de carga de 10kΩ, y observe con un osciloscopio la entrada y la salida del circuito simultáneamente en dos distintos canales del osciloscopio. Explique el funcionamiento del circuito con el capacitor. ¿Por qué no se obtiene un voltaje constante en la señal de salida? Observe que los espurios que se obtienen en la señal de salida de este circuito, pueden ser fácilmente eliminados con un adecuado regulador de voltaje.

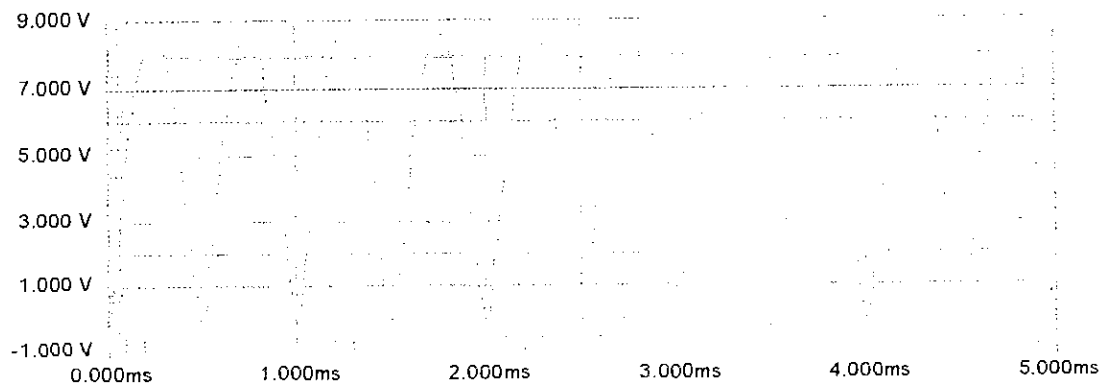
RESPUESTAS AL PROCEDIMIENTO

1. La simulación para el circuito rectificador de media onda tiene la siguiente forma:



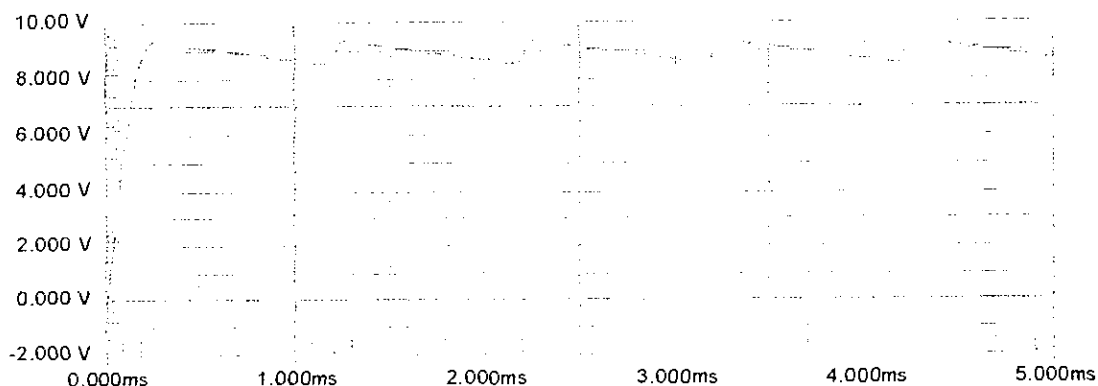
La amplitud máxima de la salida es menor que el valor de amplitud de la entrada, debido a que hay una pequeña pérdida de voltaje en el diodo. La corriente directa a través del diodo es la máxima corriente que pasa por el diodo, en la simulación este valor corresponde a aproximadamente 0.950 mA.

2. No existe ninguna diferencia en el proceso de rectificación al utilizar diferentes formas de señales, como triangular y cuadrada.
3. La simulación para el circuito rectificador de onda completa tiene la siguiente forma:



Este circuito opera de la siguiente forma: durante los semiciclos positivos del voltaje de entrada V_s , la corriente es conducida a través del diodo D1, el resistor y el diodo D4. Entre tanto los diodos D3 y D2 estarán polarizados inversamente. Consideremos ahora la situación durante los semiciclos negativos del voltaje de entrada V_s , en este caso la corriente será forzada a circular por D3, R y D2; entre tanto los diodos D1 y D4 estarán polarizados inversamente. El punto que se debe observar es que durante ambos semiciclos, la corriente circula por el resistor en la misma dirección y por lo tanto V_o siempre será positivo.

4. La simulación para el circuito rectificador de media onda tiene la siguiente forma:



El circuito funciona de la siguiente manera: para una entrada sinusoidal, el capacitor se carga al valor pico de la entrada V_p . Entonces el diodo está en corte y el capacitor se descarga a través de la resistencia de carga. La descarga del capacitor continúa durante casi todo el ciclo, hasta el momento en que el voltaje de entrada excede el voltaje del capacitor. Entonces el diodo conduce otra vez y carga el capacitor al pico del voltaje de entrada y el proceso se repite.

No se obtiene un voltaje constante en la señal de salida debido a que el capacitor se descarga luego de haberse cargado hasta el voltaje pico de la señal de entrada. Hay que notar que se debe seleccionar un valor para el capacitor adecuado de tal modo que la constante de tiempo RC sea mucho mayor que el intervalo de descarga.

Referencias:

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://quantum.ucting.udg.mx/~baa10588/electronica/rectificadores.htm>
- <http://geryon.uc3m.es/analogica/t7/t7recti01.htm>

DIODOS ZENER PRÁCTICA #3

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

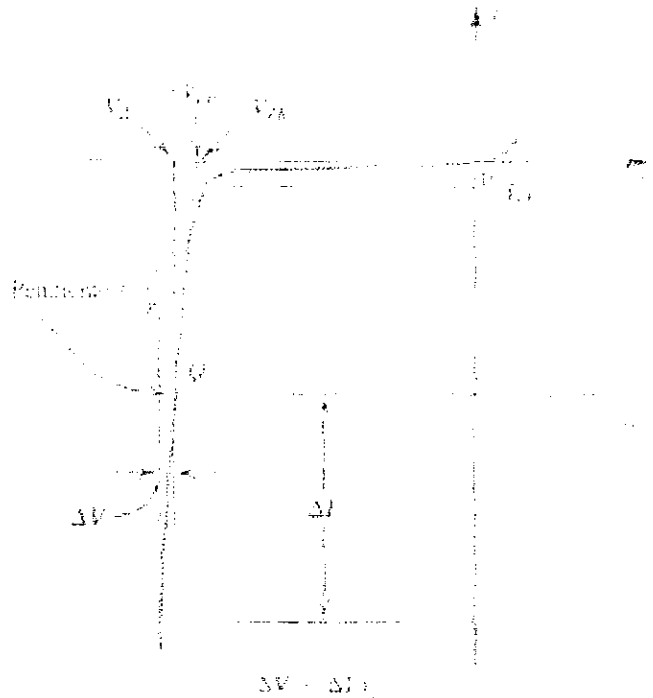
- Construir un circuito y realizar las mediciones necesarias para obtener una gráfica que muestre las características de corriente vrs. voltaje del diodo zener.
- Aprender a utilizar el diodo zener LM335 como un sensor de temperatura.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

La pronunciada curva I-V que el diodo exhibe en la región de ruptura, y la caída de voltaje casi constante que esto indica, sugiere que, los diodos que operan en la región de ruptura se pueden usar en el diseño de reguladores de voltaje. Ésta resulta ser en realidad una importante aplicación de diodos. Se fabrican diodos especiales para operar específicamente en la región de ruptura; estos diodos reciben el nombre de diodos de ruptura o, más comúnmente diodos Zener, en honor a uno de los primeros investigadores en este campo. En la siguiente figura se ilustra el símbolo de circuito de un diodo Zener.

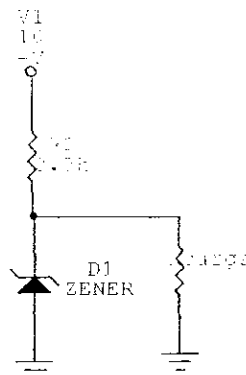


El fabricante suele especificar el voltaje V_z en paralelo con el diodo Zener a una corriente especificada de prueba. Como lineamiento general de diseño se debe evitar operar el Zener en esta región de baja corriente. Correspondiendo al cambio de corriente ΔI , el voltaje del Zener cambia en ΔV , que está relacionado con ΔI por $\Delta V = r_z \cdot \Delta I$, donde r_z es el inverso de la pendiente de la curva casi lineal I-V en el punto Q. A esta resistencia se le conoce como resistencia incremental y su valor se especifica en las hojas de datos del dispositivo. Es evidente que cuanto menor sea el valor de r_z , más constante permanece el voltaje Zener. A continuación se muestra la curva característica del diodo mostrando la región de ruptura en detalle:



PRE-LABORATORIO

1. El diodo Zener de 6.8 V del siguiente circuito está especificado para tener $V_Z=6.8\text{ V}$ a $I_Z=5\text{ mA}$, con una resistencia incremental $r_Z= 20\ \Omega$ y una corriente de rodilla $I_{zk}=0.2\text{ mA}$. El voltaje de alimentación es de 10 V.



- a) Encuentre V_o cuando se conecta una resistencia de carga de 2 k Ω .
 - b) Encuentre V_o cuando se conecta una resistencia de carga de 0.5 k Ω .
2. Buscar y leer la hoja de datos para el diodo Zener LM335 (El archivo de la hoja de datos se encuentra en la página web del laboratorio en formato pdf).

DESCRIPCIÓN BREVE

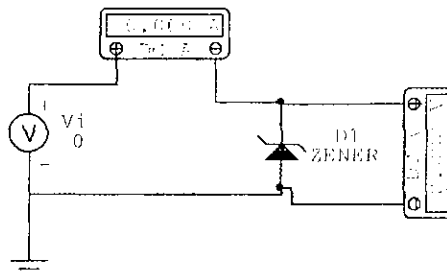
El alumno deberá experimentar con dos aplicaciones específicas del diodo zener. En el primer inciso deberá construir un circuito que le permita conocer las características del diodo zener, en el segundo inciso deberá construir un circuito que le permita conocer las características del zener como regulador de voltaje, junto con sus limitaciones como tal. Además el alumno deberá experimentar con un diodo zener diseñado especialmente para aprovechar su comportamiento ante la variación de temperatura. De esta manera el alumno deberá hacer las mediciones respectivas para construir una gráfica que muestre las características del diodo como sensor de temperatura.

MATERIALES

- Resistencias
- un diodo zener de 5.1 V
- un diodo zener LM 335
- un potenciómetro de 10 k Ω
- un beaker
- una estufa de laboratorio

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

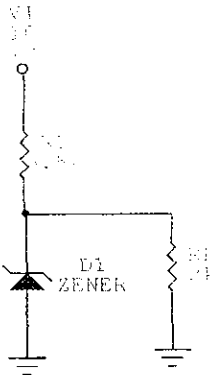
1. Luego de observar la simulación #1 para esta práctica construya el siguiente circuito en su protoboard utilizando un diodo zener de 5.1 V y varíe la fuente de voltaje V_i para completar la tabla:



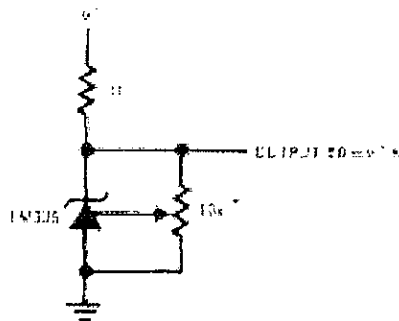
V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

Con los datos obtenidos en la tabla anterior realice una gráfica que muestre las características de corriente vrs. voltaje del diodo zener. Compare los resultados con lo observado en la simulación.

2. Observe la simulación #2 para esta práctica y construya el siguiente circuito en su protoboard utilizando un diodo zener de 5.1 V:



- Asuma que la fuente de voltaje no es una fuente estable, y tiene variaciones en el tiempo que podrían dañar la carga, la cual es simulada en el circuito por la resistencia de 2 k Ω . Investigue experimentalmente construyendo una tabla para saber cuál es el voltaje mínimo al que puede llegar la fuente de voltaje sin dejar de alimentar a la carga con 5 V por el diodo Zener.
 - Investigue cuál es el valor mínimo de R_L para el cual el diodo todavía funciona como un regulador. En este caso mantenga la fuente de voltaje a 10 V. Explique analíticamente por qué el diodo Zener deja de funcionar como regulador de voltaje.
 - ¿Cuáles son las diferencias en el comportamiento del circuito con respecto al que se muestra en el archivo de simulación?
3. Luego de haber revisado la hoja de datos para el diodo Zener LM335, construya el siguiente circuito:



El circuito es presentado como un sensor de temperatura calibrado con una salida que varía 10 mV por cada grado Celsius de diferencia. Para calibrarlo debe ajustar el potenciómetro hasta obtener 2.982 V en la salida a una temperatura de 25 °C. El circuito calibrado proporciona lecturas de mayor exactitud, una explicación más específica se encuentra en la hoja de datos.

Ahora coloque el beaker con agua sobre la estufa de laboratorio y coloque encima del beaker el sensor conectado al circuito, sin que éste toque el agua. Encienda la estufa y mida la temperatura junto con el voltaje en la salida del circuito, posteriormente debe construir una tabla con los datos obtenidos en las mediciones, y

realizar una gráfica de voltaje vrs. temperatura. Las mediciones debe realizarlas desde 24°C hasta por lo menos 35°C.

¿Qué tipo de gráfica obtuvo con los datos?

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.genesis16.net/PIC/lm135.pdf>
- <http://proton.ucting.udg.mx/~jmateos/hdiodo/diodo/d5.htm>

DIODOS ZENER
PRÁCTICA #3
GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito y realizar las mediciones necesarias para obtener una gráfica que muestre las características de corriente vrs. voltaje del diodo zener.
- Aprender a utilizar el diodo zener LM335 como un sensor de temperatura.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

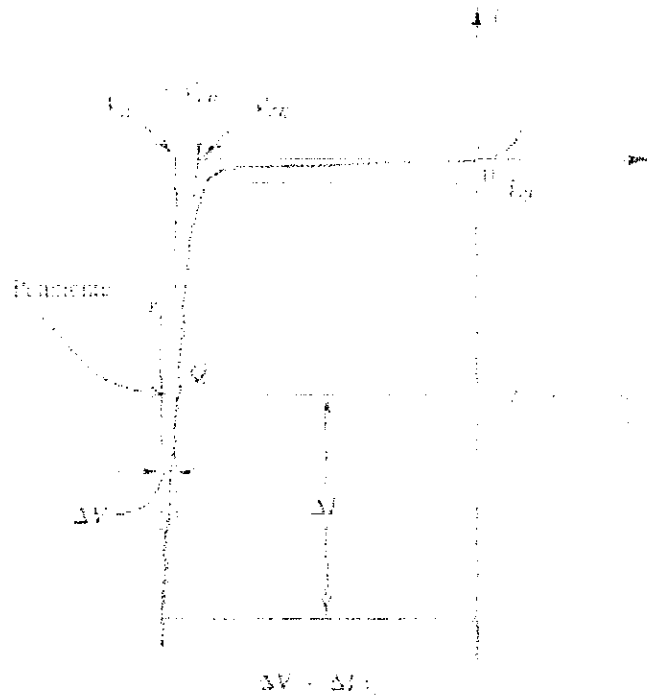
La pronunciada curva I-V que el diodo exhibe en la región de ruptura, y la caída de voltaje casi constante que esto indica, sugiere que, los diodos que operan en la región de ruptura se pueden usar en el diseño de reguladores de voltaje. Ésta resulta ser en realidad una importante aplicación de diodos. Se fabrican diodos especiales para operar específicamente en la región de ruptura; estos diodos reciben el nombre de diodos de ruptura o, más comúnmente diodos Zener, en honor a uno de los primeros investigadores en este campo. En la siguiente figura se ilustra el símbolo de circuito de un diodo Zener.



El fabricante suele especificar el voltaje V_z en paralelo con el diodo Zener a una corriente especificada de prueba. Como lineamiento general de diseño se debe evitar operar el Zener en esta región de baja corriente.

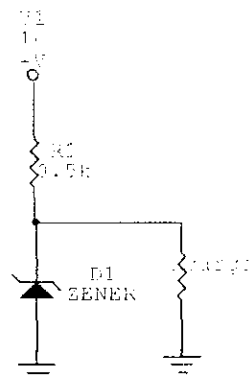
Correspondiendo al cambio de corriente ΔI , el voltaje del Zener cambia en ΔV , que está relacionado con ΔI por $\Delta V = r_z \cdot \Delta I$, donde r_z es el inverso de la pendiente de la curva casi lineal I-V en el punto Q. A esta resistencia se le conoce como resistencia incremental y su valor se especifica en las hojas de datos del dispositivo. Es evidente que cuanto menor sea el valor de r_z , más constante permanece el voltaje Zener.

A continuación se muestra la curva característica del diodo mostrando la región de ruptura en detalle:



PRE-LABORATORIO

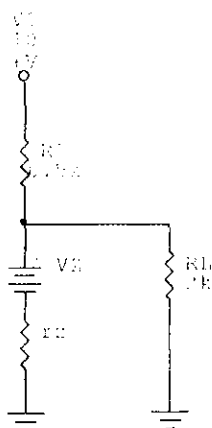
1. El diodo Zener de 6.8 V del siguiente circuito está especificado para tener $V_z=6.8\text{ V}$ a $I_z=5\text{ mA}$, con una resistencia incremental $r_z=20\ \Omega$ y una corriente de rodilla $I_{zk}=0.2\text{ mA}$. El voltaje de alimentación es de 10 V.



- a) Encuentre V_o cuando se conecta una resistencia de carga de 2 k Ω .
 - b) Encuentre V_o cuando se conecta una resistencia de carga de 0.5 k Ω .
2. Buscar y leer la hoja de datos para el diodo Zener LM335 (El archivo de la hoja de datos se encuentra en la página web del laboratorio en formato pdf).

RESPUESTAS AL PRELABORATORIO

1. a) Para la resolución de este problema debe modelarse el diodo zener con el modelo de resistencia + batería de la siguiente manera:



donde V_Z es 6.8 V y r_z es 20Ω . Utilizando este modelo se encuentra que $V_o=6.73$ V.
 b) Utilizando el mismo modelo del inciso anterior se observa que la corriente que circula por el diodo zener es de 13.6 mA, esto no es posible porque la corriente alimentada a través de R_1 es solo de 6.4 mA, por lo que el zener debe cortarse. En este caso V_o esta determinado por el divisor de voltaje entre R_1 y R_L . $V_o = 5$ V.

DESCRIPCIÓN BREVE

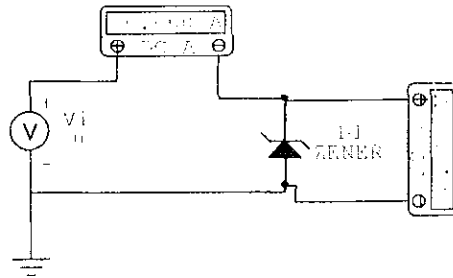
El alumno deberá experimentar con dos aplicaciones específicas del diodo zener. En el primer inciso deberá construir un circuito que le permita conocer las características del diodo zener, en el segundo inciso deberá construir un circuito que le permita conocer las características del zener como regulador de voltaje, junto con sus limitaciones como tal. Además el alumno deberá experimentar con un diodo zener diseñado especialmente para aprovechar su comportamiento ante la variación de temperatura. De esta manera el alumno deberá hacer las mediciones respectivas para construir una gráfica que muestre las características del diodo como sensor de temperatura.

MATERIALES

- Resistencias
- un diodo zener de 5.1 V
- un diodo zener LM 335
- un potenciómetro de $10\text{ k}\Omega$
- un beaker
- una estufa de laboratorio

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

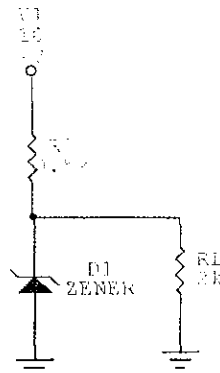
1. Luego de observar la simulación #1 para esta práctica construya el siguiente circuito en su protoboard utilizando un diodo zener de 5.1 V y varíe la fuente de voltaje V_i para completar la tabla:



V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10		1.8		0.8		-0.2		-3	
9		1.7		0.7		-0.3		-4	
8		1.6		0.6		-0.4		-5	
7		1.5		0.5		-0.5		-6	
6		1.4		0.4		-0.6		-7	
5		1.3		0.3		-0.7		-8	
4		1.2		0.2		-0.8		-9	
3		1.1		0.1		-0.9		-10	
2		1		0		-1		-11	
1.9		0.9		-0.1		-2		-12	

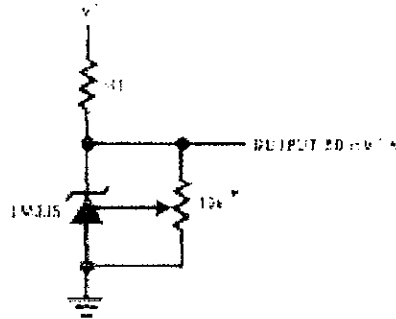
Con los datos obtenidos en la tabla anterior realice una gráfica que muestre las características de corriente vrs. voltaje del diodo zener. Compare los resultados con lo observado en la simulación.

- Observe la simulación #2 para esta práctica y construya el siguiente circuito en su protoboard utilizando un diodo zener de 5.1 V:



- Asuma que la fuente de voltaje no es una fuente estable, y tiene variaciones en el tiempo que podrían dañar la carga, la cual es simulada en el circuito por la resistencia de 2 kΩ. Investigue experimentalmente construyendo una tabla para saber cuál es el voltaje mínimo al que puede llegar la fuente de voltaje sin dejar de alimentar a la carga con 5 V por el diodo Zener.
- Investigue cuál es el valor mínimo de RL para el cual el diodo todavía funciona como un regulador. En este caso mantenga la fuente de voltaje a 10 V. Explique analíticamente por qué el diodo Zener deja de funcionar como regulador de voltaje.

- c) ¿Cuáles son las diferencias en el comportamiento del circuito con respecto al que se muestra en el archivo de simulación?
3. Luego de haber revisado la hoja de datos para el diodo Zener LM335, construya el siguiente circuito:



El circuito es presentado como un sensor de temperatura calibrado con una salida que varía 10 mV por cada grado Celsius de diferencia. Para calibrarlo debe ajustar el potenciómetro hasta obtener 2.982 V en la salida a una temperatura de 25 °C. El circuito calibrado proporciona lecturas de mayor exactitud, una explicación más específica se encuentra en la hoja de datos.

Ahora coloque el beaker con agua sobre la estufa de laboratorio y coloque encima del beaker el sensor conectado al circuito, sin que éste toque el agua. Encienda la estufa y mida la temperatura junto con el voltaje en la salida del circuito, posteriormente debe construir una tabla con los datos obtenidos en las mediciones, y realizar una gráfica de voltaje vrs. temperatura. Las mediciones debe realizarlas desde 24°C hasta por lo menos 35°C.

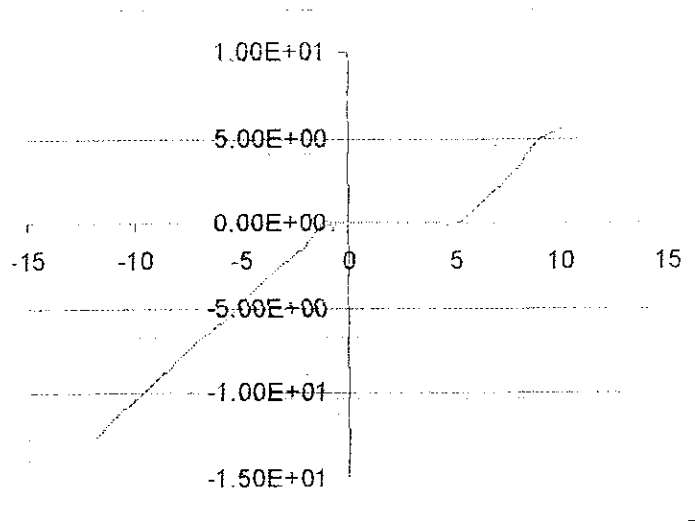
¿Qué tipo de gráfica obtuvo con los datos?

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. La tabla queda de la siguiente forma según lo observado en la simulación:

V	I	V	I	V	I	V	I	V	I
10	5.53A	1.8	18 nA	0.8	8 nA	-0.2	-2 nA	-3	-2.38A
9	4.93A	1.7	17 nA	0.7	7 nA	-0.3	-3.07nA	-4	-3.5A
8	3.25A	1.6	16 nA	0.6	6 nA	-0.4	-7.6nA	-5	-4.66A
7	2.12A	1.5	15 nA	0.5	5 nA	-0.5	-	-6	-5.8A
6	991.1mA	1.4	14 nA	0.4	4 nA	-0.6	179.8nA	-7	-6.94A
5	4.32mA	1.3	13 nA	0.3	3 nA	-0.7	-8.35uA	-8	-6.94A
4	40 nA	1.2	12 nA	0.2	2 nA	-0.8	-393mA	-9	-8.09A
3	30 nA	1.1	11 nA	0.1	1 nA	-0.9	-12.5mA	-10	-9.23A
2	20 nA	1	10 nA	0	0	-1	-74.4mA	-11	-10.4A
1.9	19 nA	0.9	9 nA	-0.1	-1 nA	-2	-	-11	-11.5A
							165.4mA	-12	-12.7A

La gráfica de corriente vrs. voltaje resultante se muestra a continuación:



Se puede observar que la curva representa una gráfica aproximada de la curva del diodo normal al revés. Las diferencias con la simulación pueden existir, pero no deberían ser muy grandes ya que en la simulación se utilizó un diodo de 5.1 V.

2. a) La tabla según los resultados del simulador utilizando un diodo zener 1N4733 es la siguiente:

Voltaje de la fuente	Voltaje en la carga
10 V	5.017 V
9 V	5.007 V
8 V	4.994 V
7 V	4.971 V
6 V	4.799 V
5 V	4 V

Se observa que con 5 V en la fuente el diodo zener deja de proporcionarle 5 V a la carga.

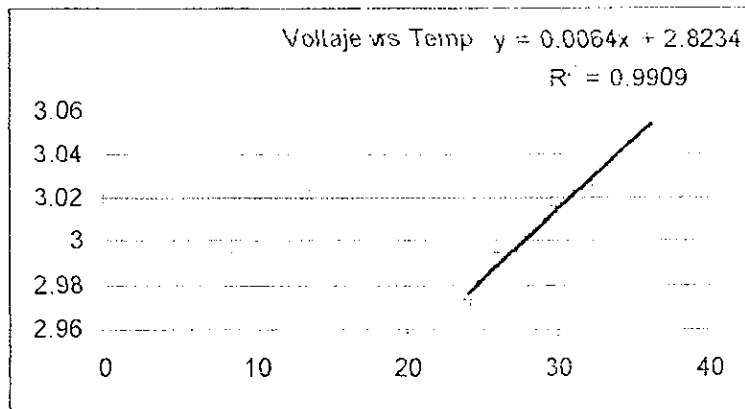
b) El valor mínimo de R_L para el cual todavía funciona como regulador el diodo zener es $0.5k\Omega$ según lo que muestra la simulación. La razón analítica es que la corriente alimentada a través de R_1 es de sólo 9.8mA, por lo que la corriente de carga no puede exceder este valor utilizando el diodo zener, y cuando esto ocurre el diodo zener se cortará y dejará de funcionar.

c) Deben presentarse algunas diferencias según el modelo de diodo zener utilizado en la práctica. En la simulación se utilizó el modelo de diodo zener 1N4733.

3. A continuación se muestra una tabla de las mediciones hechas utilizando un diodo zener LM335 junto con la gráfica correspondiente, las variaciones entre grados centígrados no es exactamente de 10 mV debido a las imperfecciones del diodo y de los dispositivos de medición.

Temp.	Voltaje
24	2.972
25	2.982
26	2.993

27	2.998
28	3.004
29	3.01
30	3.017
31	3.022
32	3.025
33	3.037
34	3.041
35	3.045
36	3.053



De la gráfica se puede observar que existe una relación aproximadamente lineal entre el voltaje y la temperatura.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.genesis16.net/PIC/lm135.pdf>
- <http://proton.ucting.udg.mx/~jmateos/hdiodo/diodo/d5.htm>

EL DIODO ZENER Y LA REGULACIÓN DE VOLTAJE PRÁCTICA #4

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que permita encontrar la resistencia interna de un diodo zener.
- Encontrar el porcentaje de regulación de voltaje de un diodo zener al construir dos circuitos de regulación, uno con una resistencia de carga y otro sin carga.
- Construir un circuito con una señal de entrada producida por un generador de funciones que simula una señal de ruido, y que se observe cómo el diodo zener disminuye la influencia de la señal de ruido sobre una señal de voltaje DC.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

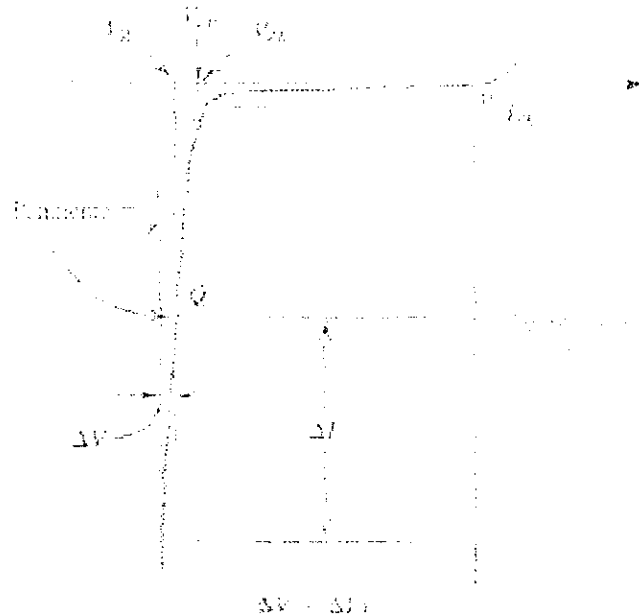
La pronunciada curva I-V que el diodo exhibe en la región de ruptura, y la caída de voltaje casi constante que esto indica, sugiere que, los diodos que operan en la región de ruptura se pueden usar en el diseño de reguladores de voltaje. Ésta resulta ser en realidad una muy importante aplicación de diodos. Se fabrican diodos especiales para operar específicamente en la región de ruptura; estos diodos reciben el nombre de diodos de ruptura o, más comúnmente diodos Zener, en honor a uno de los primeros investigadores en este campo. En la siguiente figura se ilustra el símbolo de circuito de un diodo Zener.



El fabricante suele especificar el voltaje V_z en paralelo con el diodo Zener a una corriente especificada de prueba. Como lineamiento general de diseño se debe evitar operar el Zener en esta región de baja corriente.

Correspondiendo al cambio de corriente ΔI , el voltaje del Zener cambia en ΔV , que está relacionado con ΔI por $\Delta V = r_z \cdot \Delta I$, donde r_z es el inverso de la pendiente de la curva casi lineal I-V en el punto Q. A esta resistencia se le conoce como resistencia incremental y su valor se especifica en las hojas de datos del dispositivo. Es evidente que cuanto menor sea el valor de r_z , más constante permanece el voltaje Zener.

A continuación se muestra la curva característica del diodo mostrando la región de ruptura en detalle:



DESCRIPCIÓN BREVE

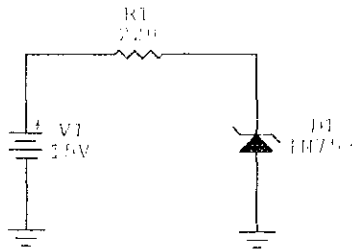
El alumno deberá construir un circuito en donde después de realizar las correspondientes mediciones logre encontrar la resistencia interna de un diodo zener. Posteriormente deberá construir dos circuitos de regulación de voltaje con diodo zener, uno con carga y otro sin carga, para poder luego encontrar el porcentaje de regulación de voltaje que logra el diodo zener en el circuito. Por último el alumno deberá construir un circuito con una señal simulada de ruido, para que observe como el diodo zener aminora el efecto del ruido sobre una señal de voltaje DC regulado en el circuito.

MATERIALES

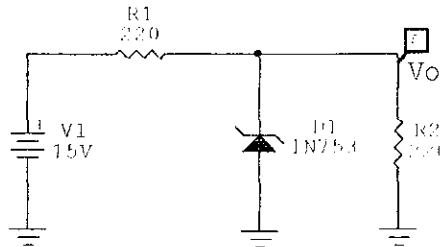
- un diodo zener 1N753 de 6.2 V
- Resistencias de 100 Ω , 220 Ω y variadas

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación, y mida el valor de resistencia interna del diodo r_z , tomando dos valores de voltaje V_z y sus dos valores correspondientes I_z , medidos ambos en el diodo. Calcule r_z con la fórmula $r_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z}$.

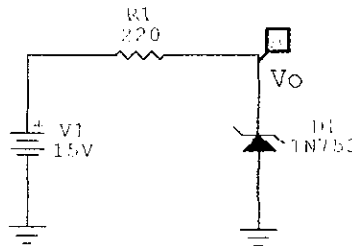


2. Ahora proceda a hacer las siguientes modificaciones al circuito:



Luego, mida la corriente de la fuente I_s , la corriente que atraviesa el diodo zener I_z , la corriente de carga I_L , y el voltaje de salida en la carga V_o . Ahora compare el valor de voltaje de salida medido con el valor teórico de salida, $V_o = V_z + I_z \cdot r_z$, donde V_z es el voltaje característico del diodo zener (para este diodo 6.2 V), I_z es la corriente que atraviesa el diodo y r_z es la resistencia interna del diodo medida en el inciso 1.

3. Ahora desconecte la resistencia de carga R_2 y realice las mismas mediciones y cálculos que en el inciso 2.

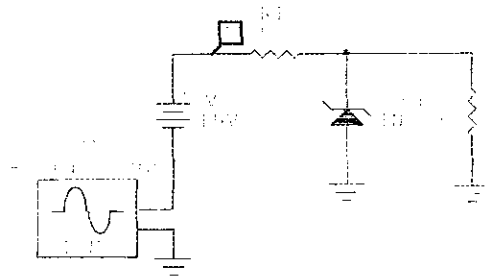


4. Calcule el porcentaje de regulación de voltaje del circuito de los incisos 2 y 3 con la siguiente fórmula:

$$\%VR = \frac{V_o(SC) - V_o(CC)}{V_o(CC)} * 100\%$$

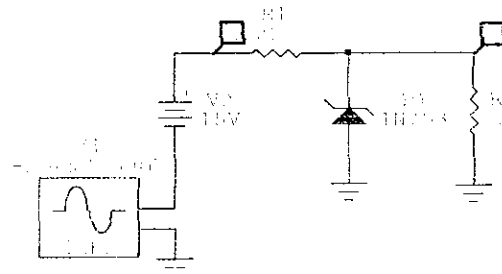
donde $V_o(SC)$ es el voltaje de salida sin carga, y $V_o(CC)$ es el voltaje de salida con carga.

5. Ahora, construya el siguiente circuito utilizando un generador de funciones como se muestra en la siguiente figura:



Y con ayuda del osciloscopio observe y describa la señal en el punto A. ¿ Qué señal simula el generador de funciones?

6. Con el osciloscopio colocado en el punto B y midiendo a 100 mV por division en el eje Y, determine el valor de salida de voltaje DC del regulador zener.



7. Coloque el osciloscopio a 5 mV por división en el eje Y. Deberá observar una señal de ruido, muy pequeña comparada a la señal de ruido de entrada que simula el generador de funciones. Mida la señal de salida del circuito y compárela con el valor esperado según la siguiente ecuación:

$$V_o = \left[\frac{R_2 \parallel r_z}{R_1 + R_2 \parallel r_z} \right] V_{in}$$

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- Berlin, Howard. 1988. *Experiments in electronic devices*. 2a ed. Estados Unidos, Merrill. 450 págs.

EL DIODO ZENER Y LA REGULACIÓN DE VOLTAJE

PRÁCTICA #4 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que permita encontrar la resistencia interna de un diodo zener.
- Encontrar el porcentaje de regulación de voltaje de un diodo zener al construir dos circuitos de regulación, uno con una resistencia de carga y otro sin carga.
- Construir un circuito con una señal de entrada producida por un generador de funciones que simula una señal de ruido, y que se observe cómo el diodo zener disminuye la influencia de la señal de ruido sobre una señal de voltaje DC.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

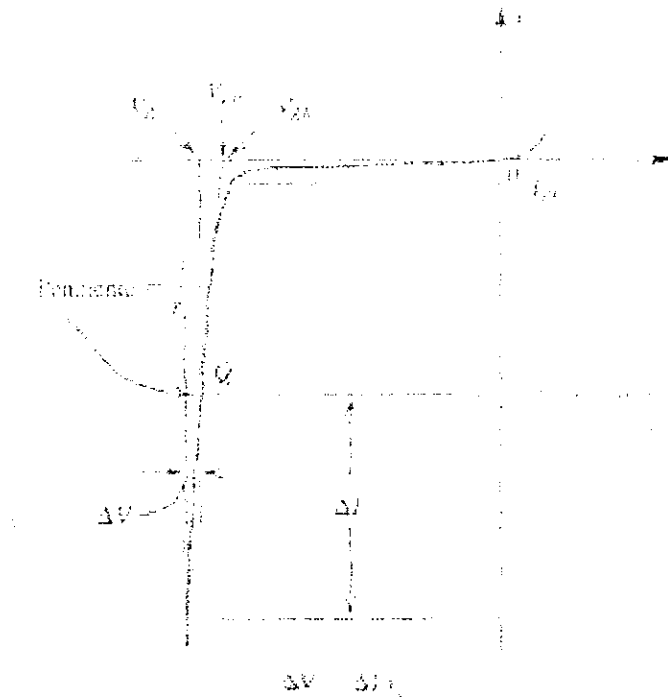
La pronunciada curva I-V que el diodo exhibe en la región de ruptura, y la caída de voltaje casi constante que esto indica, sugiere que, los diodos que operan en la región de ruptura se pueden usar en el diseño de reguladores de voltaje. Ésta resulta ser en realidad una importante aplicación de diodos. Se fabrican diodos especiales para operar específicamente en la región de ruptura; estos diodos reciben el nombre de diodos de ruptura o, más comúnmente diodos Zener, en honor a uno de los primeros investigadores en este campo. En la siguiente figura se ilustra el símbolo de circuito de un diodo Zener.



El fabricante suele especificar el voltaje V_z en paralelo con el diodo Zener a una corriente especificada de prueba. Como lineamiento general de diseño se debe evitar operar el Zener en esta región de baja corriente.

Correspondiendo al cambio de corriente ΔI , el voltaje del Zener cambia en ΔV , que está relacionado con ΔI por $\Delta V = r_z \cdot \Delta I$, donde r_z es el inverso de la pendiente de la curva casi lineal I-V en el punto Q. A esta resistencia se le conoce como resistencia incremental y su valor se especifica en las hojas de datos del dispositivo. Es evidente que cuanto menor sea el valor de r_z , más constante permanece el voltaje Zener.

A continuación se muestra la curva característica del diodo mostrando la región de ruptura en detalle:



DESCRIPCIÓN BREVE

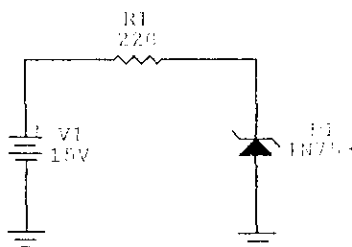
El alumno deberá construir un circuito en donde después de realizar las correspondientes mediciones logre encontrar la resistencia interna de un diodo zener. Posteriormente deberá construir dos circuitos de regulación de voltaje con diodo zener, uno con carga y otro sin carga, para poder luego encontrar el porcentaje de regulación de voltaje que logra el diodo zener en el circuito. Por último el alumno deberá construir un circuito con una señal simulada de ruido, para que observe como el diodo zener aminora el efecto del ruido sobre una señal de voltaje DC regulado en el circuito.

MATERIALES

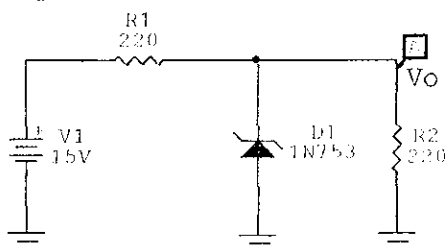
- un diodo zener 1N753 de 6.2 V
- Resistencias de 100 Ω , 220 Ω y variadas

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación, y mida el valor de resistencia interna del diodo r_z , tomando dos valores de voltaje V_z y sus dos valores correspondientes I_z , medidos ambos en el diodo. Calcule r_z con la fórmula $r_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z}$.

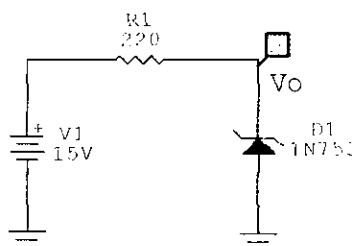


2. Ahora proceda a hacer las siguientes modificaciones al circuito:



Luego, mida la corriente de la fuente I_s , la corriente que atraviesa el diodo zener I_z , la corriente de carga I_L , y el voltaje de salida en la carga V_o . Ahora compare el valor de voltaje de salida medido con el valor teórico de salida, $V_o = V_z + I_z * r_z$, donde V_z es el voltaje característico del diodo zener (para este diodo 6.2 V), I_z es la corriente que atraviesa el diodo y r_z es la resistencia interna del diodo medida en el inciso 1.

3. Ahora desconecte la resistencia de carga R_2 y realice las mismas mediciones y cálculos que en el inciso 2.

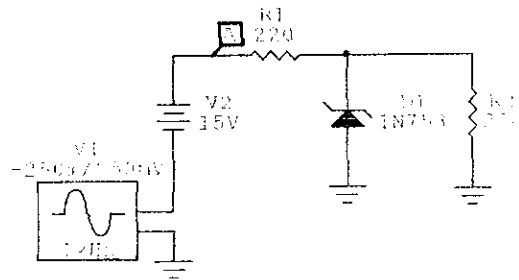


4. Calcule el porcentaje de regulación de voltaje del circuito de los incisos 2 y 3 con la siguiente fórmula:

$$\%VR = \frac{V_o(SC) - V_o(CC)}{V_o(CC)} * 100\%$$

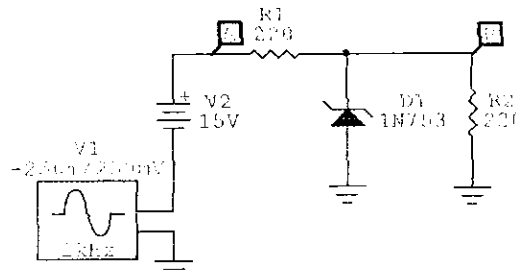
donde $V_o(SC)$ es el voltaje de salida sin carga, y $V_o(CC)$ es el voltaje de salida con carga.

5. Ahora construya el siguiente circuito utilizando un generador de funciones como se muestra en la siguiente figura:



Y con ayuda del osciloscopio observe y describa la señal en el punto A. ¿ Qué señal simula el generador de funciones?

6. Con el osciloscopio colocado en el punto B y midiendo a 100 mV por división en el eje Y, determine el valor de salida de voltaje DC del regulador zener.



7. Coloque el osciloscopio a 5 mV por división en el eje Y. Deberá observar una señal de ruido, muy pequeña comparada a la señal de ruido de entrada que simula el generador de funciones. Mida la señal de salida del circuito y compárela con el valor esperado según la siguiente ecuación:

$$V_o = \left[\frac{R_2 \parallel r_z}{R_1 + R_2 \parallel r_z} \right] V_{in}$$

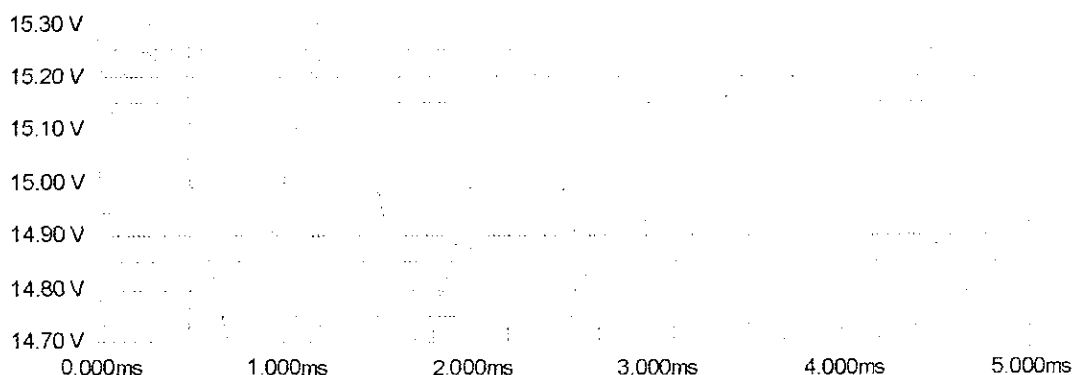
RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

- Los primeros valores de V_z e I_z corresponden a un valor de fuente de 10 V, y son los siguientes $V_z = 6.345$ V, $I_z = 16.61$ mA. Para el segundo valor de fuente de 12 V, los valores correspondientes son $V_z = 6.401$ V, $I_z = 25.45$ mA. Por lo tanto $r_z = \frac{\Delta V_z}{\Delta I_z} = \frac{6.401V - 6.345V}{25.45mA - 16.61mA} = \frac{0.056V}{8.84mA} = 6.33 \Omega$.
- La corriente de la fuente $I_s = 27.28$ mA, la corriente que atraviesa el diodo $I_z = 4.76$ uA la corriente de carga $I_L = 27.27$ mA y el voltaje de salida en la carga $V_o = 5.99$ V. El voltaje de salida en la carga V_o teórico es $V_o = V_z + I_z \cdot r_z = 6.2V + (4.76\mu A \cdot 6.33\Omega) = 6.20003$ V.
- Los valores para el circuito modificado son los siguientes: la corriente de la fuente $I_s = 25.45$ mA, la corriente que atraviesa el diodo $I_z = 25.47$ mA y el voltaje de salida en la carga $V_o = 6.401$ V. El voltaje de salida en la carga V_o teórico es $V_o = V_z + I_z \cdot r_z = 6.2V + (25.47mA \cdot 6.33\Omega) = 6.36$ V.

4. El porcentaje de regulación de voltaje es el siguiente: $\%VR = \frac{V_o(SC) - V_o(CC)}{V_o(CC)} * 100\% =$

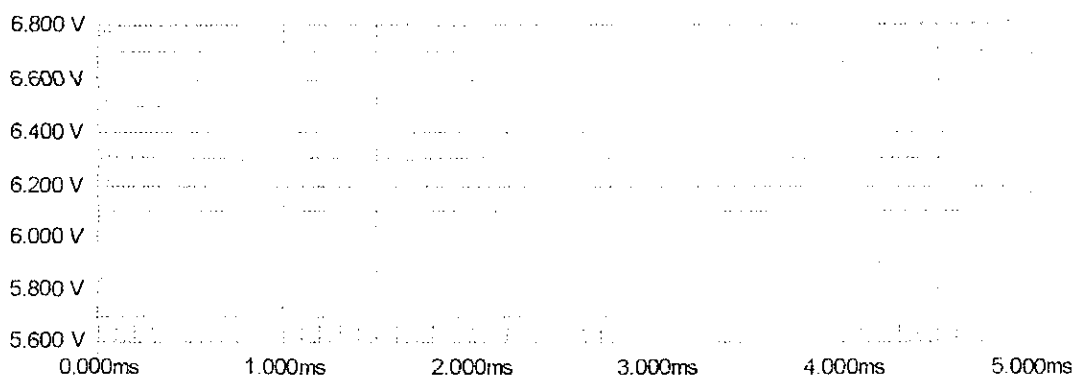
$$\frac{6.36V - 6.20}{6.20} * 100\% = 2.58 \%$$

5. A continuación se muestra la señal en el punto A:



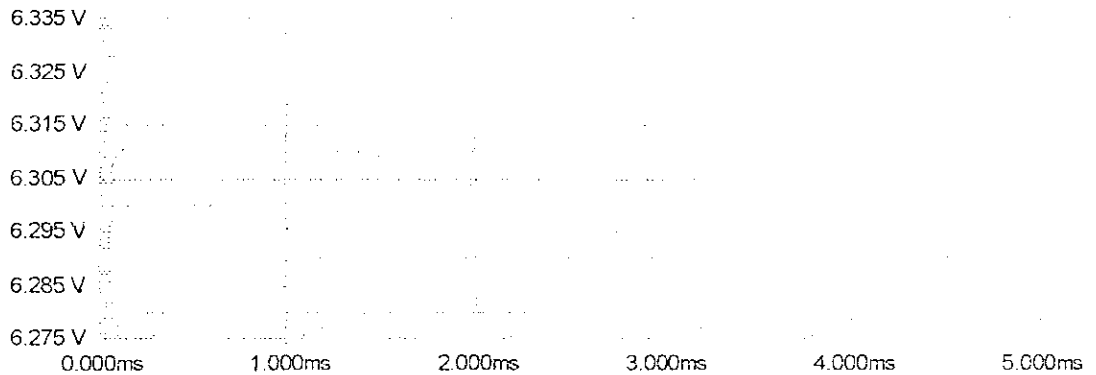
Se observa una señal de 0.5 V de amplitud montada en un nivel DC de 15 V. Por lo tanto esta señal producida por el generador de funciones puede simular una señal de ruido que afecta una señal de voltaje DC de 15 V.

6. A continuación se muestra la señal de salida en el punto B midiendo a 100 mV por división en el eje Y:



La gráfica muestra una señal aproximadamente DC alrededor del valor de regulación de voltaje del diodo zener (6.2 V). El valor DC medido en la salida es de 6.304 V.

7. A continuación se muestra la señal de salida en el punto B midiendo a 100 mV por división en el eje Y:



En este punto se logra observar una señal sinusoidal, que muestra la cantidad de ruido que el diodo zener no pudo filtrar en su regulación. Si se mide esta salida sinusoidal de pico a pico se obtiene una señal con valor de 16.35 mV, que es un valor mucho más pequeño a la señal de ruido de la entrada producida por el generador de funciones

que es de 500 mV. El valor esperado según la ecuación es de $V_o = \left[\frac{R2 \parallel r_z}{R1 + R2 \parallel r_z} \right] V_{in} =$

$$\left[\frac{220 \parallel 6.33}{440 \parallel 6.33} \right] 250 = 0.246V$$

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- Berlin, Howard. 1988. *Experiments in electronic devices*. 2a ed. Estados Unidos, Merril. 450 págs.

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE TRANSISTORES NPN PRÁCTICA #5

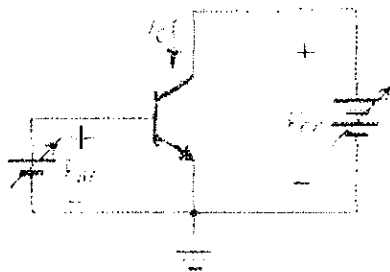
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que permita graficar las curvas características del transistor NPN que indican la dependencia de la corriente del colector con el voltaje de colector emisor y el voltaje de base emisor.
- Identificar la región de saturación y la región activa del transistor tipo BJT NPN, en la gráfica de las curvas características del transistor NPN.

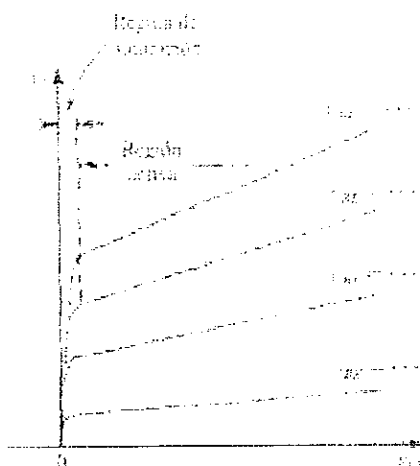
ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una vez estudiado el diodo de unión, que es el dispositivo semiconductor de dos terminales más elemental, se observarán los dispositivos semiconductores de tres terminales, que son mucho más útiles que los de dos terminales porque se pueden utilizar en una multitud de aplicaciones que varían desde una amplificación de señales hasta el diseño de circuitos digitales lógicos y de memoria.

Cuando operan en la región activa, los transistores de unión bipolar (BJT) como los estudiados en esta práctica, muestran alguna dependencia de la corriente de colector sobre el voltaje de colector, con el resultado que sus curvas características I_C - V_{CE} no son rectas perfectamente horizontales. Para ver esta dependencia con más claridad, se debe observar el circuito conceptual que se muestra en la siguiente figura:



En esta figura el transistor está conectado a la configuración de emisor común, y su V_{BE} se puede fijar en cualquier valor deseado al ajustar la fuente DC conectada entre base y emisor. A cada valor de V_{BE} , la correspondiente curva característica I_C - V_{CE} se puede medir punto por punto al hacer variar la fuente DC conectada entre colector y emisor y medir la corriente de colector correspondiente. El resultado es la familia de curvas características I_C - V_{CE} que se muestra en la siguiente figura:



En la figura anterior se puede observar que en cada curva se diferencian dos regiones de suma importancia: la región de saturación y la región activa. Las dos regiones se utilizan en diferentes aplicaciones específicas en el transistor, que serán estudiadas en prácticas posteriores.

PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el transistor npn NTE 123AP, que se encuentra en el sitio de internet de las prácticas.

DESCRIPCIÓN BREVE

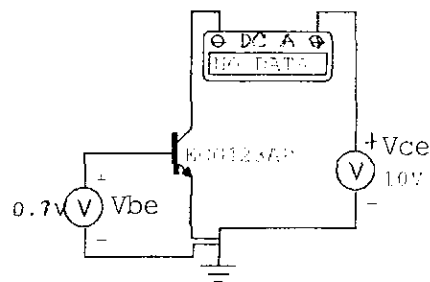
El alumno deberá construir un circuito, para el transistor tipo npn que le permitan construir tablas de datos para dibujar en una gráfica la familia de curvas características para cada transistor. En cada gráfica el alumno deberá identificar la región de saturación y la región activa de cada transistor.

MATERIALES

- un transistor npn NTE 123AP, o equivalente

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe la simulación correspondiente a la práctica, y posteriormente construya en su protoboard el siguiente circuito, utilizando dos fuentes de voltaje variables y un transistor **npn**. Antes de construir el circuito identifique bien cada pata del transistor.



Mida la corriente del colector, dejando fija la fuente conectada entre la base y el emisor y variando la fuente conectada entre el colector y el emisor de 0 a 10 V. Con esos datos construya una tabla para los siguientes voltajes de base emisor fijos.

IMPORTANTE: El transistor podría sobrecalentarse por lo tanto trate de no tener encendida la fuente de voltaje V_{CE} por mucho tiempo.

a) $V_{BE}=1\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

b) $V_{BE}=1.3\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

c) $V_{BE}=1.5\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

Con los datos obtenidos dibuje en una sola gráfica las curvas para el transistor **npn** estudiado, y verifique que lo que obtiene es una gráfica que podría ser vista como una superficie ya que la corriente del colector no solo depende de V_{CE} , sino también de V_{BE} .

- d) Identifique en la gráfica la región de saturación y la región activa para la familia de curvas.
- e) Investigue cuáles son las condiciones que deben cumplirse para que un transistor esté trabajando en la región activa.
- f) Describa las diferencias de las mediciones hechas en el protoboard con las obtenidas por el simulador.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.ucab.edu.ve/ingenieria/informatica/labfisica/practica9.pdf>

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE TRANSISTORES NPN

PRÁCTICA #5 GUÍA PARA EL AUXILIAR

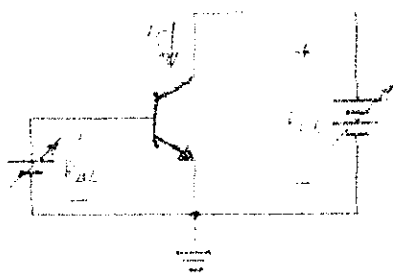
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que le permita graficar las curvas características del transistor NPN que indican la dependencia de la corriente del colector con el voltaje de colector emisor y el voltaje de base emisor.
- Identificar la región de saturación y la región activa del transistor tipo BJT NPN, en la gráfica de las curvas características del transistor NPN.

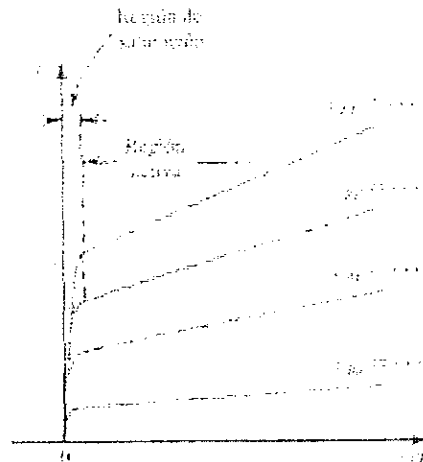
ANTECEDENTES TEÓRICOS

Una vez estudiado el diodo de unión, que es el dispositivo semiconductor de dos terminales más elemental, ahora se observarán los dispositivos semiconductores de tres terminales, que son mucho más útiles que los de dos terminales porque se pueden utilizar en una multitud de aplicaciones que varían desde una amplificación de señales hasta el diseño de circuitos digitales lógicos y de memoria.

Cuando operan en la región activa, los transistores de unión bipolar (BJT) como los estudiados en esta práctica, muestran alguna dependencia de la corriente de colector sobre el voltaje de colector, con el resultado que sus curvas características I_C-V_{CE} no son rectas perfectamente horizontales. Para ver esta dependencia con más claridad, se debe observar el circuito conceptual que se muestra en la siguiente figura:



En esta figura el transistor está conectado a la configuración de emisor común, y su V_{BE} se puede fijar en cualquier valor deseado al ajustar la fuente DC conectada entre base y emisor. A cada valor de V_{BE} , la correspondiente curva característica I_C-V_{CE} se puede medir punto por punto al hacer variar la fuente DC conectada entre colector y emisor y medir la corriente de colector correspondiente. El resultado es la familia de curvas características I_C-V_{CE} que se muestra en la siguiente figura:



En la figura anterior se puede observar que en cada curva se diferencian dos regiones de suma importancia: la región de saturación y la región activa. Las dos regiones se utilizan en diferentes aplicaciones específicas en el transistor, que serán estudiadas en prácticas posteriores.

PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el transistor npn NTE 123AP, que se encuentra en el sitio de internet de las prácticas.

DESCRIPCIÓN BREVE

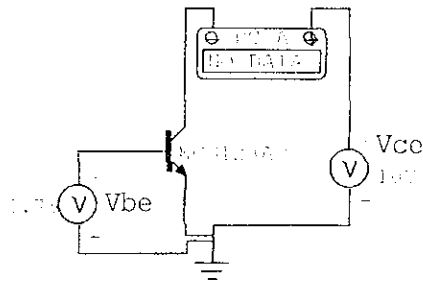
El alumno deberá construir un circuito, para el transistor tipo npn que le permita construir tablas de datos para dibujar en una gráfica la familia de curvas características para cada transistor. En cada gráfica el alumno deberá identificar la región de saturación y la región activa de cada transistor.

MATERIALES

- un transistor npn NTE 123AP, o equivalente

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe la simulación correspondiente a la práctica, y posteriormente construya en su protoboard el siguiente circuito, utilizando dos fuentes de voltaje variables y un transistor **npn**. Antes de construir el circuito identifique bien cada pata del transistor.



Mida la corriente del colector, dejando fija la fuente conectada entre la base y el emisor y variando la fuente conectada entre el colector y el emisor de 0 a 10 V. Con esos datos construya una tabla para los siguientes voltajes de base emisor fijos.

IMPORTANTE: El transistor podría sobrecalentarse por lo tanto trate de no tener encendida la fuente de voltaje V_{CE} por mucho tiempo.

a) $V_{BE}=1\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

b) $V_{BE}=1.3\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

c) $V_{BE}=1.5\text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

Con los datos obtenidos, dibuje en una sola gráfica las curvas para el transistor **npn** estudiado, y verifique que lo que obtiene es una gráfica que podría ser vista como una superficie ya que la corriente del colector no solo depende de V_{CE} , sino también de V_{BE} .

- d) Identifique en la gráfica la región de saturación y la región activa para la familia de curvas.
- e) Investigue cuáles son las condiciones que deben cumplirse para que un transistor esté trabajando en la región activa.
- f) Describa las diferencias de las mediciones hechas en el protoboard con las obtenidas por el simulador.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. Utilizando el circuito de simulación se obtuvieron los siguientes datos para el transistor npn:

a) Para $V_{BE} = 1 \text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	-413.6mA
1 V	1.619A
2 V	1.624A
3 V	1.629A
4 V	1.634A
5 V	1.639A

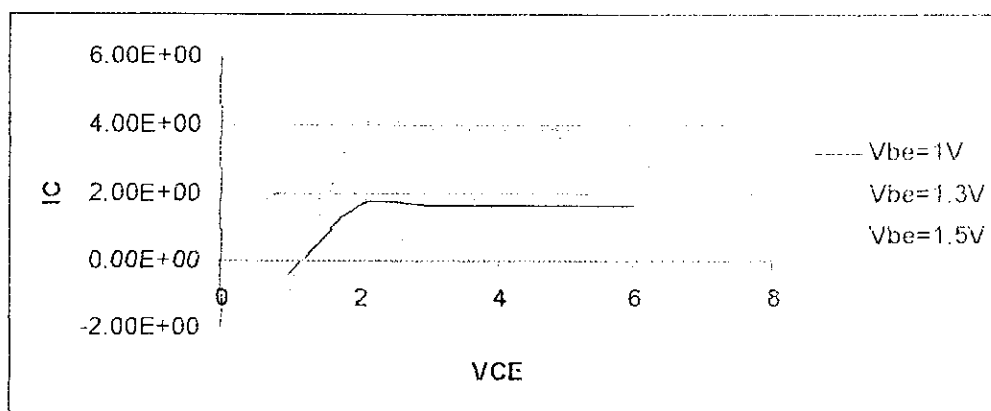
b) Para $V_{BE} = 1.3 \text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	-974.2mA
1 V	3.86A
2 V	3.87A
3 V	3.89A
4 V	3.9A
5 V	3.913A

c) Para $V_{BE} = 1.5 \text{ V}$

V_{CE}	I_C
0 V	-1.357A
1 V	5.244A
2 V	5.265A
3 V	5.285A
4 V	5.305A
5 V	5.324A

Con los datos obtenidos en las tres tablas anteriores, se obtiene la familia de curvas que se muestra a continuación:



- d) Si se traza una línea recta para diferenciar la región de saturación con la región activa, se puede observar que para $V_{CE} < 2$ se define la región de saturación y para $V_{CE} \geq 2$ se define la región activa.
- e) Las condiciones para que un transistor opere en la región activa son $V_{BE} \geq 0.7$ V y $V_{CB} \geq 0$ V.
- f) El alumno no debería observar diferencias muy significativas debido a que el modelo de transistor utilizado en el simulador es igual al pedido en los materiales de la guía. Si el transistor utilizado no es del mismo modelo el alumno debe nombrar las diferencias aunque el comportamiento debe ser similar.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.ucab.edu.ve/ingenieria/informatica/labfisica/practica9.pdf>

POLARIZACIÓN DE UN TRANSISTOR BJT PRÁCTICA #6

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un circuito de polarización para un transistor BJT NPN, construirlo y comprobar que se obtiene una corriente constante de 1 mA en el emisor.
- Diseñar un circuito de polarización para un transistor BJT PNP, de manera que el circuito tenga una corriente constante de 0.5 mA en el emisor.

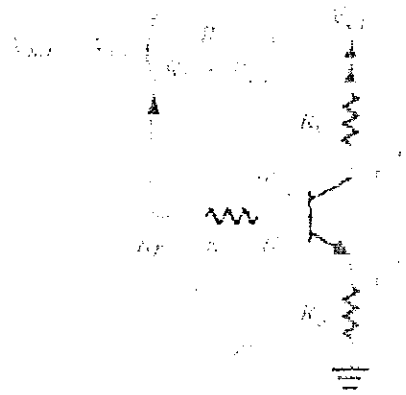
ANTECEDENTES TEÓRICOS

El problema de polarización es establecer una corriente DC constante en el emisor del transistor BJT. Esta corriente tiene que ser calculable, predecible e insensible a variaciones en temperatura y a las grandes variaciones del valor de β encontradas entre transistores del mismo tipo. Hay que recordar que para que un transistor funcione como amplificador, éste debe estar polarizado en la región activa. He aquí la importancia de polarizar un transistor. En la siguiente figura se muestra la distribución que más se utiliza para polarizar un amplificador de transistores si solo se dispone de una fuente de alimentación.



La técnica consiste en alimentar la base del transistor con una parte del voltaje V_{cc} de alimentación por medio del divisor de voltaje R_1 , R_2 . Además, un resistor R_E está conectado al emisor.

A continuación se muestra una figura con el mismo circuito observado anteriormente, con la red del divisor de voltaje sustituida por su equivalente de Thévenin.



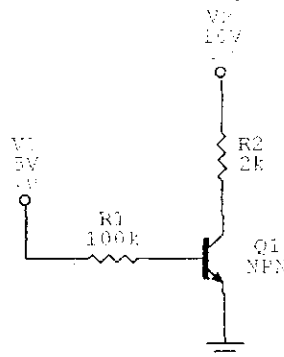
La corriente I_E se puede determinar con la siguiente ecuación:
$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

Para hacer que I_E sea insensible a variaciones en temperatura y en β , diseñamos el circuito para satisfacer las siguientes dos restricciones: $V_{BB} \gg V_{BE}$ y $R_E \gg R_B / (\beta + 1)$. La primera condición asegura que todas las variaciones en V_{BE} (alrededor de 0.7 V) serán amortiguadas por el V_{BB} mucho mayor. Como regla práctica, se diseña para V_{BB} alrededor de $1/3$ de V_{CC} , V_{CB} (o V_{CE}) alrededor de $1/3$ de V_{CC} , e $I_C R_C$ alrededor de $1/3$ de V_{CC} .

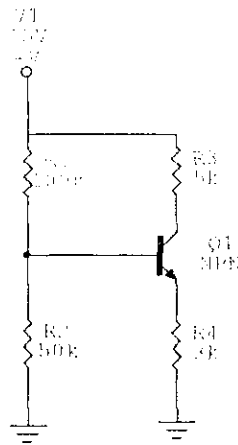
La segunda condición hace que I_E sea insensible a variaciones en β y podría satisfacerse si se relaciona una R_B pequeña. Típicamente se selecciona R_1 y R_2 tales que su corriente se encuentre entre I_E y $0.1 I_E$.

PRE-LABORATORIO

1. En el siguiente circuito encuentre I_E , I_C e I_B y determine si el transistor está operando en modo activo. Suponiendo que β está especificada como 100. Posteriormente demuestre que el circuito es un circuito mal diseñado, incrementando β en un 10% y volviendo a hacer los cálculos para determinar que el transistor salió del modo activo.



2. En el siguiente circuito encuentre I_E , I_C e I_B y determine si el transistor está operando en modo activo. Luego demuestre que el circuito es un circuito bien diseñado, aumentando β considerablemente y volviendo a realizar los cálculos para determinar que el transistor sigue operando en el modo activo.



DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar un circuito de polarización con las premisas descritas en los antecedentes teóricos, y luego construirlo en un protoboard para determinar si se obtienen los resultados esperados al diseñarlo. También deberá de utilizar el mismo circuito con otro transistor que tenga un valor de β diferente, para comprobar que sin importar el valor de β utilizado el circuito diseñado sigue polarizando al transistor para que trabaje en el modo activo. Por último el alumno deberá diseñar y analizar sólo en papel un circuito de polarización para un transistor PNP.

MATERIALES

- dos transistores de tipo npn con diferentes valores de β .
- resistencias variadas.

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un circuito de polarización clásica para un transistor BJT NPN con una sola fuente de alimentación, tal que se establezca una corriente $I_E=1$ mA, utilizando una fuente de alimentación $V_{cc}=+12$ V.
2. Construya en su protoboard el circuito diseñado en el inciso 1 y compruebe experimentalmente que la corriente que fluye por el emisor es de 1 mA. Si el resultado de la comprobación no es muy exacto, haga los ajustes necesarios en las resistencias R1 y R2 del divisor de voltaje para obtener una mayor precisión en el resultado.
3. En el mismo circuito que usted diseñó sólo remplace el transistor por otro transistor que tenga un valor de β diferente y compruebe que la corriente en el emisor sigue siendo de 1 mA.
En ambos casos, ¿está el transistor en modo activo?
4. Diseñe y analice un circuito de polarización clásica para un transistor BJT PNP con una sola fuente de alimentación, tal que se establezca una corriente $I_E=0.5$ mA, utilizando una fuente de alimentación $V_{cc}=+12$ V.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://quantum.ucting.udg.mx/~baa10588/electronica/circuitosdepola.htm>
- http://scsx01.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema8/Paginas/Pagina0.htm

POLARIZACIÓN DE UN TRANSISTOR BJT

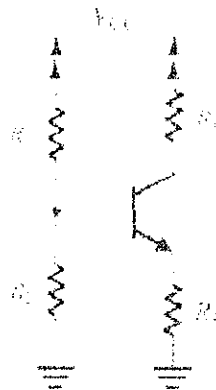
PRÁCTICA #6 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar un circuito de polarización para un transistor BJT NPN, construirlo y comprobar que se obtiene una corriente constante de 1 mA en el emisor.
- Diseñar un circuito de polarización para un transistor BJT PNP, de manera que el circuito tenga una corriente constante de 0.5 mA en el emisor.

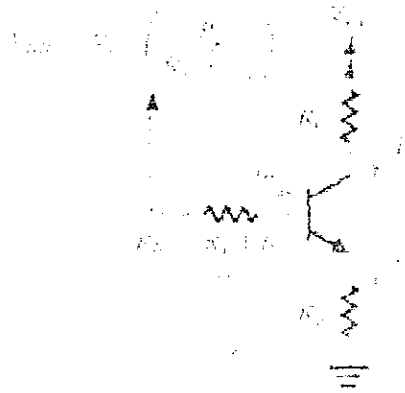
ANTECEDENTES TEÓRICOS

El problema de polarización es establecer una corriente DC constante en el emisor del transistor BJT. Esta corriente tiene que ser calculable, predecible e insensible a variaciones en temperatura y a las grandes variaciones del valor de β encontradas entre transistores del mismo tipo. Hay que recordar que para que un transistor funcione como amplificador, éste debe estar polarizado en la región activa. He aquí la importancia de polarizar un transistor. En la siguiente figura se muestra la distribución que más se utiliza para polarizar un amplificador de transistores si solo se dispone de una fuente de alimentación.



La técnica consiste en alimentar la base del transistor con una parte del voltaje V_{cc} de alimentación por medio del divisor de voltaje R_1 , R_2 . Además, un resistor R_E está conectado al emisor.

A continuación se muestra una figura con el mismo circuito observado anteriormente, con la red del divisor de voltaje sustituida por su equivalente de Thévenin.

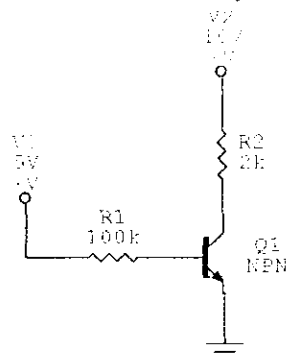


La corriente I_E se puede determinar con la siguiente ecuación:
$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (\beta + 1)}$$

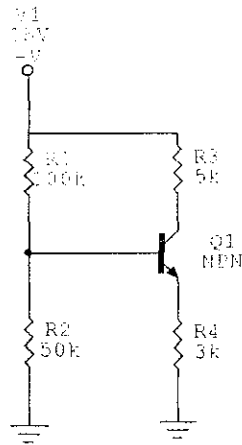
Para hacer que I_E sea insensible a variaciones en temperatura y en β , diseñamos el circuito para satisfacer las siguientes dos restricciones: $V_{BB} \gg V_{BE}$ y $R_E \gg R_B / (\beta + 1)$. La primera condición asegura que todas las variaciones en V_{BE} (alrededor de 0.7 V) serán amortiguadas por el V_{BB} mucho mayor. Como regla práctica, se diseña para V_{BB} alrededor de 1/3 de V_{CC} , V_{CB} (o V_{CE}) alrededor de 1/3 de V_{CC} , e $I_C R_C$ alrededor de 1/3 de V_{CC} . La segunda condición hace que I_E sea insensible a variaciones en β y podría satisfacerse si se relaciona una R_B pequeña. Típicamente se selecciona R_1 y R_2 tales que su corriente se encuentre entre I_E y $0.1 I_E$.

PRE-LABORATORIO

1. En el siguiente circuito encuentre I_E , I_C e I_B y determine si el transistor está operando en modo activo. Suponiendo que β está especificada como 100. Posteriormente demuestre que el circuito es un circuito mal diseñado, incrementando β en un 10% y volviendo a hacer los cálculos para determinar que el transistor salió del modo activo.



2. En el siguiente circuito encuentre I_E , I_C e I_B y determine si el transistor está operando en modo activo. Luego demuestre que el circuito es un circuito bien diseñado, aumentando β considerablemente y volviendo a realizar los cálculos para determinar que el transistor sigue operando en el modo activo.

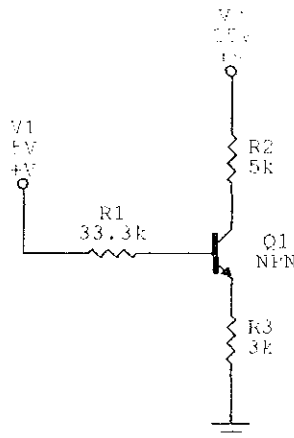


RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. Para determinar la corriente en la base se utiliza la siguiente ecuación: $I_B = \frac{5 - 0.7}{100k\Omega} =$

0.043mA. Por lo tanto $I_C = 4.3 \text{ mA}$ e $I_E = 4.3 \text{ mA}$. Para determinar si el transistor está en modo activo se debe verificar si $V_{CB} > 0$, y $V_{CB} = V_C - V_B = (10 - 2000I_C) - 0.7 = 0.7$ que es mayor que cero; entonces el transistor sí está en modo activo. Si se hace $\beta = 110$ se obtiene que aunque la corriente en la base se conserva, las demás corrientes cambian, $I_C = 4.73 \text{ mA}$ e $I_E = 4.77 \text{ mA}$. Entonces en este caso $V_{CB} < 0$, debido a que $V_{CB} = V_C - V_B = (10 - 2000I_C) - 0.7 = -0.16 \text{ V}$. Entonces el transistor salió del modo activo con el incremento de β .

2. Si se sustituye el circuito con su equivalente de Thevenin, se obtiene el siguiente circuito:



Y se obtiene la siguiente ecuación: $33.3k \frac{I_B}{\beta + 1} + 0.7 + 3k * I_E = 5$. Para determinar que $I_E =$

1.29 mA, $I_B = 0.0128 \text{ mA}$ e $I_C = 1.28 \text{ mA}$. Con esto se tiene que $V_B = 4.57 \text{ V}$ y $V_C = 8.6 \text{ V}$. Por lo tanto $V_{CB} > 0$, y el transistor está en modo activo. Si se incrementa β para que tenga un valor de 1000, se obtienen cambios en las corrientes: $I_E = 1.42 \text{ mA}$, $I_B = 1.42 \mu\text{A}$, $I_C = 1.42 \text{ mA}$, y cambios también en los voltajes: $V_B = 4.96 \text{ V}$ y $V_C = 7.9 \text{ V}$. Sin

embargo V_{CB} sigue siendo mayor que cero, esto significa que el transistor se mantiene en el modo activo.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar un circuito de polarización con las premisas descritas en los antecedentes teóricos, y luego construirlo en un protoboard para determinar si se obtienen los resultados esperados al diseñarlo. También deberá utilizar el mismo circuito con otro transistor que tenga un valor de β diferente, para comprobar que sin importar el valor de β utilizado el circuito diseñado sigue polarizando al transistor para que trabaje en el modo activo. Por último, el alumno deberá diseñar y analizar en papel un circuito de polarización para un transistor PNP.

MATERIALES

- dos transistores de tipo npn con diferentes valores de β .
- resistencias variadas.

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un circuito de polarización clásica para un transistor BJT NPN con una sola fuente de alimentación, tal que se establezca una corriente $I_E=1$ mA, utilizando una fuente de alimentación $V_{CC} = +12$ V.
2. Construya en su protoboard el circuito diseñado en el inciso 1 y compruebe experimentalmente que la corriente que fluye por el emisor es de 1 mA. Si el resultado de la comprobación no es muy exacto, haga los ajustes necesarios en las resistencias R_1 y R_2 del divisor de voltaje para obtener una mayor precisión en el resultado.
3. En el mismo circuito que usted diseñó sólo remplace el transistor por otro transistor que tenga un valor de β diferente y compruebe que la corriente en el emisor sigue siendo de 1 mA.
En ambos casos, ¿está el transistor en modo activo?
4. Diseñe y analice un circuito de polarización clásica para un transistor BJT PNP con una sola fuente de alimentación, tal que se establezca una corriente $I_E=0.5$ mA, utilizando una fuente de alimentación $V_{CC} = +12$ V.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. Primero se asigna un tercio del voltaje de alimentación para la posible alternancia de señal en el colector. Entonces $V_B=4$ V, y $V_E=4-V_{BE}=3.3$ V, entonces se determina $R_E=3.3$ k Ω . Ahora se selecciona una corriente de divisor de voltaje igual a I_E , siguiendo las reglas mostradas en los antecedentes teóricos, y se encuentran R_1 y R_2 con las ecuaciones $R_1+R_2 = 12$ k Ω y $\frac{R_2}{R_1+R_2} V_{CC} = 4$ V. Entonces $R_1=8$ k Ω y $R_2=4$ k Ω . Se

obtiene V_C , asignando $V_{CB} = 4 \text{ V}$, por lo tanto $V_C = 8 \text{ V}$. Entonces se tiene R_C con

$$R_C = \frac{12 - V_C}{I_C} = \frac{12 - 8}{0.99 * 1} = 4.04 \text{ k}\Omega, \text{ suponiendo } \alpha = 0.99.$$

2. Realizando mediciones en el simulador se obtiene un valor de $I_E = 1.021 \text{ mA}$, comprobando así que el diseño funciona. Ajustando R_2 a $3.9 \text{ k}\Omega$ se obtiene $I_E = 1.001 \text{ mA}$, resultado que es mucho más exacto.
3. En el simulador se reemplazó el transistor con otro con una β mayor y se obtuvo $I_E = 0.990 \text{ mA}$, lo que comprueba que la corriente en el emisor se conserva en niveles aceptables.

Ambos circuitos se diseñaron para que $V_{CB} = 4 \text{ V}$, por lo tanto $V_{CB} > 0$ para ambos circuitos y los dos transistores están funcionando en modo activo.

4. Primero se asigna un tercio del voltaje de alimentación para la posible alternancia de señal en el colector. Entonces $V_B = 4 \text{ V}$, y $V_E = 4 - V_{BE} = 3.3 \text{ V}$, entonces se determina $R_E = 6.6 \text{ k}\Omega$. Ahora se selecciona una corriente de divisor de voltaje igual a I_E , siguiendo las reglas mostradas en los antecedentes teóricos, y encontramos R_1 y R_2 con las

ecuaciones $R_1 + R_2 = 24 \text{ k}\Omega$ y $\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = 4 \text{ V}$. Entonces $R_1 = 16 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 8 \text{ k}\Omega$. Se

obtiene V_C , asignando $V_{CB} = 4 \text{ V}$, por lo tanto $V_C = 8 \text{ V}$. Entonces se tiene R_C con

$$R_C = \frac{12 - V_C}{I_C} = \frac{12 - 8}{0.99 * 0.5} = 8.08 \text{ k}\Omega, \text{ suponiendo } \alpha = 0.99.$$

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford.
- 1232 págs.
- <http://quantum.ucting.udg.mx/~baa10588/electronica/circuitosdepola.htm>
- http://scsx01.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema8/Paginas/Pagina0.htm

CONFIGURACIONES DE AMPLIFICADORES CON TRANSISTORES DE UNA ETAPA PRÁCTICA #7

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

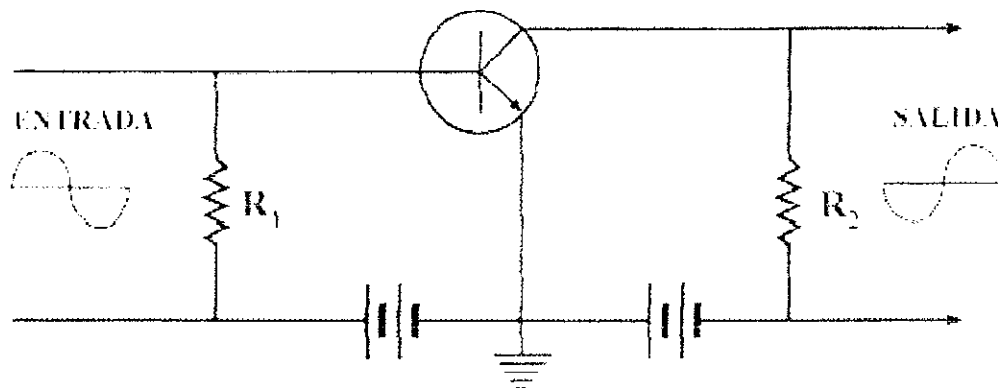
- Implementar un amplificador emisor común, un amplificador base común y un amplificador colector común.
- Hacer y comparar las diferentes configuraciones, analizando las características de cada una como la amplificación de voltaje, la amplificación de corriente y la respuesta en frecuencia.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las tres configuraciones básicas que existen en cuanto a la utilización de transistores como amplificadores son los circuitos: emisor común, base común y colector común.

El amplificador de emisor común:

En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de emisor común.



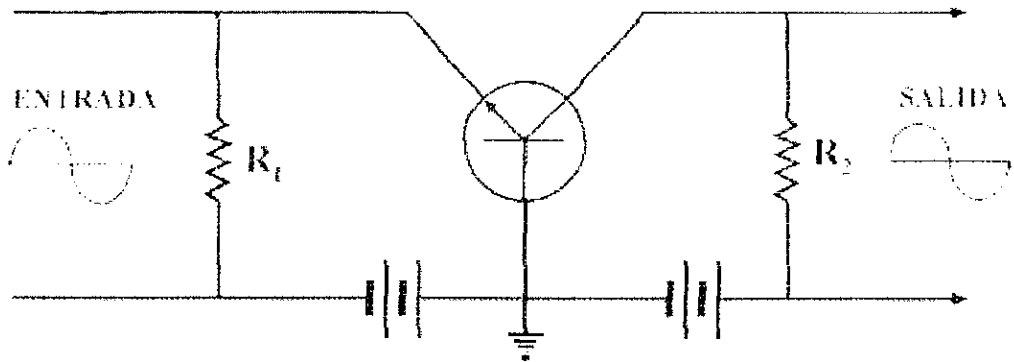
Observe que el puerto de entrada del amplificador de emisor común es entre base y emisor, que está a tierra de señal, y el puerto de salida es entre colector y emisor, de aquí el nombre de emisor común.

Una particularidad interesante de esta configuración es que se produce una inversión en la fase de la señal de salida con respecto a la de entrada. Para aclarar esta afirmación, se observa que la señal de entrada en el circuito de la figura anterior tiene su sentido positivo, por lo que ese potencial se suma al básico que hay en la base. Como la base es más positiva, aumentará la corriente de emisor y, por lo tanto, la del transistor, ya que los electrones tienden a circular en mayor cantidad. Al aumentar la corriente de colector, será mayor también a través de la resistencia de carga y aumentará la diferencia de potencial o voltaje

en la misma, siendo, en consecuencia, menor el voltaje en el colector. Luego, cuando la señal de entrada tiende a valores positivos (en aumento), la señal de salida tiende hacia valores negativos (disminuye). Cuando la señal de entrada tiene su semiciclo negativo, se reduce el voltaje en la base, disminuyendo la corriente del emisor y, por ende, la del colector, por lo que se reduce la caída de potencial en la resistencia de carga y habrá mayor voltaje positivo en el colector. En resumen, la señal de entrada y salida están desfasadas en 180° , es decir, medio ciclo. Esta es la configuración que produce mayor ganancia. El amplificador en emisor común; sin embargo, tiene una respuesta en alta frecuencia deficiente. Aunque esto se puede mejorar colocando una resistencia en el emisor del transistor.

El amplificador de base común:

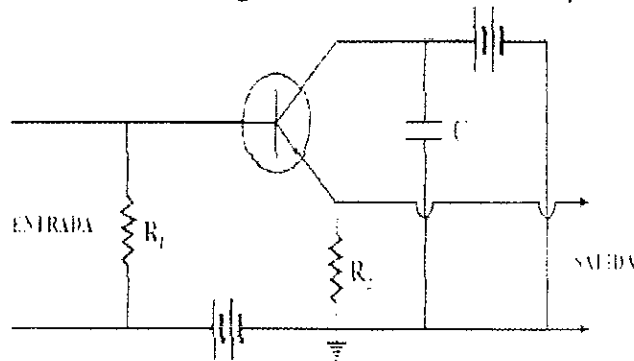
En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de base común.



La flecha saliendo del emisor indica que el transistor es un NPN y tiene polaridad negativa en el emisor y positiva en el colector. La señal de entrada se hace sobre la resistencia R_1 y la de salida sobre la resistencia de carga R_2 conectada al colector. Como la base, conectada a tierra, es el terminal común entre los puertos de entrada y de salida, el circuito recibe el nombre de base común. Puede observarse que a un aumento del voltaje negativo de la señal en el emisor (semiciclo negativo de la señal de entrada) corresponde un aumento en la corriente de colector, pasando mayor cantidad de corriente por la resistencia de carga, aumentando así el voltaje en dicha resistencia y por esto se hace más negativo el colector. Luego, cuando el emisor se hace más negativo, el colector también. Esto plantea que la señal de entrada (emisor) y la de salida (colector) están en fase. Esta configuración no produce ganancia de corriente, pero sí de voltaje y además tiene propiedades útiles en altas frecuencias.

El amplificador de colector común:

En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de colector común.



Se debe observar que como el colector está a tierra de señal y sirve como terminal común entre los puertos de entrada y de salida del amplificador, el circuito recibe el nombre de amplificador de colector común. Este tipo de amplificador recibe también el nombre de seguidor de emisor, porque las variaciones de voltaje en el emisor siguen a las variaciones de voltaje que se producen en la entrada, por lo que no existe desfase. La impedancia de entrada es relativamente alta, porque el circuito de entrada está influenciado por el voltaje que aparece en la resistencia de carga conectada al emisor. La impedancia de salida es baja, porque el circuito de salida incluye al circuito base-emisor, el cual está polarizado directamente. Por esto, la configuración colector común se utiliza en muchas aplicaciones como adaptador de impedancias, es decir, como amplificador de corriente. Cuando se sitúa en el circuito de entrada, su elevada impedancia de entrada traduce la carga aplicada a la fuente de la señal. Cuando se sitúa en el circuito de salida sirve para aislar de la carga la etapa precedente del amplificador y además da una baja impedancia de salida. La señal de salida está en serie y en oposición con la señal de entrada; en consecuencia, el voltaje resultante que actúa entre base y emisor es: $V_{\text{entrada}} - V_{\text{salida}}$. Por tanto, para que el voltaje de entrada tenga valor real, el de salida tiene que ser menor que el de entrada, por lo que la ganancia de voltaje siempre es menor que uno en este tipo de amplificador. Este tipo de amplificador es ideal para funcionar como la última etapa o etapa de salida en un amplificador de etapas múltiples en donde su propósito sería no producir más ganancia de voltaje, sino, más bien, dar al amplificador en cascada una baja resistencia de salida.

DESCRIPCIÓN BREVE

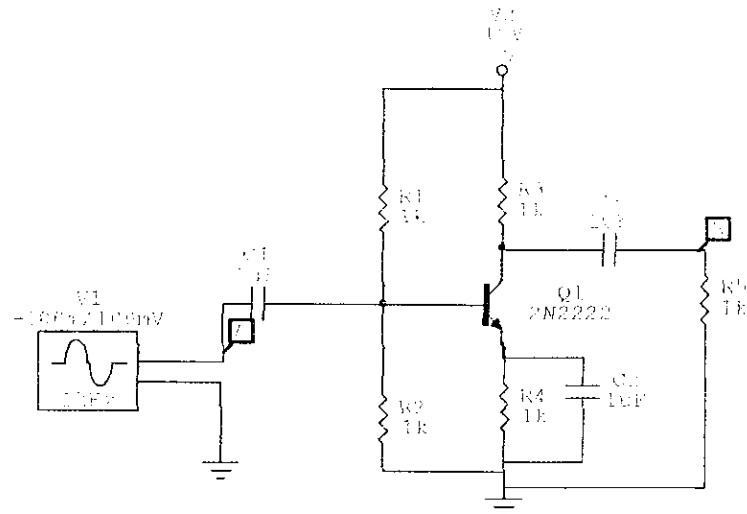
El alumno deberá construir el circuito que representa cada una de las configuraciones mencionadas en los antecedentes teóricos. Para cada circuito deberá determinar su ganancia de voltaje y corriente, y estudiar el comportamiento en frecuencia de cada configuración. Estos datos serán utilizados para hacer una comparación entre cada configuración de amplificador, para determinar las utilidades de las configuraciones.

MATERIALES

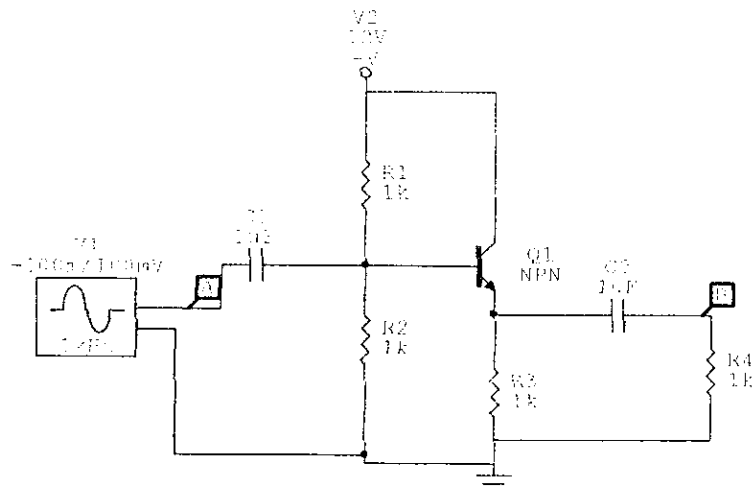
- un transistor tipo BJT npn modelo 2N2222 o equivalente
- resistencias de 1 k Ω y de 100 Ω
- capacitores de 1 μF

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

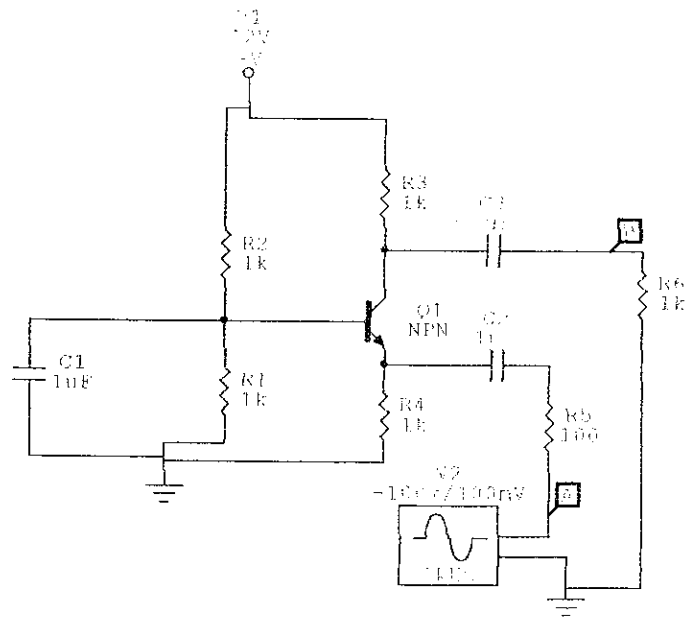
1. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
2. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
3. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
4. Con lo observado anteriormente, determine las diferencias entre cada configuración, mencionando ventajas y desventajas.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.cucei.udg.mx/~rgm29002/Practica%20No.4.html>

CONFIGURACIONES DE AMPLIFICADORES CON TRANSISTORES DE UNA ETAPA
PRÁCTICA #7
GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

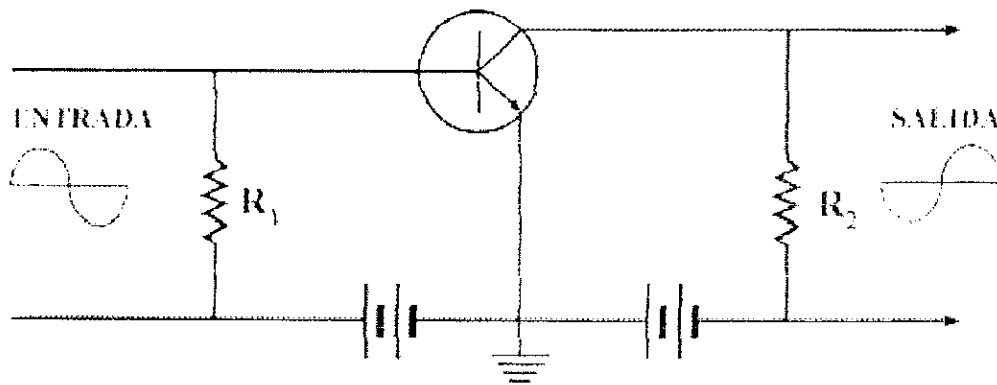
- Implementar un amplificador emisor común, un amplificador base común y un amplificador colector común.
- Hacer y comparar las diferentes configuraciones, analizando las características de cada una como la amplificación de voltaje, la amplificación de corriente y la respuesta en frecuencia.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Las tres configuraciones básicas que existen en cuanto a la utilización de transistores como amplificadores son los circuitos: emisor común, base común y colector común.

El amplificador de emisor común:

En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de emisor común.



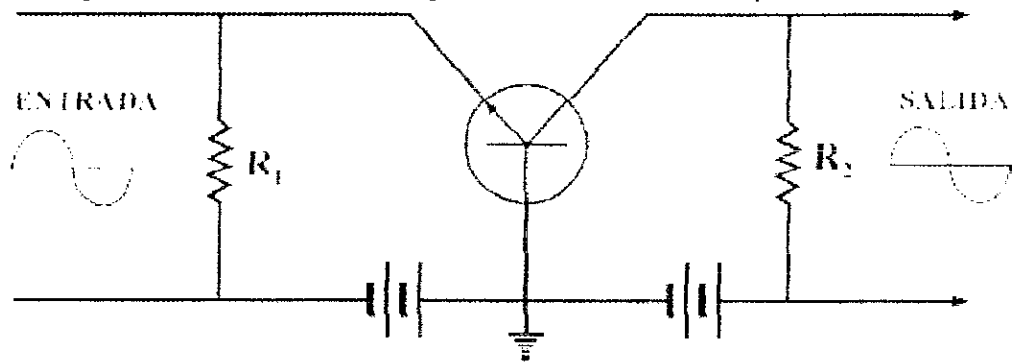
Observe que el puerto de entrada del amplificador de emisor común es entre base y emisor, que está a tierra de señal, y el puerto de salida es entre colector y emisor, de aquí el nombre de emisor común.

Una particularidad interesante de esta configuración es que se produce una inversión en la fase de la señal de salida con respecto a la de entrada. Para aclarar esta afirmación, se observa que la señal de entrada en el circuito de la figura anterior tiene su sentido positivo, por lo que ese potencial se suma al básico que hay en la base. Como la base es más positiva, aumentará la corriente de emisor y por lo tanto, la del transistor, ya que los electrones tienden a circular en mayor cantidad. Al aumentar la corriente de colector, será mayor

también a través de la resistencia de carga y aumentará la diferencia de potencial o voltaje en la misma, siendo, en consecuencia, menor el voltaje en el colector. Luego, cuando la señal de entrada tiende a valores positivos (en aumento), la señal de salida tiende hacia valores negativos (disminuye). Cuando la señal de entrada tiene su semiciclo negativo, se reduce el voltaje en la base, disminuyendo la corriente del emisor y, por ende, la del colector, por lo que se reduce la caída de potencial en la resistencia de carga y habrá mayor voltaje positivo en el colector. En resumen, la señal de entrada y salida están desfasadas en 180° , es decir, medio ciclo. Esta es la configuración que produce mayor ganancia. El amplificador en emisor común; sin embargo, tiene una respuesta en alta frecuencia deficiente. Aunque esto se puede mejorar colocando una resistencia en el emisor del transistor.

El amplificador de base común:

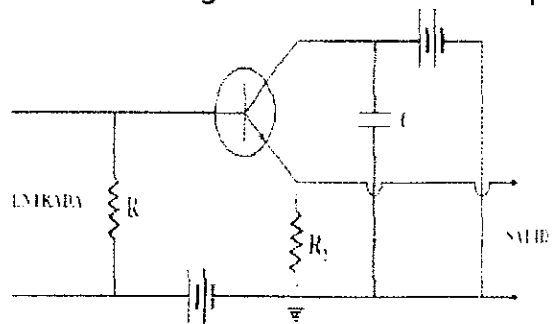
En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de base común.



La flecha saliendo del emisor indica que el transistor es un NPN y tiene polaridad negativa en el emisor y positiva en el colector. La señal de entrada se hace sobre la resistencia R_1 y la de salida sobre la resistencia de carga R_2 conectada al colector. Como la base, conectada a tierra, es el terminal común entre los puertos de entrada y de salida, el circuito recibe el nombre de base común. Puede observarse que a un aumento del voltaje negativo de la señal en el emisor (semiciclo negativo de la señal de entrada) corresponde un aumento en la corriente de colector, pasando mayor cantidad de corriente por la resistencia de carga, aumentando así el voltaje en dicha resistencia y por esto se hace más negativo el colector. Luego, cuando el emisor se hace más negativo, el colector también. Esto plantea que la señal de entrada (emisor) y la de salida (colector) están en fase. Esta configuración no produce ganancia de corriente, pero sí de voltaje y además tiene propiedades útiles en altas frecuencias.

El amplificador de colector común:

En la siguiente figura se muestra la configuración básica del amplificador de colector común.



Se debe observar que como el colector está a tierra de señal y sirve como terminal común entre los puertos de entrada y de salida del amplificador, el circuito recibe el nombre de amplificador de colector común. Este tipo de amplificador recibe también el nombre de seguidor de emisor, porque las variaciones de voltaje en el emisor siguen a las variaciones de voltaje que se producen en la entrada, por lo que no existe desfase. La impedancia de entrada es relativamente alta, porque el circuito de entrada está influenciado por el voltaje que aparece en la resistencia de carga conectada al emisor. La impedancia de salida es baja, porque el circuito de salida incluye al circuito base-emisor, el cual está polarizado directamente. Por esto, la configuración colector común se utiliza en muchas aplicaciones como adaptador de impedancias, es decir, como amplificador de corriente. Cuando se sitúa en el circuito de entrada, su elevada impedancia de entrada traduce la carga aplicada a la fuente de la señal. Cuando se sitúa en el circuito de salida sirve para aislar de la carga la etapa precedente del amplificador y además da una baja impedancia de salida. La señal de salida está en serie y en oposición con la señal de entrada; en consecuencia, el voltaje resultante que actúa entre base y emisor es: $V_{\text{entrada}} - V_{\text{salida}}$. Por tanto, para que el voltaje de entrada tenga valor real, el de salida tiene que ser menor que el de entrada, por lo que la ganancia de voltaje siempre es menor que uno en este tipo de amplificador. Este tipo de amplificador es ideal para funcionar como la última etapa o etapa de salida en un amplificador de etapas múltiples en donde su propósito sería no producir más ganancia de voltaje, sino, más bien, dar al amplificador en cascada una baja resistencia de salida.

DESCRIPCIÓN BREVE

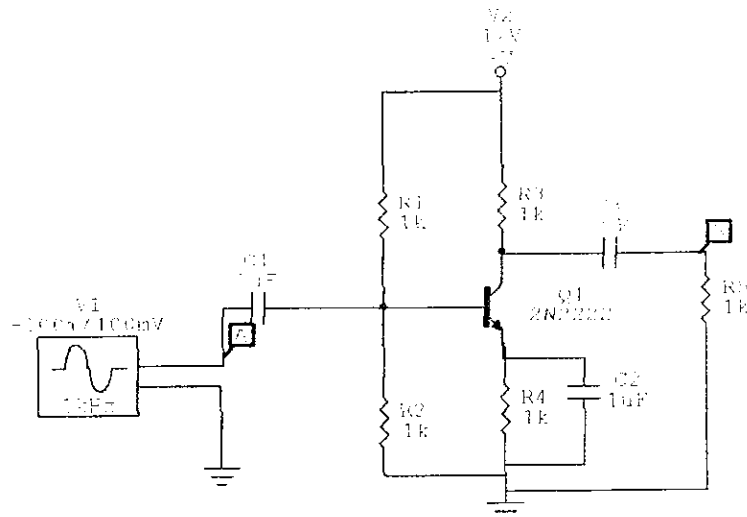
El alumno deberá construir el circuito que representa cada una de las configuraciones mencionadas en los antecedentes teóricos. Para cada circuito deberá determinar su ganancia de voltaje y corriente, y estudiar el comportamiento en frecuencia de cada configuración. Estos datos serán utilizados para hacer una comparación entre cada configuración de amplificador, para determinar las utilidades de las configuraciones.

MATERIALES

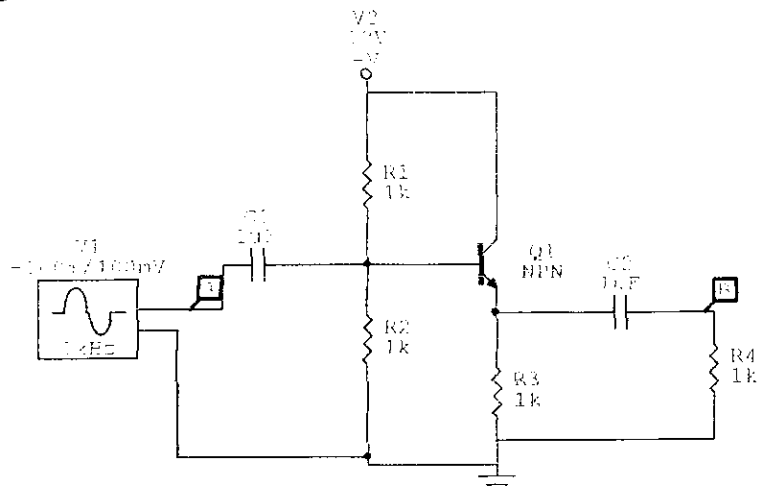
- un transistor tipo BJT npn modelo 2N2222 o equivalente
- resistencias de 1 k Ω y de 100 Ω
- capacitores de 1 μF

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

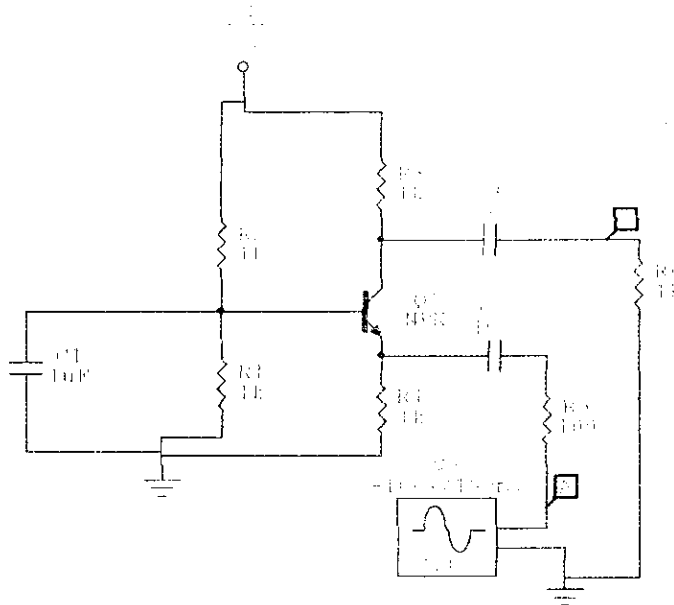
1. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
2. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
3. Construya el siguiente circuito en su protoboard:



- a) ¿En qué configuración está funcionando el amplificador?
 - b) Determine la ganancia de voltaje y la ganancia de corriente del circuito de la figura, realizando las mediciones necesarias con el osciloscopio.
 - c) Determine la ganancia de voltaje para las siguientes frecuencias ajustando el generador de funciones: 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 40 Hz, 60 Hz, 80 Hz, 100 Hz, 300 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz y 5 MHz.
 - d) Con los datos anteriores realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del amplificador.
4. Con lo observado anteriormente, determine las diferencias entre cada configuración, mencionando ventajas y desventajas.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. a) El circuito presentado es un amplificador en configuración de emisor común.
- b) A continuación se muestra las formas de onda para las señales de voltaje de entrada(A) y salida(B) del circuito, según lo visto en el simulador.



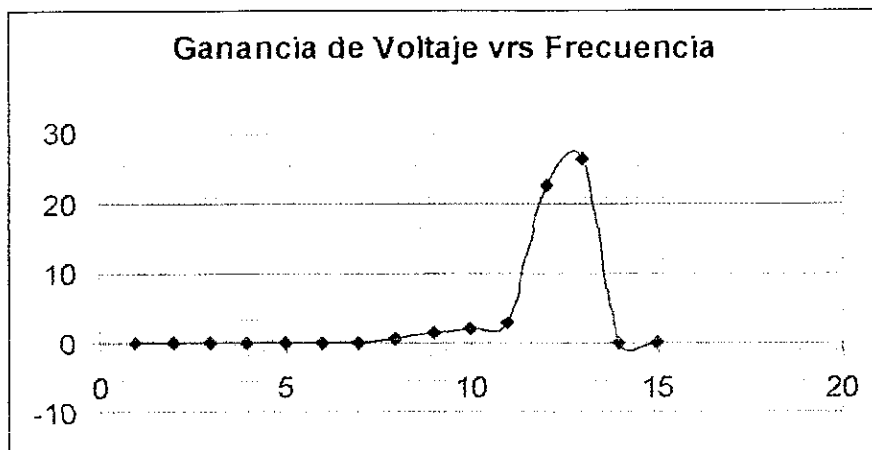
Con la gráfica anterior se obtiene la ganancia de voltaje, que es de 3 V/V. Según las mediciones realizadas en la simulación la corriente AC de entrada es de 132.5 μ A y la de salida es de 209.7 μ A. Por lo tanto la ganancia de corriente es de 1.58 A/A.

c)

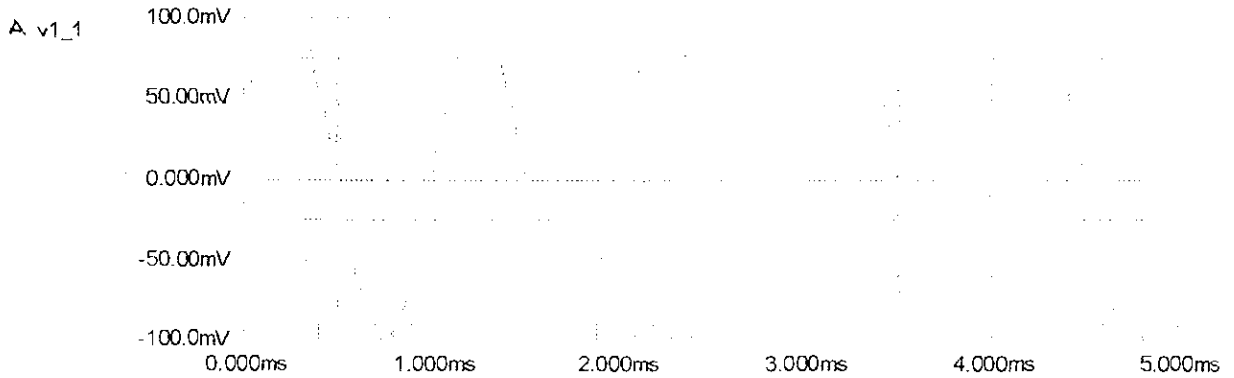
Frecuencia en Hz	Ganancia de Voltaje V/V
5	0
10	0
20	0.0079
40	0.0277
60	0.058
80	0.095
100	0.13
300	0.69
500	1.35
700	2
1k	3
10k	22.6
100k	26.2
1M	0
5M	0

Debe de notarse que a partir de los 10 kHz, aunque el circuito todavía amplifica, la señal resultante es una señal ya distorsionada.

d) A continuación se muestra la gráfica de ganancia vrs. frecuencia.



2. a) El circuito presentado es un amplificador en configuración de colector común.
 b) A continuación se muestra las formas de onda para las señales de voltaje de entrada(A) y salida(B) del circuito, según lo visto en el simulador.

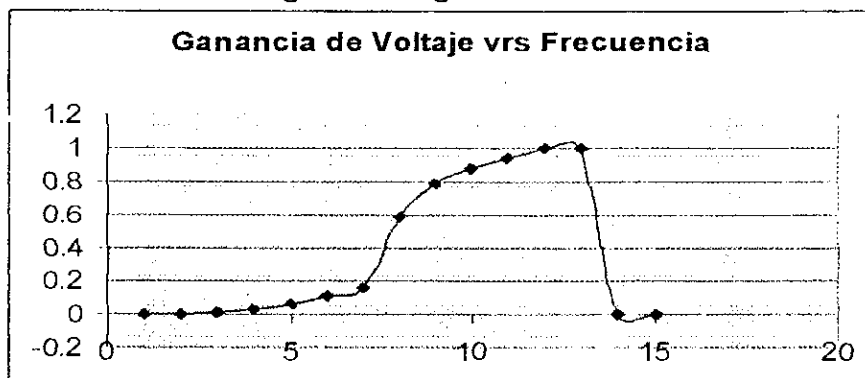


Con la gráfica anterior se obtiene la ganancia de voltaje, que es de 0.94 V/V. Según las mediciones realizadas en la simulación la corriente AC de entrada es de 133.9 μA y la de salida es de 64.55 μA . Por lo tanto la ganancia de corriente es de 0.48 A/A.

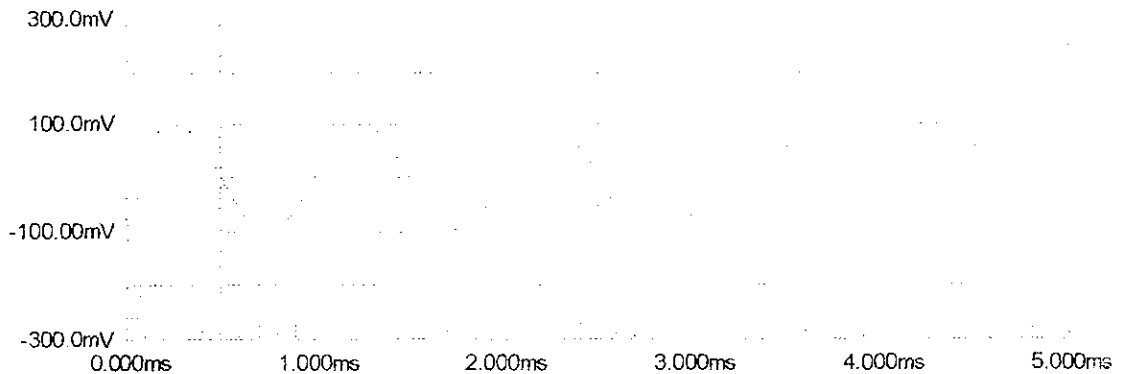
c)

Frecuencia en Hz	Ganancia de Voltaje V/V
5	0
10	0
20	0.0077
40	0.0298
60	0.064
80	0.11
100	0.16
300	0.59
500	0.79
700	0.88
1k	0.94
10k	1
100k	1
1M	0
5M	0

d) A continuación se muestra la gráfica de ganancia vs. frecuencia.



3. a) El circuito presentado es un amplificador en configuración de base común.
 b) A continuación se muestra las formas de onda para las señales de voltaje de entrada(A) y salida(B) del circuito, según lo visto en el simulador.



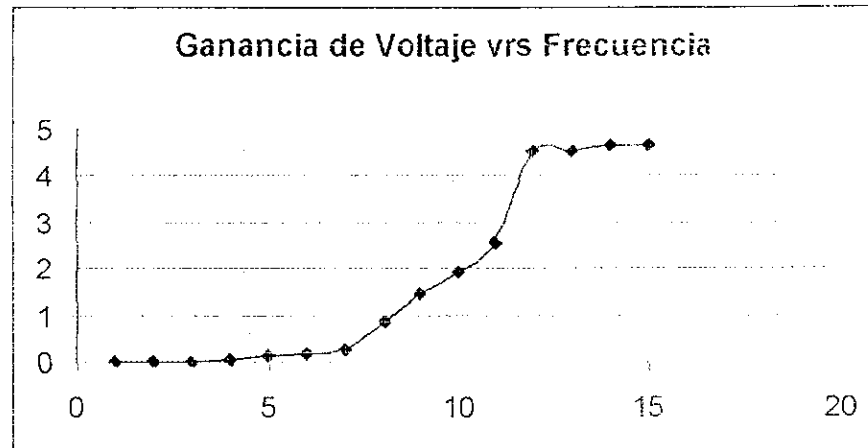
Con la gráfica anterior se obtiene la ganancia de voltaje, que es de 2.55 V/V. Según las mediciones realizadas en la simulación la corriente AC de entrada es de 360.2 μ A y la de salida es de 176.7 μ A. Por lo tanto la ganancia de corriente es de 0.49 A/A.

c)

Frecuencia en Hz	Ganancia de Voltaje V/V
5	0
10	0.0038
20	0.015
40	0.055
60	0.11
80	0.17
100	0.24
300	0.87
500	1.44
700	1.94
1k	2.55
10k	4.52
100k	4.55
1M	4.64
5M	4.64

Se debe mencionar que se siguieron realizando mediciones, hasta que el simulador permitiera, y a 10 GHz el circuito sigue amplificando la señal.

d) A continuación se muestra la gráfica de ganancia vrs. frecuencia.



4. Se observó que el amplificador de emisor común, fue el amplificador que obtuvo la ganancia de voltaje mayor y la ganancia de corriente mayor, tal y como lo anticipaba la teoría, sin embargo el rango de frecuencias en el que el circuito amplifica es muy angosto, y además fue el único amplificador que mostró saturación en la señal para frecuencias altas. El amplificador de colector común fue el que presentó menor ganancia de voltaje y de corriente, es más el amplificador nunca obtuvo una ganancia de voltaje mayor a la unidad; sin embargo, presentó un rango de frecuencias ancho en el cual la ganancia es cercana a la unidad. El amplificador de base común presentó una ganancia de voltaje y corriente menor que el de emisor común, pero significativamente mayor que el de colector común. Es de suma importancia mencionar que este amplificador fue el que obtuvo la mejor respuesta en frecuencia ya que fue el que inició más temprano a amplificar, y en el simulador no se pudo determinar un límite de frecuencia máxima en el cual el circuito ya no amplifica.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.cucei.udg.mx/~rgm29002/Practica%20No.4.html>

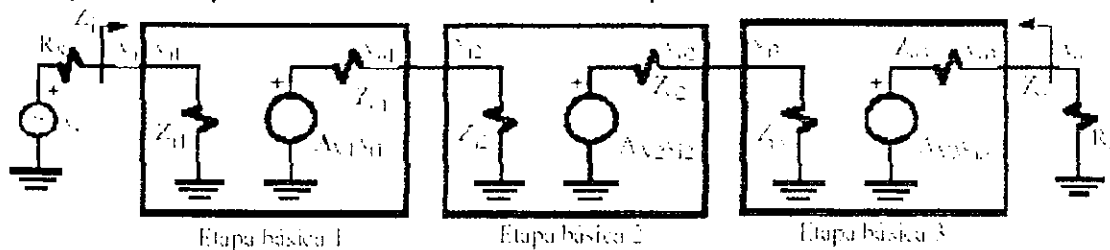
AMPLIFICADORES MULTI-ETAPA PRÁCTICA #8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir dos circuitos amplificadores transistorizados por separado, y determinar sus ganancias de voltaje.
- Construir un amplificador multi-etapa colocando en cascada los dos circuitos amplificadores elaborados por separado y determinar la ganancia de voltaje de la configuración.
- Comparar las ganancias de los circuitos amplificadores por separado y la ganancia del circuito amplificador multi-etapa.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un amplificador multi-etapa es un amplificador constituido por un conjunto de amplificadores básicos conectados en cascada. La técnica de análisis de este amplificador es sencilla ya que se reduce a analizar un conjunto de etapas básicas y, a partir de sus modelos equivalentes, obtener el modelo equivalente del amplificador completo. El acople entre las etapas básicas puede ser realizado de dos maneras: directamente o con acople DC a través de un condensador. El primero exige estudiar conjuntamente la polarización de cada una de las etapas lo que complica su análisis. Sin embargo, el amplificador multi-etapa carece de frecuencia de corte inferior. El acople a través de un condensador aísla en DC las etapas básicas a costa de introducir una frecuencia de corte inferior. Este último acople sólo es usado en aquellos amplificadores realizados con componentes discretos.



Un aspecto importante a tener en cuenta en amplificadores multi-etapa, si se desea un amplificador de altas prestaciones, es el impacto del acople de impedancias entre los amplificadores básicos. Como ejemplo, el amplificador multi-etapa de la figura anterior está constituido por: tres etapas básicas representadas a través de su modelo en voltaje, un circuito de entrada y una resistencia de carga. La impedancia de entrada del amplificador completo es $Z_i = Z_{i1}$, es decir, la impedancia de entrada de la primera etapa, y su impedancia

completo es $Z_i=Z_{i1}$, es decir, la impedancia de entrada de la primera etapa, y su impedancia de salida $Z_o=Z_{o3}$ es la impedancia de salida de la última etapa.

La expresión de la ganancia total del amplificador es: $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{o1}}{V_i} \cdot \frac{V_{o2}}{V_{o1}} \cdot \frac{V_o}{V_{o2}}$. Un buen

amplificador en voltaje debe tener, además de altos valores de AV_1 , AV_2 y AV_3 , un acople de impedancias adecuado para que las fracciones de la ecuación anterior no reduzcan la ganancia de voltaje a un valor muy bajo. Para ello, es condición necesaria que se verifique $Z_{i2} \gg Z_{o1}$, $Z_{i3} \gg Z_{o2}$ y $R_L \gg Z_{o3}$. Extrapolando esta condición se puede decir que un amplificador de voltaje ideal debe verificar que $AV \rightarrow \infty$, $Z_i \rightarrow \infty$ y $Z_o \rightarrow 0$.

DESCRIPCIÓN BREVE

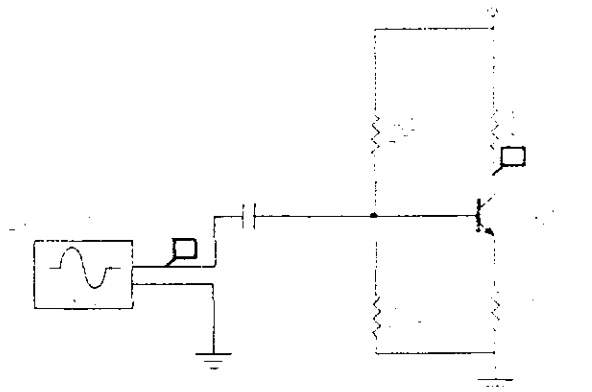
El alumno deberá construir dos circuitos amplificadores utilizando transistores BJT del tipo npn, y deberá determinar sus ganancias de voltaje por separado. Luego deberá construir un circuito amplificador multi-etapa, colocando en cascada los dos circuitos amplificadores independientes que construyó inicialmente. Luego deberá determinar la ganancia de voltaje del circuito multi-etapa, y con esta información la relación que existe entre la ganancia total de voltaje del circuito multi-etapa y las ganancias de voltaje de cada etapa por separado.

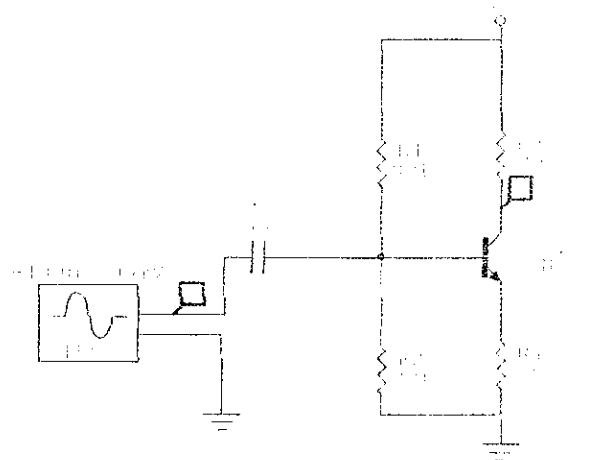
MATERIALES

- dos transistores npn modelo 2N2222 o equivalente
- dos capacitores de 10 μF y 1 capacitor de 1 μF
- resistencias de 82 $\text{k}\Omega$, 22 $\text{k}\Omega$, 820 Ω , 220 Ω , 8.2 $\text{k}\Omega$, 1 $\text{k}\Omega$ y 0.47 $\text{k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

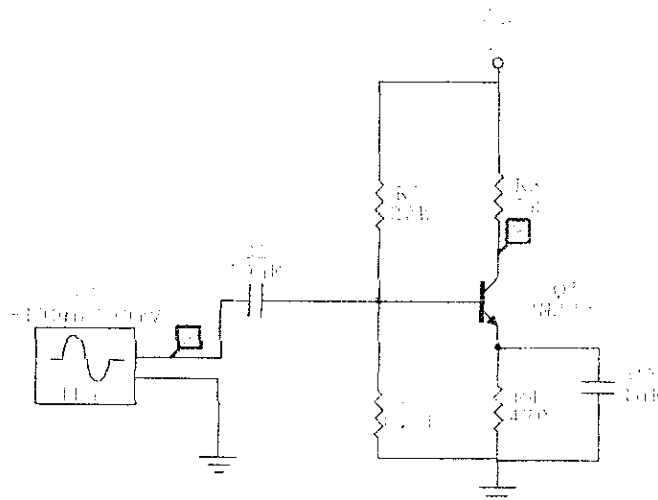
1. Construya en su protoboard el siguiente circuito y con ayuda del osciloscopio determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador. Tomando el voltaje de entrada en la salida del generador de funciones y el voltaje de salida en el colector, como se muestra en la figura.





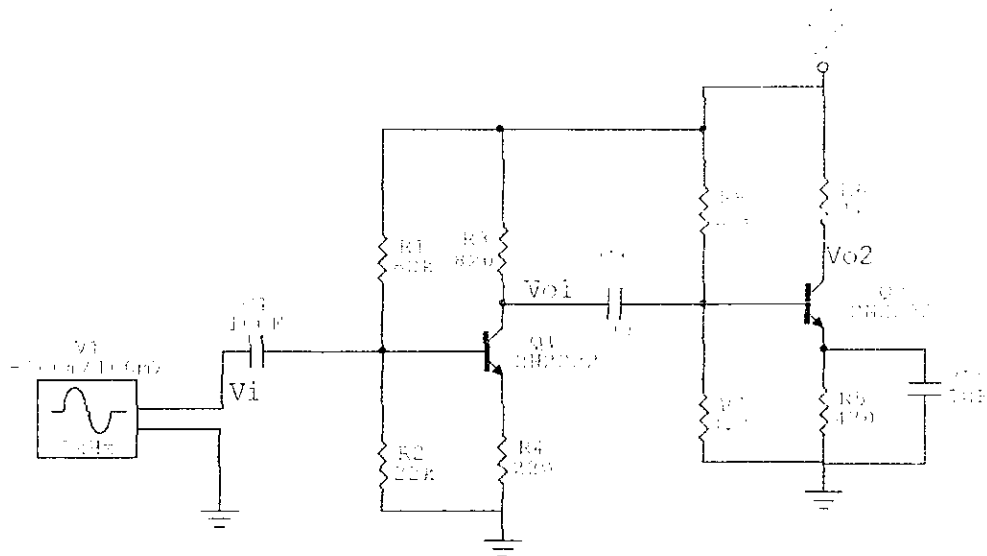
Observe la simulación #1 de esta práctica y reporte las diferencias con lo que observó experimentalmente.

2. Construya en su protoboard el siguiente circuito y con ayuda del osciloscopio determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador. Tomando el voltaje de entrada en la salida del generador de funciones y el voltaje de salida en el colector, como se muestra en la figura.



Observe la simulación #2 de esta práctica y reporte las diferencias con lo que observó experimentalmente.

3. A continuación se muestra un circuito amplificador que está diseñado poniendo en cascada los dos circuitos amplificadores vistos en los incisos anteriores. Después de haber observado la simulación #3 para esta práctica, construya en su protoboard el circuito que se muestra a continuación.



- Mida con el osciloscopio la señal V_i y V_{o1} . Con esos datos determine la ganancia A_1 y compárela con la obtenida en el inciso 1.
- Mida con el osciloscopio la señal V_{o2} . Con este dato y el dato de la señal V_{o1} determine la ganancia A_2 y compárela con la obtenida en el inciso 2.
- Con la medición de V_i y la de V_{o2} , determine con estos valores la ganancia total A del amplificador multi-etapa.
- Analice y reporte la relación que existe entre la ganancia total A y las ganancias de voltaje A_1 y A_2 de cada etapa del amplificador multietapa.
- Reporte el máximo valor que puede tener la señal de entrada V_i sin que exista distorsión en la salida V_{o2} . ¿Por qué ocurre la distorsión?
- ¿Qué función realizan los capacitores en los circuitos analizados en esta práctica?
- Mencione qué diferencias observó con lo visto en la simulación para este circuito.

REFERENCIAS

- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

AMPLIFICADORES MULTI-ETAPA

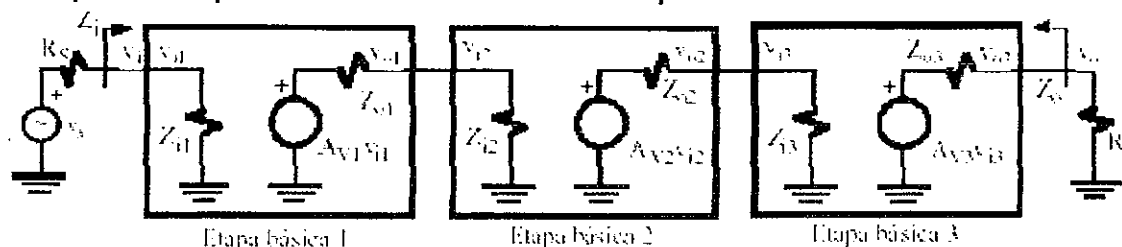
PRÁCTICA #8 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir dos circuitos amplificadores transistorizados por separado, y determinar sus ganancias de voltaje.
- Construir un amplificador multi-etapa colocando en cascada los dos circuitos amplificadores elaborados por separado y determinar la ganancia de voltaje de la configuración.
- Comparar entre las ganancias de los circuitos amplificadores por separado y la ganancia del circuito amplificador multi-etapa.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un amplificador multi-etapa es un amplificador constituido por un conjunto de amplificadores básicos conectados en cascada. La técnica de análisis de este amplificador es sencilla ya que se reduce básicamente a analizar un conjunto de etapas básicas y, a partir de sus modelos equivalentes, obtener el modelo equivalente del amplificador completo. El acople entre las etapas básicas puede ser realizado de dos maneras: directamente o con acople DC a través de un condensador. El primero exige estudiar conjuntamente la polarización de cada una de las etapas lo que complica su análisis. Sin embargo, el amplificador multi-etapa carece de frecuencia de corte inferior. El acople a través de un condensador aísla en DC las etapas básicas a costa de introducir una frecuencia de corte inferior. Este último acople sólo es usado en aquellos amplificadores realizados con componentes discretos.



Un aspecto importante a tener en cuenta en amplificadores multi-etapa, si se desea un amplificador de altas prestaciones, es el impacto del acople de impedancias entre los amplificadores básicos. Como ejemplo, el amplificador multi-etapa de la figura anterior está constituido por: tres etapas básicas representadas a través de su modelo en voltaje, un

circuito de entrada y una resistencia de carga. La impedancia de entrada del amplificador completo es $Z_i=Z_{i1}$, es decir, la impedancia de entrada de la primera etapa, y su impedancia de salida $Z_o=Z_{o3}$ es la impedancia de salida de la última etapa.

La expresión de la ganancia total del amplificador es: $A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_{o1} * V_{o2} * V_o}{V_i * V_{i2} * V_{i3}}$. Un buen

amplificador en voltaje debe tener, además de altos valores de AV_1 , AV_2 y AV_3 , un acople de impedancias adecuado para que las fracciones de la ecuación anterior no reduzcan la ganancia de voltaje a un valor muy bajo. Para ello, es condición necesaria que se verifique $Z_{i2} \gg Z_{o1}$, $Z_{i3} \gg Z_{o2}$ y $R_L \gg Z_{o3}$. Extrapolando esta condición se puede decir que un amplificador de voltaje ideal debe verificar que $AV \rightarrow \infty$, $Z_i \rightarrow \infty$ y $Z_o \rightarrow 0$.

DESCRIPCIÓN BREVE

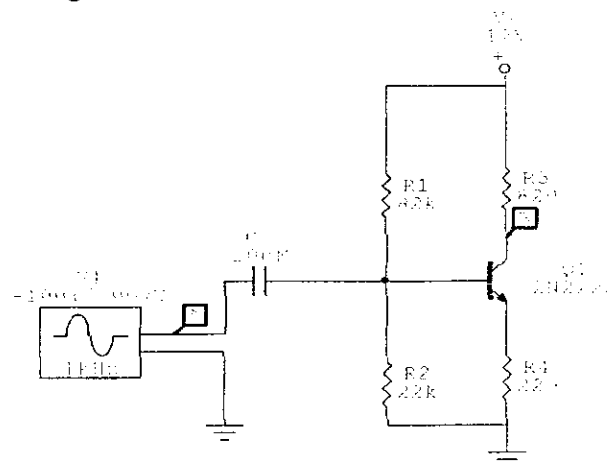
El alumno deberá construir dos circuitos amplificadores utilizando transistores BJT del tipo npn, y deberá determinar sus ganancias de voltaje por separado. Luego deberá construir un circuito amplificador multi-etapa, colocando en cascada los dos circuitos amplificadores independientes que construyó inicialmente. Luego deberá determinar la ganancia de voltaje del circuito multi-etapa, y con esta información la relación que existe entre la ganancia total de voltaje del circuito multi-etapa y las ganancias de voltaje de cada etapa por separado.

MATERIALES

- dos transistores npn modelo 2N2222 o equivalente
- dos capacitores de 10 μF y 1 capacitor de 1 μF
- resistencias de 82 k Ω , 22 k Ω , 820 Ω , 220 Ω , 8.2 k Ω , 1k Ω y 0.47 k Ω

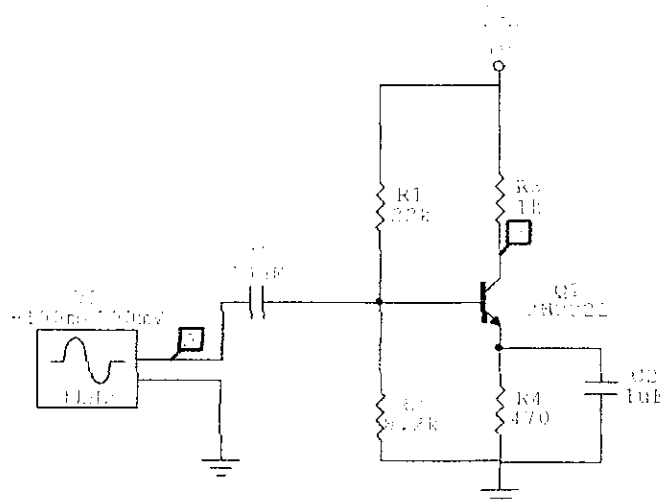
PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya en su protoboard el siguiente circuito y con ayuda del osciloscopio determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador. Tomando el voltaje de entrada en la salida del generador de funciones y el voltaje de salida en el colector, como se muestra en la figura.



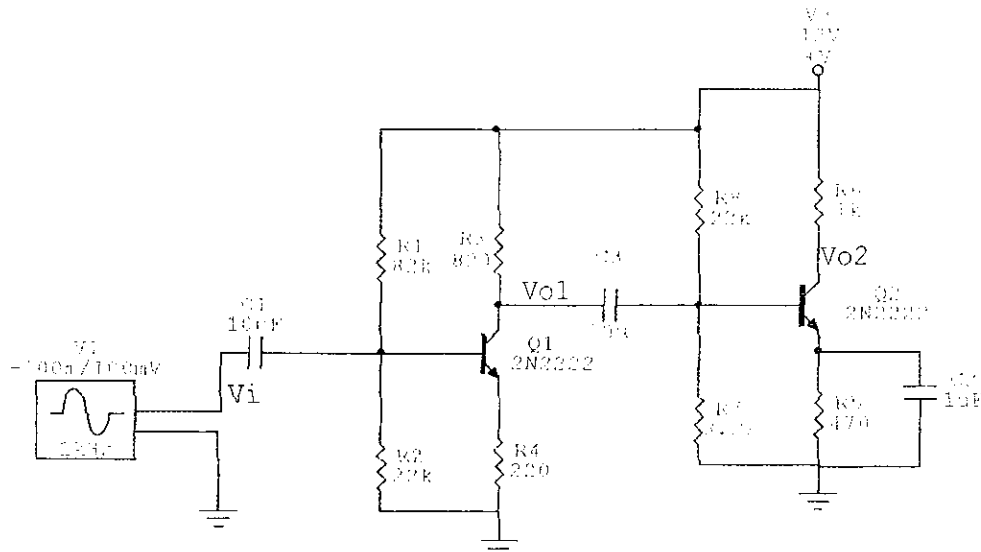
Observe la simulación #1 de esta práctica y reporte las diferencias con lo que observó experimentalmente.

- Construya en su protoboard el siguiente circuito y con ayuda del osciloscopio determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador. Tomando el voltaje de entrada en la salida del generador de funciones y el voltaje de salida en el colector, como se muestra en la figura.



Observe la simulación #2 de esta práctica y reporte las diferencias con lo que observó experimentalmente.

- A continuación se muestra un circuito amplificador que está diseñado poniendo en cascada los dos circuitos amplificadores vistos en los incisos anteriores. Después de haber observado la simulación #3 para esta práctica, construya en su protoboard el circuito que se muestra a continuación.

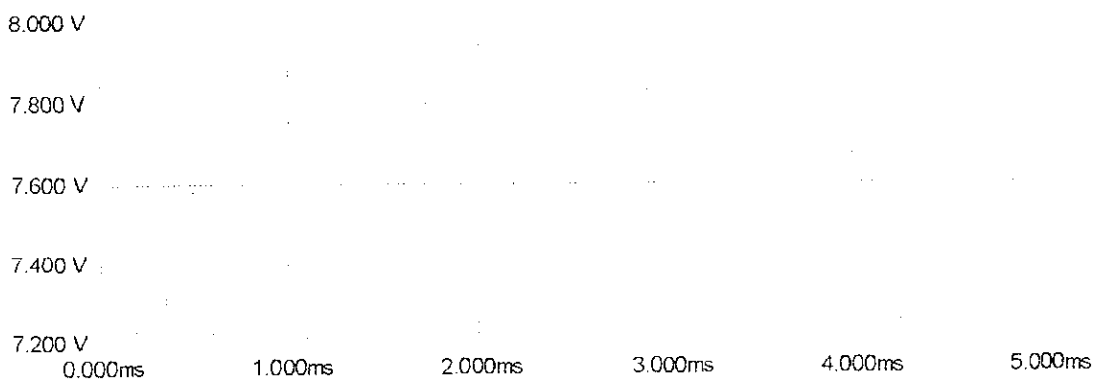
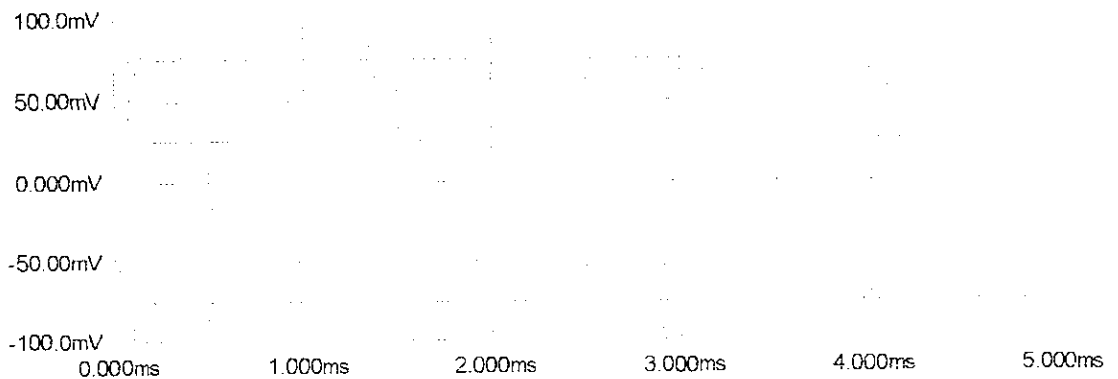


- Mida con el osciloscopio la señal V_i y V_{o1} . Con esos datos determine la ganancia A_1 y compárela con la obtenida en el inciso 1.
- Mida con el osciloscopio la señal V_{o2} . Con este dato y el dato de la señal V_{o1} determine la ganancia A_2 y compárela con la obtenida en el inciso 2.

- c) Con la medición de V_i y la de V_{o2} , determine con estos valores la ganancia total A del amplificador multi-etapa.
- d) Analice y reporte la relación que existe entre la ganancia total A y las ganancias de voltaje A_1 y A_2 de cada etapa del amplificador multietapa.
- e) Reporte el máximo valor que puede tener la señal de entrada V_i sin que exista distorsión en la salida V_{o2} . ¿Por qué ocurre la distorsión?
- f) ¿Qué función realizan los capacitores en los circuitos analizados en esta práctica?
- g) Mencione que diferencias observó con lo visto en la simulación para este circuito.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

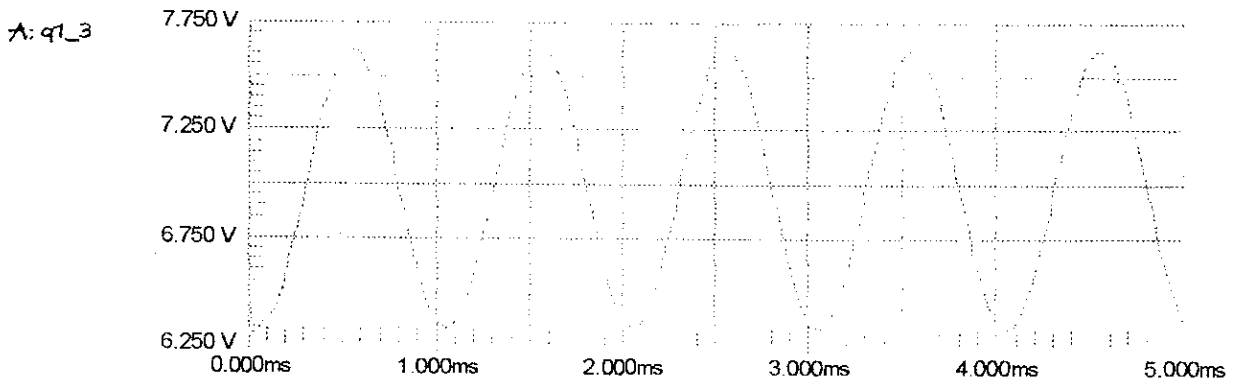
1. A continuación se muestran las formas de onda para las tomas de voltaje en el punto A y en el punto B del circuito, respectivamente.



Según las mediciones realizadas en el simulador con las dos anteriores formas de onda, la amplitud en la entrada del circuito es de 100 mV y la amplitud en la salida del circuito es de 361.53 mV. Por lo tanto la ganancia del circuito amplificador es de 3.62 V/V. Hay que notar que la forma de onda en la salida (punto B) está montada sobre 7.60 V, esto es debido a que el voltaje DC del colector es igual a ese valor y como se observó en anteriores prácticas, la señal AC se monta sobre la señal DC en el colector. Si el alumno utilizó en la construcción física de su experimentó otro transistor

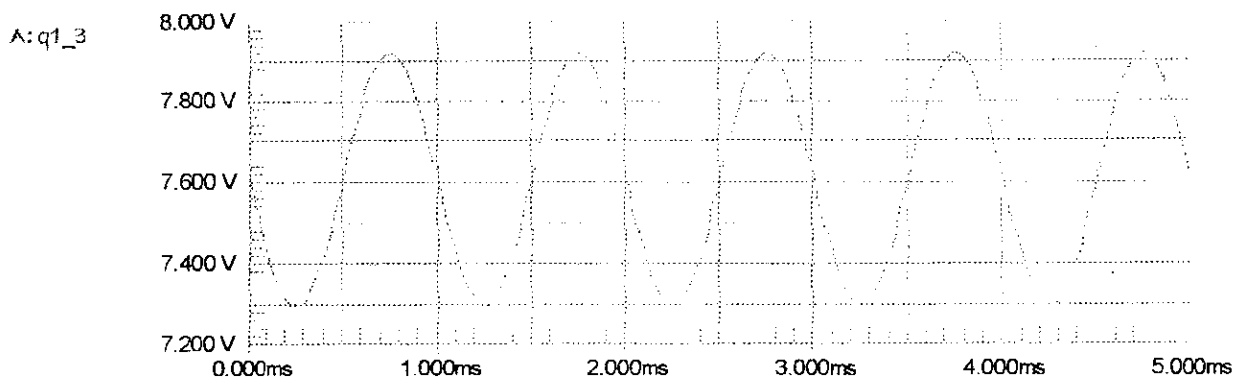
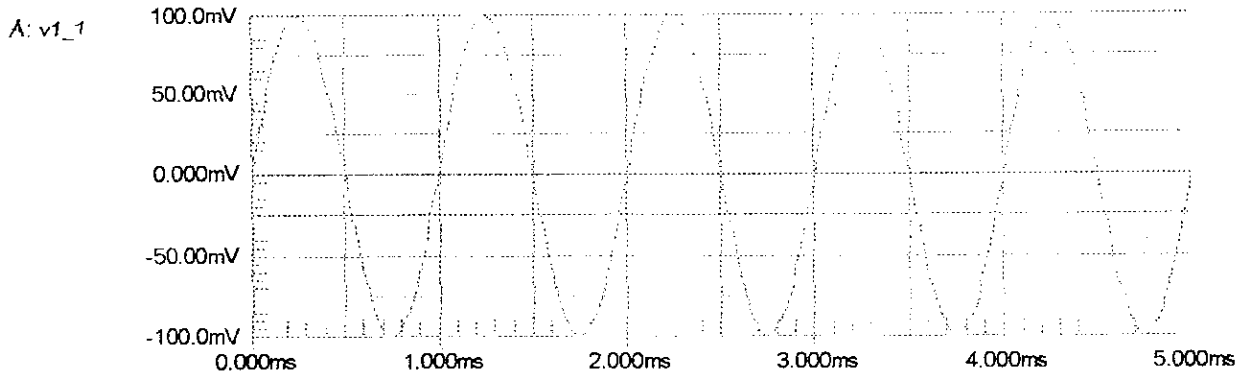
diferente al indicado en la guía, deberá reportar diferencias con la simulación, de lo contrario no deberían existir diferencias con la simulación ya que en ésta se utilizó el mismo modelo de transistor indicado en la guía.

2. A continuación se muestran las formas de onda para las tomas de voltaje en el punto A y en el punto B del circuito, respectivamente.



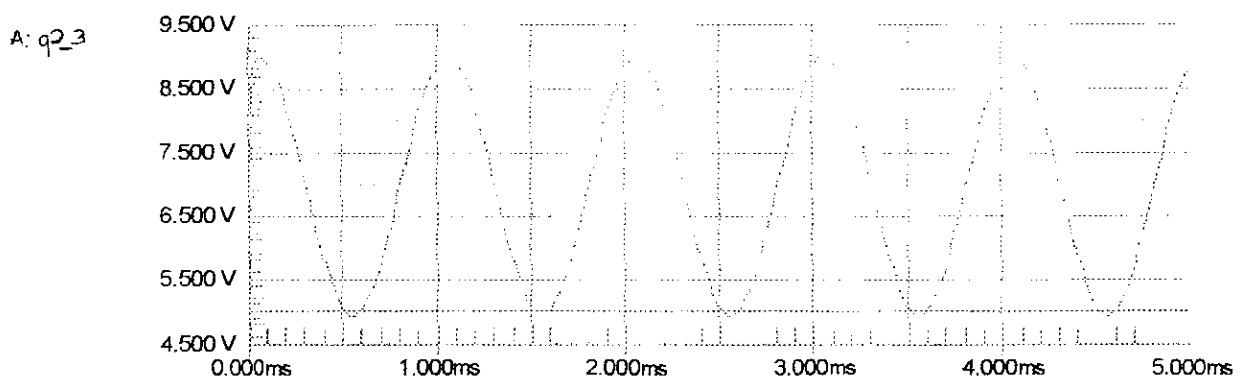
Según las mediciones realizadas en el simulador con las dos anteriores formas de onda, la amplitud en la entrada del circuito es de 100 mV y la amplitud en la salida del circuito es de 650.02 mV. Por lo tanto la ganancia del circuito amplificador es de 6.5V/V. El capacitor conectado entre emisor y tierra es un capacitor llamado de derivación o de bypass. Este capacitor es lo suficientemente grande de modo que su reactancia es tan pequeña que funciona como un corto-circuito para las frecuencias de interés. Entonces el capacitor funciona como un corto para la señal AC y como un abierto para la señal DC. De este modo la señal AC circula a tierra por el emisor y la señal DC circula por la resistencia de 470 Ω en el emisor. Si el alumno utilizó en la construcción física de su experimento otro transistor diferente al indicado en la guía, deberá reportar diferencias con la simulación, de lo contrario no deberían existir diferencias con la simulación ya que en ésta se utilizó el mismo modelo de transistor indicado en la guía.

3. a) A continuación se muestran las formas de onda para las tomas de voltaje en el punto Vi y en el punto Vo1 del circuito, respectivamente.



La ganancia de voltaje A1 según las mediciones hechas con el simulador, es de 3.14 V/V. La ganancia disminuyó con respecto a la obtenida en el inciso 1. Esto se puede deber a que el acoplamiento realizado por el capacitor de 1 μF , no es todavía el adecuado, podría solucionarse el problema colocando un capacitor más grande.

b) A continuación se muestra la forma de onda para la toma de voltaje en el punto Vo2.

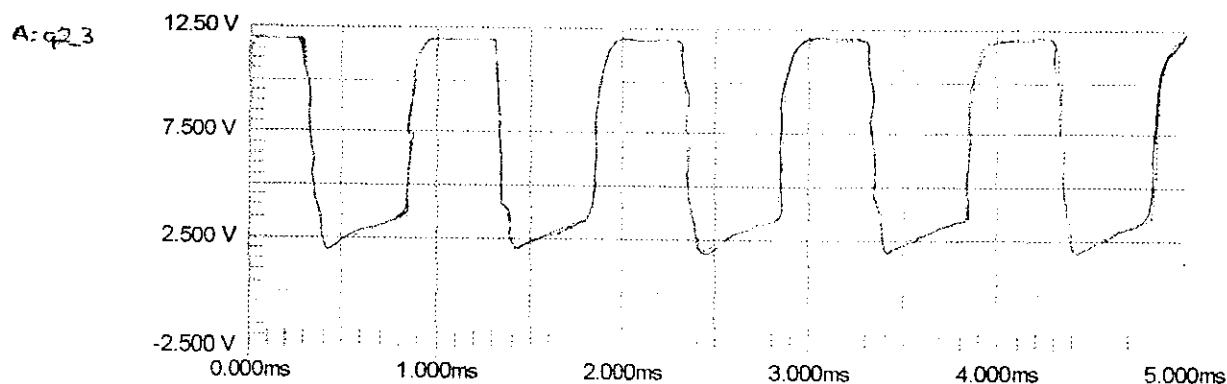


La ganancia de voltaje A2 según las mediciones hechas con el simulador, es de 6.46 V/V. Comparando con la medición en el inciso 2, se observa que la ganancia se redujo muy poco al cascadear los circuitos amplificadores. Esto significa que el acople de los circuitos funciona de manera aceptable.

c) Según las mediciones hechas con el simulador la ganancia total del amplificador completo A, es de 20.3 V/V.

d) Tomando en cuenta las ganancias A1 y A2 medidas en los incisos a y b, se obtiene que la relación entre la ganancia A y las ganancias A1 y A2 es $A=A1 \cdot A2$ como indica la teoría.

e) A continuación se muestra la forma de onda en la salida del circuito amplificador para una entrada de 400 mV.



Aquí se observan ya la inclusión de ciertas armónicas en la señal, así como de la pérdida absoluta de la forma de onda sinusoidal de la señal de entrada original. Esto se debe a que el diseño de los amplificadores está basado en la teoría de amplificadores de voltaje para pequeñas señales. El problema se podría solucionar disminuyendo el capacitor de derivación o bypass a cambio de una pérdida en la ganancia.

f) Los capacitores 1 y 3 del circuito realizan la función de acople, como se indica en los antecedentes teóricos de la práctica. Estos capacitores tienen como propósito acoplar la señal AC en los circuitos y bloquear la señal DC. En esta forma la polarización de los circuitos amplificadores con la fuente de voltaje DC no se verá alterada cuando se conecte la señal AC. Estos capacitores actúan como un cortocircuito perfecto para las frecuencias de interés en la señal AC, y como un abierto para la señal DC. El capacitor 2 funciona como un capacitor de derivación o de bypass, y su función como se indico anteriormente en el inciso 2, consiste en proporcionar a la señal AC una tierra en el emisor y que la señal DC circule por una resistencia antes de conectarse a tierra en el emisor.

g) Si el alumno utilizó en la construcción física de su experimentó otro transistor diferente al indicado en la guía, deberá reportar diferencias con la simulación, de lo contrario no deberían existir diferencias con la simulación ya que en ésta se utilizó el mismo modelo de transistor indicado en la guía.

REFERENCIAS

- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

AMPLIFICADORES DE POTENCIA PRÁCTICA #9

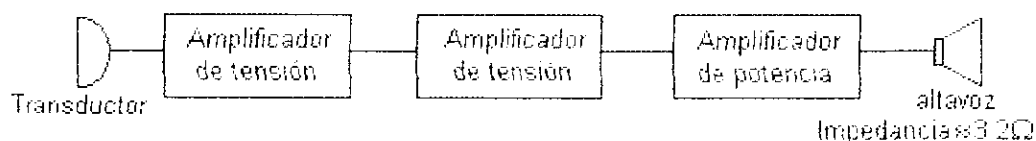
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito amplificador push-pull utilizando transistores de potencia darlington.
- Construir un circuito de amplificación de audio utilizando transistores de potencia, y verificar el funcionamiento del mismo utilizando el generador de funciones y observando en el osciloscopio las señales de salida, y luego utilizando una entrada de audio y una bocina de 8Ω .

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un amplificador típico consta de varias etapas de amplificación. La mayoría de estas etapas son para señales pequeñas y con dispositivos de baja potencia. Generalmente no se toma en cuenta la eficiencia de dichas etapas, además la distorsión es despreciable. En contraposición, la etapa final de un amplificador (y en algunos casos, una etapa excitadora adicional) debe suministrar a la carga, una considerable potencia de señal. La carga puede ser: bocinas, antenas, dispositivos de posición, etc. A estos amplificadores se les denomina amplificadores de potencia.

La representación en bloques de un amplificador de audio es la que se muestra en la figura siguiente:



En la figura anterior el transductor produce una señal muy débil del orden de mV, las dos primeras etapas amplifican esta audio señal, la última etapa es una etapa de gran señal, de algunos voltios a decenas de voltios, debe producir suficiente corriente para manejar la baja impedancia del altavoz. El amplificador de potencia debe operar en forma eficiente y debe ser capaz de manejar grandes cantidades de potencia ya que deben trabajar con voltajes y corrientes de gran amplitud. Los factores del amplificador de potencia que mayor interés presentan son:

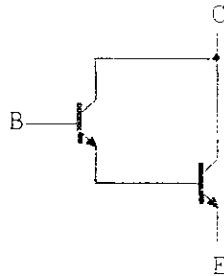
- Eficiencia en potencia del circuito (rendimiento).
- Máxima cantidad de potencia que el circuito es capaz de manejar.
- Acoplamiento de impedancia en relación con el dispositivo de salida.

Con respecto al rendimiento debe ser lo mayor posible para que el amplificador entregue una señal de la máxima potencia posible a cambio de la potencia que toma de la fuente de alimentación en forma de corriente continua.

El rendimiento esta dado por:

$$\eta\% = \frac{\text{Potencia de la señal entregada a la carga (a.c)}}{\text{Potencia suministrada por la fuente (d.c)}} * 100\%$$

El rendimiento indica cuánta potencia extraída de la fuente alcanza la carga como una señal AC, indica también la cantidad que no alcanza la carga y que debe disiparse en forma de calor por el transistor. El rendimiento depende del punto de operación establecido. En la siguiente figura se muestra el par Darlington.



Dicho par es una configuración compuesta de dos transistores en cascada. Esta combinación de transistores posee algunas características deseables que la hacen más útil que un solo transistor en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, el circuito tiene alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y alta ganancia de corriente. Una desventaja del par Darlington es que la corriente de fuga del primer transistor es amplificada por el segundo. Si los dos transistores se conectan de la manera mostrada en la figura anterior, los betas de los dos transistores se multiplican, formando una combinación que parece un solo transistor de β alta. El par Darlington se puede utilizar en configuraciones emisor común o colector común. Aunque normalmente se considera que éste es un amplificador de ganancia de voltaje, dicho amplificador puede proporcionar altas ganancias de corriente debido a su resistencia de entrada extremadamente grande. Varias configuraciones de amplificadores con la resistencia de emisor en cortocircuito tienen excelentes ganancias de voltaje, pero baja resistencia de entrada, lo que redundaría en una baja ganancia de corriente. Sin embargo, este amplificador proporciona no sólo buena ganancia de voltaje, sino también excelente ganancia de corriente.

Algunos fabricantes empaquetan el par Darlington en un solo paquete con tres terminales externas únicamente. Los pares Darlington empacados en un circuito integrado están disponibles con betas de hasta 30 000.

PRE-LABORATORIO

1. La potencia de salida de un amplificador de potencia es de 8 watts. La fuente de alimentación genera 16 V y el amplificador consume 1 A. Determine cual es el rendimiento del amplificador.
2. Lea las hojas de datos para los transistores ECG 261 y ECG 262. Determine en cada una su ganancia de corriente β (también conocida como hfe). Determine también el voltaje V_{BE} típico para cada transistor. ¿Por qué el valor de V_{BE} ya no es de 0.7 V, como típicamente se había utilizado para el análisis de transistores?

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir un circuito de amplificación push-pull, utilizando transistores darlington, para observar cómo esa configuración de amplificador elimina los problemas de distorsión en los amplificadores de potencia. Luego deberá construir un circuito que funciona como un amplificador de audio, utilizando el circuito de amplificación push-pull visto en la práctica, y demostrar que se puede obtener una señal de audio bien amplificada y sin distorsión con el circuito. Esta práctica fue diseñada para completarse en dos semanas.

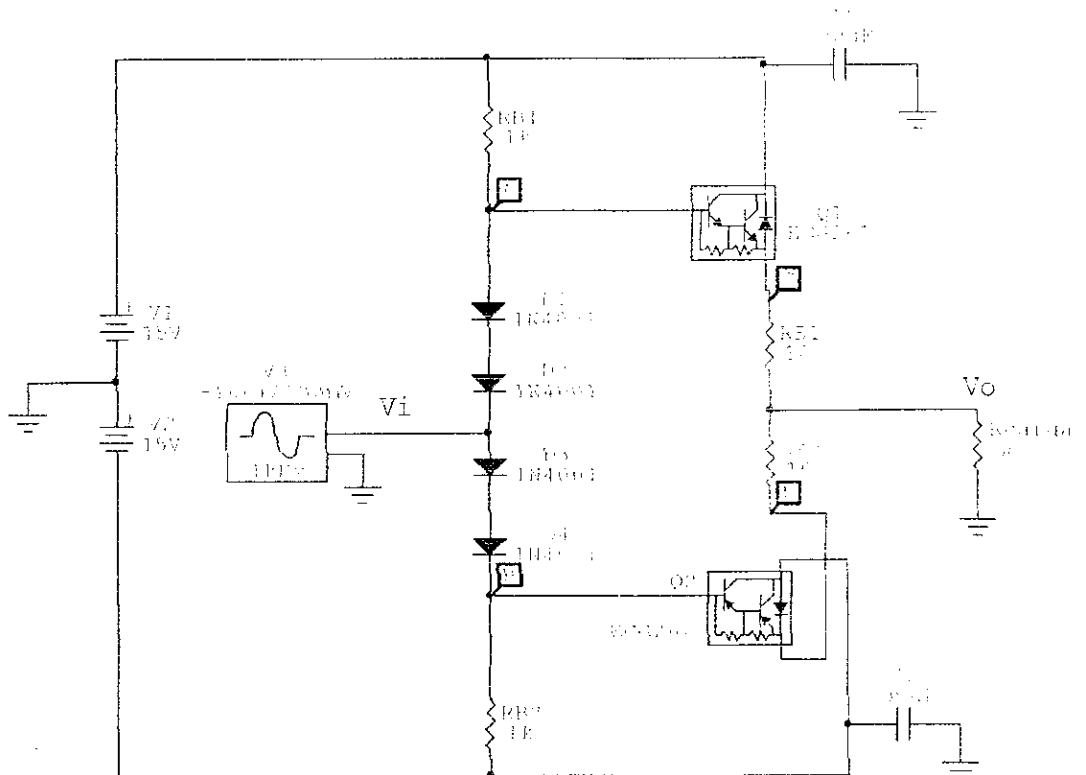
MATERIALES

- cuatro diodos 1N4001
- un transistor darlington NPN ECG 261 o equivalente
- un transistor darlington PNP ECG 262 o equivalente
- resistencias de 1 k Ω , 2 k Ω , 10 k Ω y variadas en valores pequeños menores de 100 Ω
- cuatro capacitores de 100 μ F
- dos capacitores de 0.1 μ F
- un opamp
- un generador de audio como un cd player o un micrófono sin amplificación (como los que utilizan los telefonos)
- una bocina de 8 Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

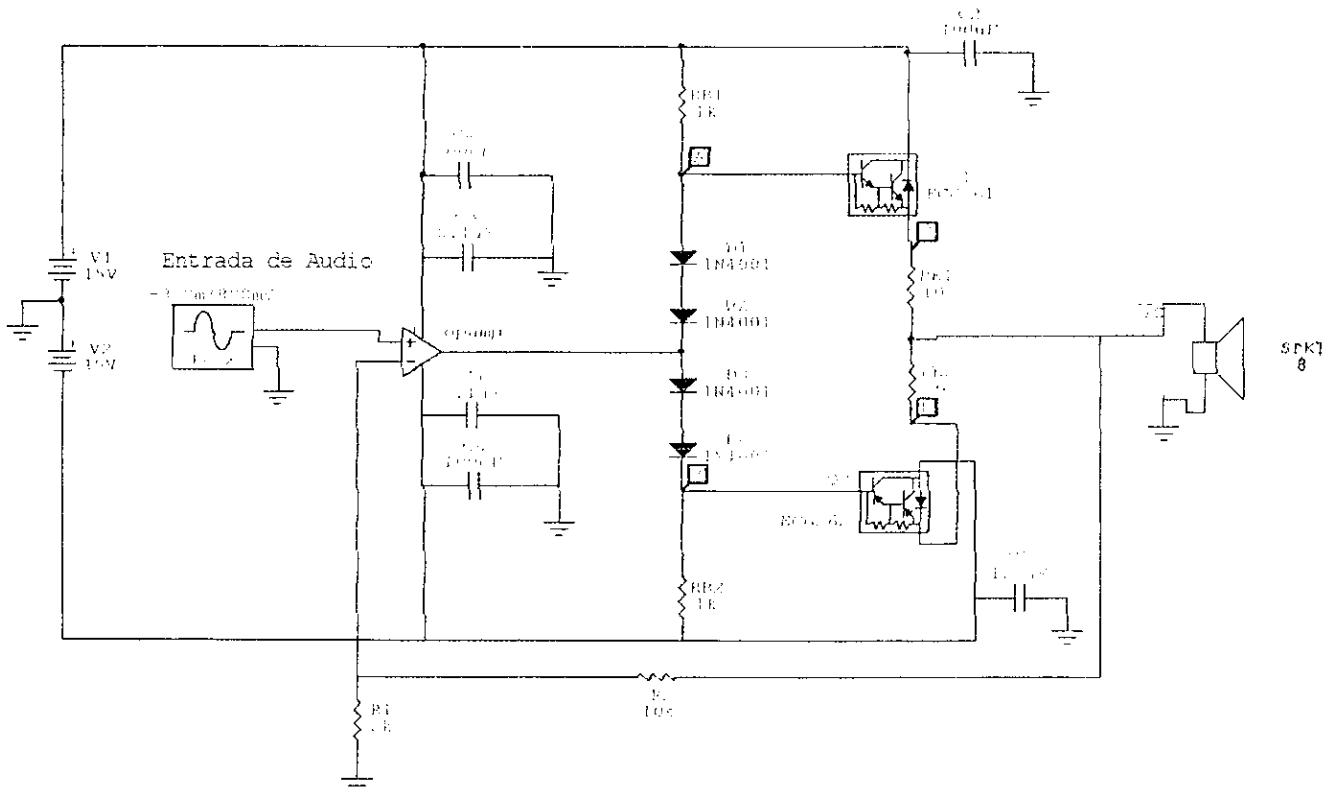
1. Uno de los mayores problemas que presentan los amplificadores de potencia es el efecto de distorsión. Esto significa que la señal de salida ya no es sólo una versión amplificada de la señal de entrada, sino que de alguna forma es distorsionada o cambiada con respecto a la entrada. La baja calidad de la música que proviene de un radio o sistema de alta fidelidad con música o voz que no suenan igual que lo grabado o transmitido originalmente es el resultado de la distorsión. La distorsión puede ocurrir debido a que las características del dispositivo no son lineales. A continuación se muestra un circuito amplificador push-pull. La distorsión que produce una configuración de push-pull es muy baja, porque las distorsiones armónicas pares se cancelan debido al arreglo balanceado.

Construya el siguiente circuito amplificador con configuración push-pull en su protoboard:



- Sin haber conectado la resistencia de carga mida la corriente que proporciona la fuente DC, y determine si permanece estable. Si la corriente permanece estable continúe con el siguiente inciso, si este no es el caso y la corriente se incrementa lentamente tendrá que hacer las resistencias de emisor más grandes.
 - Ahora mida los valores de voltaje DC en los nodos A, B, C y D del circuito y compárelos con los medidos en la simulación #1 de ésta práctica.
 - Si los voltajes medidos en el circuito coinciden con los obtenidos en la simulación, ahora se puede probar el circuito con una señal AC. Aún no conecte la carga. Coloque el generador de funciones a una frecuencia de 1kHz y observe la señal de salida con el generador de funciones a 1 V, 5 V, 10 V y 15 V. Verifique que la señal de salida sigue a la señal de entrada.
 - Si fue capaz de obtener señales sin distorsión a 15 V, sin tener conectada la carga, ahora puede conectar la resistencia de carga de $8\ \Omega$ al circuito. Coloque el generador de funciones en un voltaje pequeño y vaya incrementando poco a poco. Verifique que en la salida del amplificador se obtiene una señal no distorsionada asegurando que el amplificador sigue funcionando correctamente. Si la señal de salida se corta o desvanece deberá reducir la resistencia de los emisores. Determine el máximo voltaje de entrada que se puede aplicar sin obtener distorsión. Debe tener cuidado porque los transistores podrían calentarse.
 - Determine el rendimiento del amplificador.
2. El circuito que se presenta a continuación es un circuito amplificador de audio. Construya este circuito en su protoboard. Note que en este circuito utilizamos el

amplificador push-pull del inciso 1. Además, en este circuito se utiliza un amplificador operacional, que aunque no es un dispositivo que se trata en los temas de Electrónica 1, en este caso funciona como un amplificador de la señal de entrada necesario para que el circuito funcione.



- Mida los valores de voltaje DC en los nodos A, B, C y D del circuito y compárelos con los medidos en la simulación #2 de ésta práctica.
- Si los valores de voltaje coinciden, el circuito se debe probar con una señal AC generada por el generador de funciones que simulará la entrada de audio con una amplitud de 800 mV y una frecuencia de 1 kHz, y una resistencia de carga de 8 Ω que simulará la bocina. Verifique que el amplificador genere una señal de salida sin distorsión y con una amplitud suficiente para hacer sonar a la bocina.
- Posteriormente reemplace el generador de funciones con la entrada de audio proporcionada por la salida de un cd player o de un micrófono sin amplificación (como los utilizados en los teléfonos) y reemplace la resistencia de carga con una bocina de 8 Ω . Escuche la señal de audio.

REFERENCIAS

- Alley, Charles; K. Atwood. 1984. *Ingeniería Electrónica*. 3ª ed. Madrid, Limusa. 566 págs.
- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- <http://www.angelfire.com/al3/VGhp>

AMPLIFICADORES DE POTENCIA
PRÁCTICA #9
GUÍA PARA EL AUXILIAR

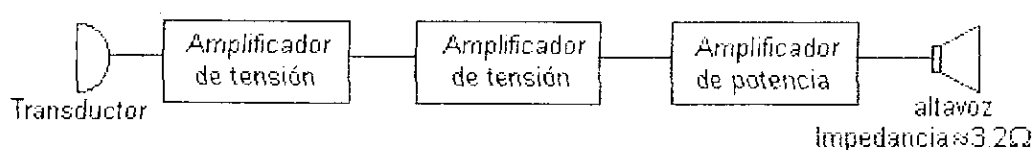
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito amplificador push-pull utilizando transistores de potencia darlington.
- Construir un circuito de amplificación de audio utilizando transistores de potencia, y verificar el funcionamiento del mismo utilizando el generador de funciones y observando en el osciloscopio las señales de salida, y luego utilizando una entrada de audio y una bocina de 8Ω .

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un amplificador típico consta de varias etapas de amplificación. La mayoría de estas etapas son para señales pequeñas y con dispositivos de baja potencia. Generalmente no se toma en cuenta la eficiencia de dichas etapas, además la distorsión es despreciable. En contraposición, la etapa final de un amplificador (y en algunos casos, una etapa excitadora adicional) debe suministrar a la carga, una considerable potencia de señal. La carga puede ser: bocinas, antenas, dispositivos de posición, etc. A estos amplificadores se les denomina amplificadores de potencia.

La representación en bloques de un amplificador de audio es la que se muestra en la figura siguiente:



En la figura anterior el transductor produce una señal muy débil del orden de mV, las dos primeras etapas amplifican esta audio señal, la última etapa es una etapa de gran señal, de algunos voltios a decenas de voltios, debe producir suficiente corriente para manejar la baja impedancia del altavoz. El amplificador de potencia debe operar en forma eficiente y debe ser capaz de manejar grandes cantidades de potencia ya que deben trabajar con voltajes y corrientes de gran amplitud. Los factores del amplificador de potencia que mayor interés presentan son:

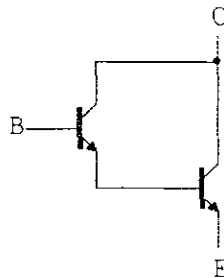
- Eficiencia en potencia del circuito (rendimiento).
- Máxima cantidad de potencia que el circuito es capaz de manejar.
- Acoplamiento de impedancia en relación con el dispositivo de salida.

Con respecto al rendimiento debe ser lo mayor posible para que el amplificador entregue una señal de la máxima potencia posible a cambio de la potencia que toma de la fuente de alimentación en forma de corriente continua.

El rendimiento esta dado por:

$$\eta\% = \frac{\text{Potencia de la señal entregada a la carga (a.c)}}{\text{Potencia suministrada por la fuente (d.c)}} * 100\%$$

El rendimiento indica cuanta potencia extraída de la fuente alcanza la carga como una señal AC, indica también la cantidad que no alcanza la carga y que debe disiparse en forma de calor por el transistor. El rendimiento depende del punto de operación establecido. En la siguiente figura se muestra el par Darlington.



Dicho par es una configuración compuesta de dos transistores en cascada. Esta combinación de transistores posee algunas características deseables que la hacen más útil que un solo transistor en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, el circuito tiene alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida y alta ganancia de corriente. Una desventaja del par Darlington es que la corriente de fuga del primer transistor es amplificada por el segundo. Si los dos transistores se conectan de la manera mostrada en la figura anterior, los betas de los dos transistores se *multiplican*, formando una combinación que parece un solo transistor de β alta. El par Darlington se puede utilizar en configuraciones emisor común o colector común. Aunque normalmente se considera que éste es un amplificador de ganancia de voltaje, dicho amplificador puede proporcionar altas ganancias de corriente debido a su resistencia de entrada extremadamente grande. Varias configuraciones de amplificadores con la resistencia de emisor en cortocircuito tienen excelentes ganancias de voltaje, pero baja resistencia de entrada, lo que redundo en una baja ganancia de corriente. Sin embargo, este amplificador proporciona no sólo buena ganancia de voltaje, sino también excelente ganancia de corriente.

Algunos fabricantes empaquetan el par Darlington en un solo paquete con tres terminales externas únicamente. Los pares Darlington empaquetados en un circuito integrado están disponibles con betas de hasta 30 000.

PRE-LABORATORIO

1. La potencia de salida de un amplificador de potencia es de 8 watts. La fuente de alimentación genera 16 V y el amplificador consume 1 A. Determine cual es el rendimiento del amplificador.
2. Lea las hojas de datos para los transistores ECG 261 y ECG 262. Determine en cada una su ganancia de corriente β (también conocida como h_{fe}). Determine también el voltaje V_{BE} típico para cada transistor. ¿Por qué el valor de V_{BE} ya no es de 0.7 V, como típicamente se había utilizado para el análisis de transistores?

RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. La potencia DC consumida en el amplificador es $P=VI=16\text{ V}\cdot 1\text{ A}=16\text{ W}$. Por lo tanto según la ecuación mostrada en los antecedentes teóricos se obtiene que:

$$\eta\% = \frac{8W}{16W} * 100\% = 50\%$$
 Este rendimiento indica que el 50% de la potencia DC de entrada alcanza la salida en forma de potencia AC en la carga.
2. La ganancia de corriente β , es típicamente 2500 para una corriente $I_C= 4\text{ A}$. El voltaje V_{BE} es de 5 V máximo para los dos transistores. El valor de V_{BE} ya no es de 0.7 V, debido a que la caída de voltaje es mayor ya que dentro de la configuración darlington se encuentran dos transistores, por lo tanto la caída de voltaje es equivalente a la dos transistores conectados en cascada.

DESCRIPCIÓN BREVE

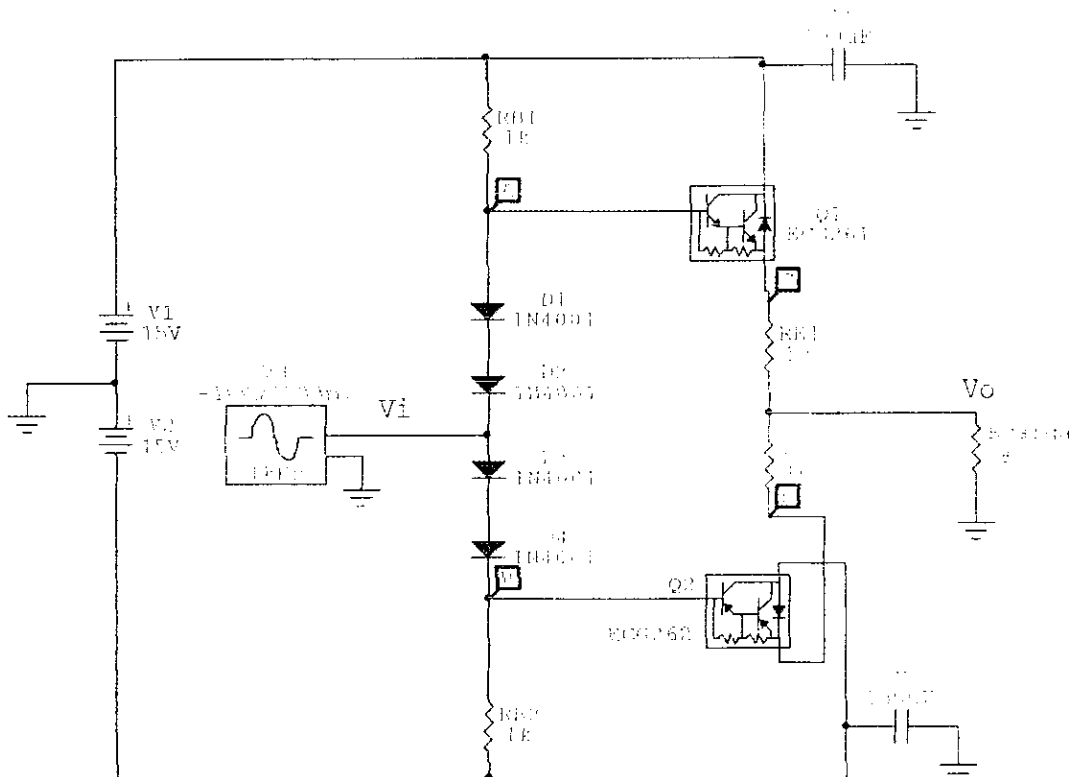
El alumno deberá construir un circuito de amplificación push-pull, utilizando transistores darlington, para observar cómo esa configuración de amplificador elimina los problemas de distorsión en los amplificadores de potencia. Luego deberá construir un circuito que funciona como un amplificador de audio, utilizando el circuito de amplificación push-pull visto en la práctica, y demostrar que se puede obtener una señal de audio bien amplificada y sin distorsión con el circuito. Esta práctica fue diseñada para completarse en dos semanas.

MATERIALES

- cuatro diodos 1N4001
- un transistor darlington NPN ECG 261 o equivalente
- un transistor darlington PNP ECG 262 o equivalente
- resistencias de 1 k Ω , 2 k Ω , 10 k Ω y variadas en valores pequeños menores de 100 Ω
- cuatro capacitores de 100 μF
- dos capacitores de 0.1 μF
- un opamp
- un generador de audio como un cd player o un micrófono sin amplificación (como los que utilizan los telefonos)
- una bocina de 8 Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Uno de los mayores problemas que presentan los amplificadores de potencia es el efecto de distorsión. Esto significa que la señal de salida ya no es sólo una versión amplificada de la señal de entrada, sino que de alguna forma es distorsionada o cambiada con respecto a la entrada. La baja calidad de la música que proviene de un radio o sistema de alta fidelidad con música o voz que no suenan igual que lo grabado o transmitido originalmente es el resultado de la distorsión. La distorsión puede ocurrir debido a que las características del dispositivo no son lineales. A continuación se muestra un circuito amplificador push-pull. La distorsión que produce una configuración de push-pull es muy baja, porque las distorsiones armónicas pares se cancelan debido al arreglo balanceado. Construya el siguiente circuito amplificador con configuración push-pull en su protoboard:



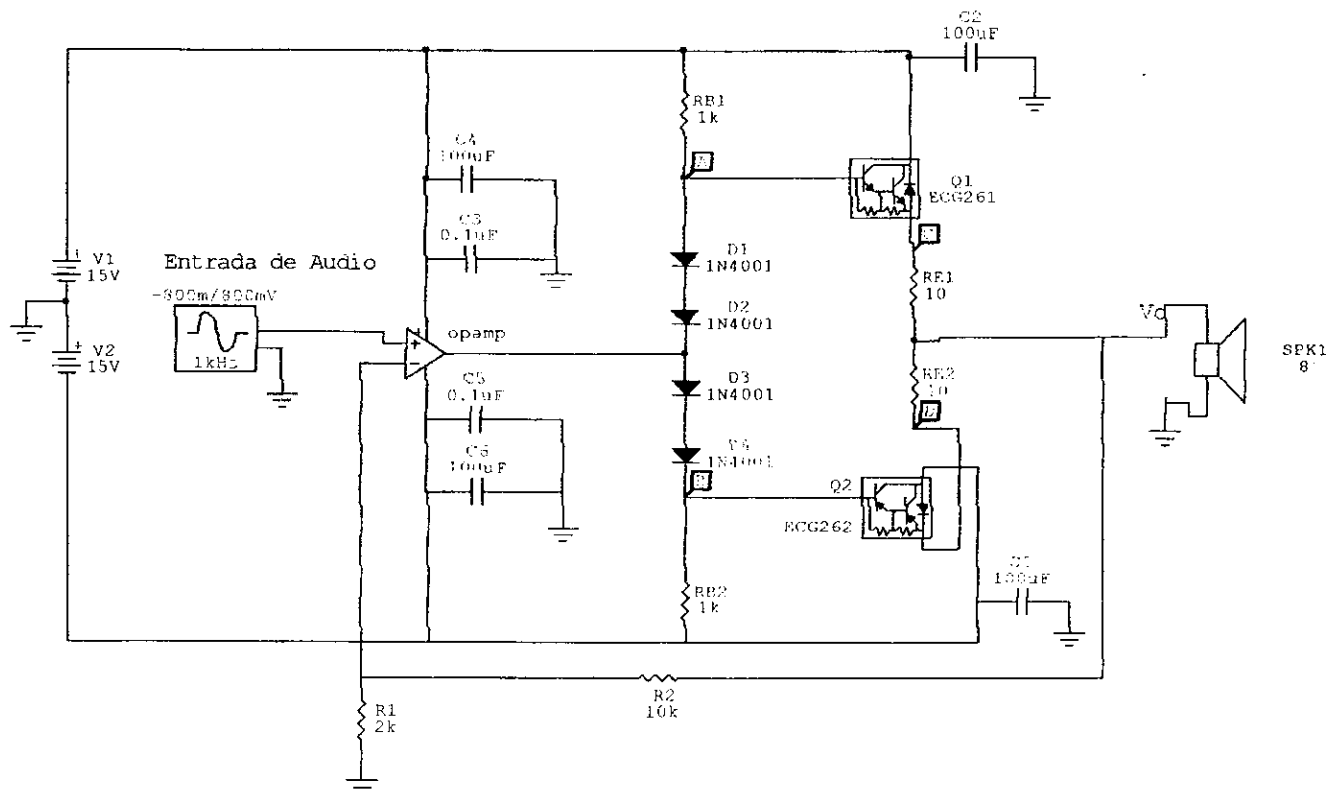
- Sin haber conectado la resistencia de carga mida la corriente que proporciona la fuente DC, y determine si permanece estable. Si la corriente permanece estable continúe con el siguiente inciso, si este no es el caso y la corriente se incrementa lentamente tendrá que hacer las resistencias de emisor más grandes.
- Ahora mida los valores de voltaje DC en los nodos A, B, C y D del circuito y compárelos con los medidos en la simulación #1 de ésta práctica.
- Si los voltajes medidos en el circuito coinciden con los obtenidos en la simulación, ahora se puede probar el circuito con una señal AC. Aún no conecte la carga. Coloque el generador de funciones a una frecuencia de 1kHz y observe la señal de

salida con el generador de funciones a 1 V, 5 V, 10 V y 15 V. Verifique que la señal de salida sigue a la señal de entrada.

- d) Si fue capaz de obtener señales sin distorsión a 15 V, sin tener conectada la carga, ahora puede conectar la resistencia de carga de $8\ \Omega$ al circuito. Coloque el generador de funciones en un voltaje pequeño y vaya incrementando poco a poco. Verifique que en la salida del amplificador se obtiene una señal no distorsionada asegurando que el amplificador sigue funcionando correctamente. Si la señal de salida se corta o desvanece deberá reducir la resistencia de los emisores. Determine el máximo voltaje de entrada que se puede aplicar sin obtener distorsión. Debe tener cuidado porque los transistores podrían calentarse.

e) Determine el rendimiento del amplificador.

2. El circuito que se presenta a continuación es un circuito amplificador de audio. Construya este circuito en su protoboard. Note que en este circuito utilizamos el amplificador push-pull del inciso 1. Además, en este circuito se utiliza un amplificador operacional, que aunque no es un dispositivo que se trata en los temas de Electrónica 1, en este caso funciona como un amplificador de la señal de entrada necesario para que el circuito funcione.



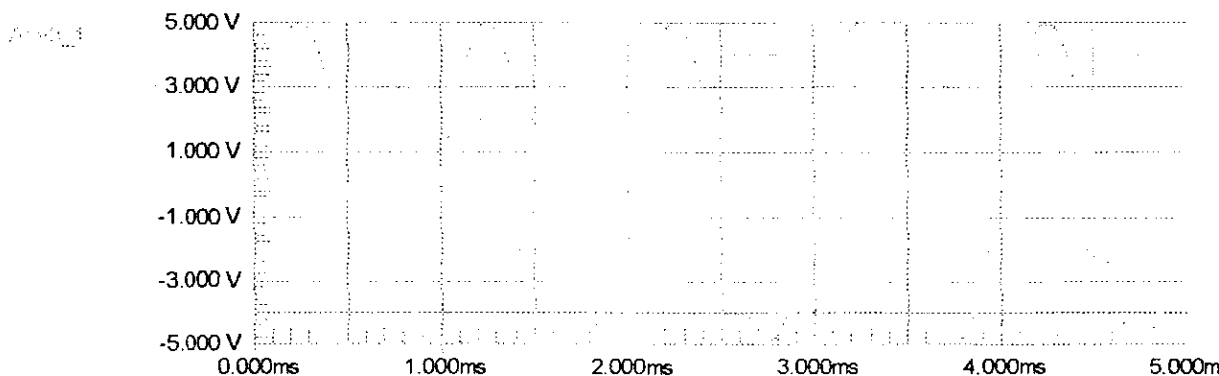
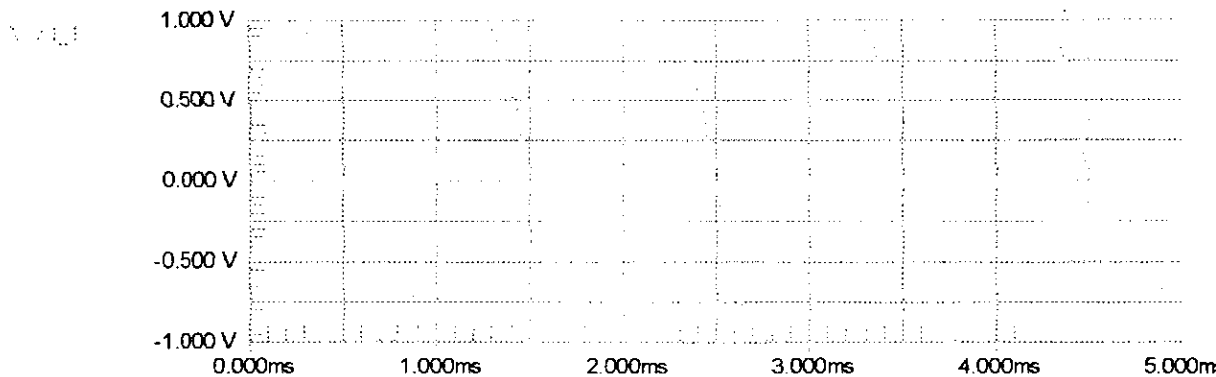
- a) Mida los valores de voltaje DC en los nodos A, B, C y D del circuito y compárelos con los medidos en la simulación #2 de ésta práctica.
- b) Si los valores de voltaje coinciden, el circuito se debe probar con una señal AC generada por el generador de funciones que simulará la entrada de audio con una amplitud de 800 mV y una frecuencia de 1 kHz, y una resistencia de carga de $8\ \Omega$ que simulará la bocina. Verifique que el amplificador genere una señal

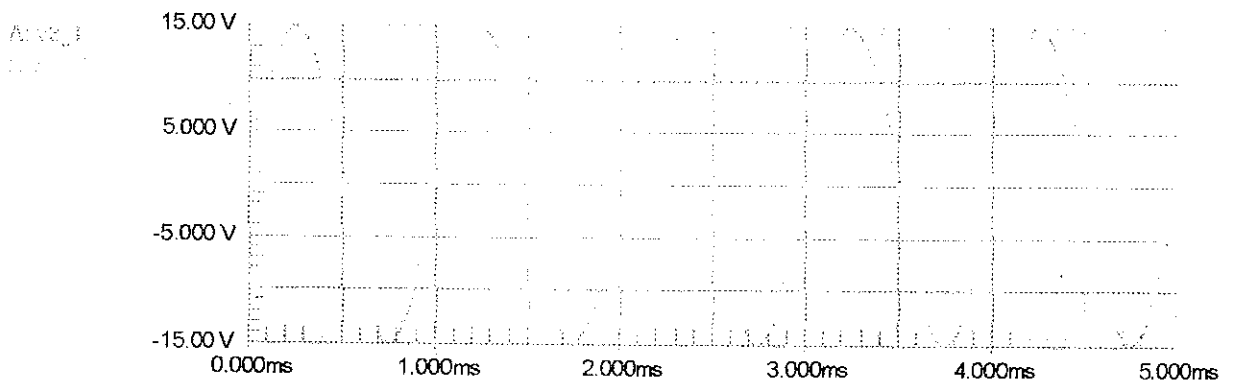
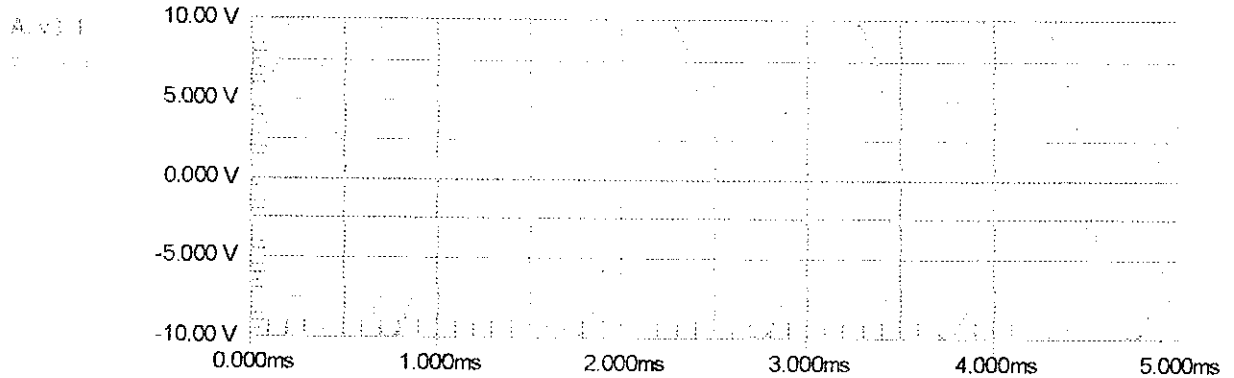
de salida sin distorsión y con una amplitud suficiente para hacer sonar a la bocina.

- c) Posteriormente reemplace el generador de funciones con la entrada de audio proporcionada por la salida de un cd player o de un micrófono sin amplificación (como los utilizados en los teléfonos) y reemplace la resistencia de carga con una bocina de $8\ \Omega$. Escuche la señal de audio.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

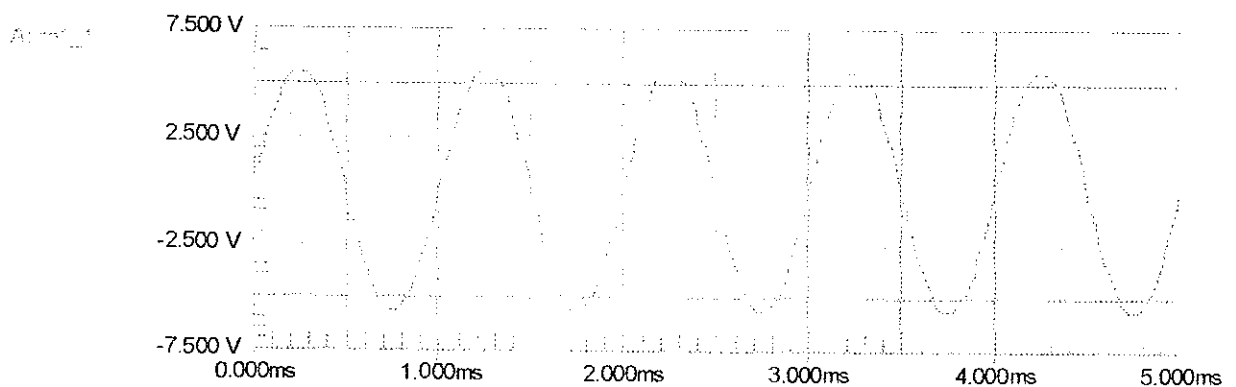
- En la simulación, la corriente de la fuente permanece estable, con un valor de 38.46 mA.
 - El voltaje DC en el nodo A, según la simulación, es de 1.4 V. En el nodo B es de -1.4 V. En el nodo C es de 251.3 mV y en el nodo D es de -257.6 mV.
 - En las siguientes figuras se muestran las formas de onda para la señal de salida y de entrada simultáneamente, para 1 V, 5 V, 10 V y 15 V; respectivamente.





Se puede observar que para todos los casos, la señal de salida efectivamente sigue a la señal de entrada.

d) En la simulación se obtuvo una señal de salida no distorsionada para valores de amplitud en el generador de funciones hasta de 13 V. A continuación se muestra la señal de salida no distorsionada, utilizando 13 V en la señal de entrada del generador de funciones.



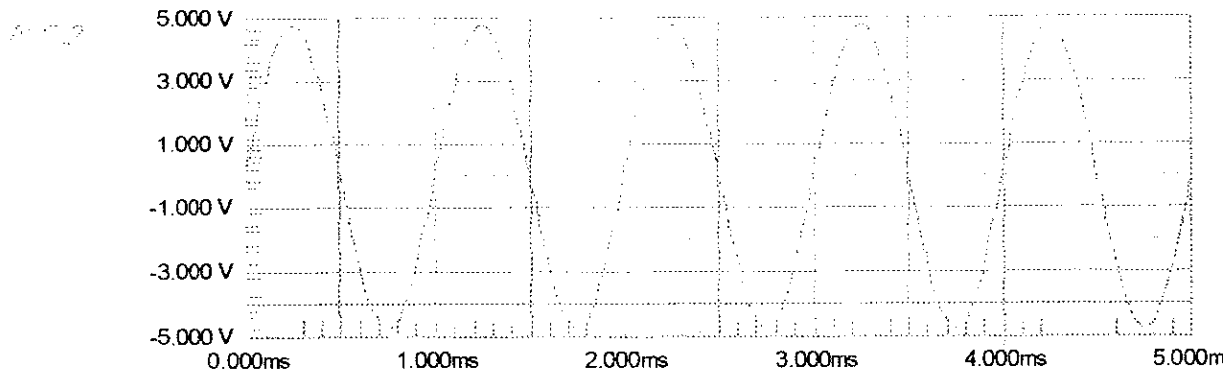
e) La potencia suministrada por la fuente de voltaje DC según la simulación es de 3.63 W y la potencia consumida en la resistencia de carga es de 2.047 W. Por lo tanto el

rendimiento calculado con la ecuación mencionada con anterioridad es de

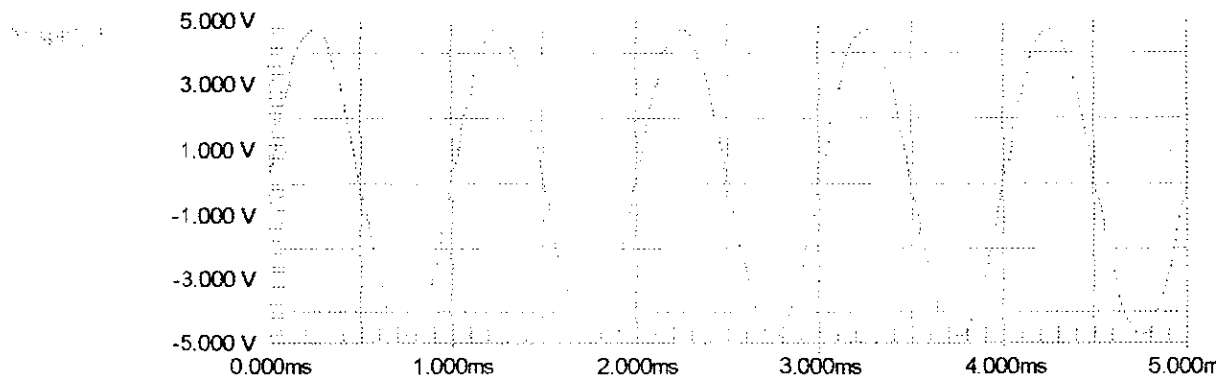
$$\eta\% = \frac{2.047W}{3.63W} * 100\% = 56.39\%.$$

2. a) El voltaje DC en el nodo A, según la simulación, es de 1.404 V. En el nodo B es de -1.399 V. En el nodo C es de 254.4 mV y en el nodo D es de -254.2 mV.

b) A continuación se muestra la forma de onda de la señal de salida del circuito con una resistencia de carga de 8Ω , utilizando el generador de funciones con una amplitud de 800 mV.



c) A continuación se muestra la forma de onda de la señal de salida del circuito con la bocina de 8Ω conectada, utilizando el generador de funciones con una amplitud de 800 mV.



Esta señal sin distorsión será suficiente para amplificar correctamente la señal de audio conectada al circuito.

REFERENCIAS

- Alley, Charles; K. Atwood. 1984. *Ingeniería Electrónica*. 3ª ed. Madrid, Limusa. 566 págs.
- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- <http://www.angelfire.com/al3/VGhp>

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (FET) PRÁCTICA #10

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar un transistor JFET canal n y hacer una gráfica donde se muestre la dependencia de la corriente del drenaje o drain con los voltajes V_{DS} y V_{GS} .
- Experimentar con el transistor MOSFET 2N7000 canal N, construyendo un circuito amplificador.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

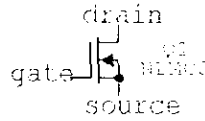
Un transistor de unión bipolar (BJT) elaborado como npn o pnp es un dispositivo controlado por corriente en el que participan tanto la corriente de electrones como la corriente de huecos. El transistor de efecto de campo (FET: field effect transistor) es un dispositivo unipolar. Opera como un dispositivo controlado por voltaje, ya sea con corriente de electrones en un FET de canal n o con corriente de huecos en un FET de canal p. Por lo tanto el FET puede utilizarse como amplificador y como interruptor. Pueden hacerse unas cuantas comparaciones generales entre los dispositivos FET y BJT y los circuitos resultantes:

1. El FET tiene una resistencia de entrada extremadamente alta con un valor típico de casi $100\text{ M}\Omega$ (la resistencia de entrada típica del BJT es de $2\text{ k}\Omega$).
2. El FET no tiene voltaje de unión cuando se utiliza como interruptor.
3. El FET es hasta cierto punto inmune a la radiación, aunque el BJT es sumamente sensible (beta es afectada en particular).
4. El FET es menos "ruidoso" que el BJT y, en consecuencia, más apropiado para etapas de entrada de amplificadores de bajo nivel (se utiliza ampliamente en los receptores de FM de alta fidelidad).
5. El FET puede operarse para proporcionar una mayor estabilidad térmica que el BJT.

El FET es un dispositivo que puede construirse como un FET de unión (JFET: Junction FET) o como un FET metal óxido semiconductor (MOSFET).

Desde los últimos años de la década de 1970, el transistor MOSFET se ha hecho muy popular. En comparación con los BJT, los transistores MOS pueden ser muy pequeños (es decir, ocupan una pequeña área de silicio en un circuito integrado) y su proceso de manufactura es relativamente sencillo. Además, las funciones de lógica digital y memoria se pueden ejecutar con circuitos que utilizan sólo MOSFET (esto es, no se necesitan resistores ni diodos. Es por esto que la tecnología MOS se ha aplicado en gran medida en el diseño de circuitos analógicos integrados y en circuitos integrados que combinan circuitos tanto analógicos como digitales.

A continuación se muestra el símbolo de representación para un transistor MOSFET canal N de enriquecimiento:



PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el transistor MOSFET 2N7000. La hoja de datos la puede encontrar en el sitio web de las guías del laboratorio.

DESCRIPCIÓN BREVE

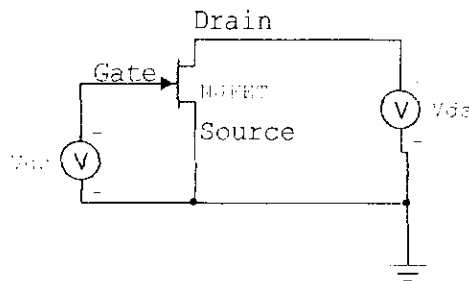
Como primer paso, el alumno deberá analizar un circuito básico de un JFET para hallar en una gráfica las características típicas del transistor variando los voltajes V_{GS} y V_{DS} . El alumno deberá experimentar con dos aplicaciones importantes del transistor MOSFET: el amplificador y el interruptor. Para el amplificador deberá construir un circuito con el transistor MOSFET y medir los parámetros que lo caracterizan como un circuito amplificador.

MATERIALES

- un transistor MOSFET modelo 2N7000 o equivalente
- dos capacitores de 100 uF o mayores
- un transistor BJT tipo npn
- resistencias de 10 k Ω , 4 k Ω y 1 k Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. A continuación se muestra un circuito con un transistor JFET canal n, que se utilizará para hallar la dependencia del voltaje V_{DS} con la corriente I_D y el voltaje V_{GS} .



Analice el siguiente circuito y realice los cálculos necesarios para completar las siguientes tablas, asumiendo que los parámetros del transistor son $I_{DSS}=5\text{ mA}$ y $V_p=5\text{V}$.

- a) Para $V_{GS}=-5\text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	

2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

b) Para $V_{GS} = -2 \text{ V}$

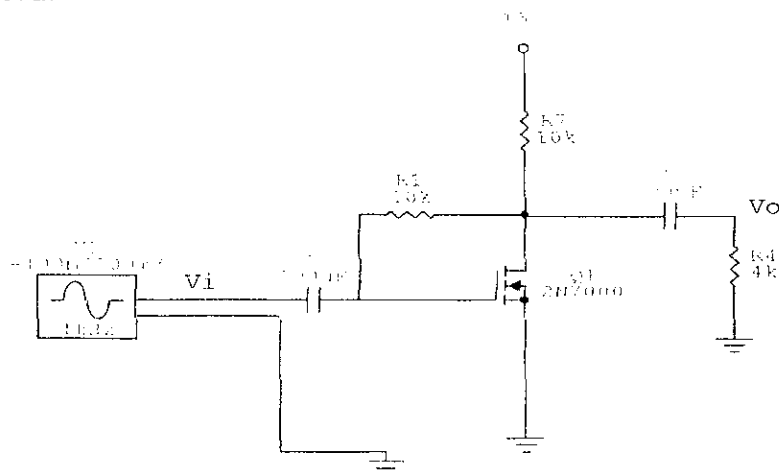
V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

c) Para $V_{GS} = 0 \text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

Con los datos obtenidos dibuje en una sola gráfica las curvas para el transistor JFET estudiado, y verifique que lo que obtiene es una gráfica que podría ser vista como una superficie ya que la corriente del drenaje o drain no solo depende de V_{DS} , sino también de V_{GS} .

- El circuito que se muestra a continuación es un amplificador con un transistor MOSFET, luego de observar la simulación #1 para esta práctica, construya el circuito en su protoboard.



- a) Haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de voltaje.
- b) Haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de corriente.
- c) Haga las mediciones correspondientes para calcular la resistencia de entrada y la resistencia de salida del amplificador.
- d) Compare los resultados experimentales con los observados en la simulación.

REFERENCIAS

- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.yale.edu/ee100/class4/sld036.htm>
- <http://ieee.udistrital.edu.co/concurso/electronica2/disenio.htm>

TRANSISTORES DE EFECTO DE CAMPO (FET)
PRÁCTICA #10
GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar un transistor JFET canal n y hacer una gráfica donde se muestre la dependencia de la corriente del drenaje o drain con los voltajes V_{DS} y V_{GS} .
- Experimentar con el transistor MOSFET 2N7000 canal N, construyendo un circuito amplificador.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un transistor de unión bipolar (BJT) elaborado como npn o pnp es un dispositivo controlado por corriente en el que participan tanto la corriente de electrones como la corriente de huecos. El transistor de efecto de campo (FET: field effect transistor) es un dispositivo unipolar. Opera como un dispositivo controlado por voltaje, ya sea con corriente de electrones en un FET de canal n o con corriente de huecos en un FET de canal p. Por lo tanto el FET puede utilizarse como amplificador y como interruptor.

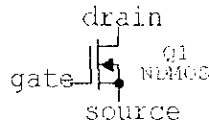
Pueden hacerse unas cuantas comparaciones generales entre los dispositivos FET y BJT y los circuitos resultantes:

1. El FET tiene una resistencia de entrada extremadamente alta con un valor típico de casi $100\text{ M}\Omega$ (la resistencia de entrada típica del BJT es de $2\text{ k}\Omega$).
2. El FET no tiene voltaje de unión cuando se utiliza como interruptor.
3. El FET es hasta cierto punto inmune a la radiación, aunque el BJT es sumamente sensible (beta es afectada en particular).
4. El FET es menos "ruidoso" que el BJT y, en consecuencia, más apropiado para etapas de entrada de amplificadores de bajo nivel (se utiliza ampliamente en los receptores de FM de alta fidelidad).
5. El FET puede operarse para proporcionar una mayor estabilidad térmica que el BJT.

El FET es un dispositivo que puede construirse como un FET de unión (JFET: Junction FET) o como un FET metal óxido semiconductor (MOSFET).

Desde los últimos años de la década de 1970, el transistor MOSFET se ha hecho muy popular. En comparación con los BJT, los transistores MOS pueden ser muy pequeños (es decir, ocupan una pequeña área de silicio en un circuito integrado) y su proceso de manufactura es relativamente sencillo. Además, las funciones de lógica digital y memoria se pueden ejecutar con circuitos que utilizan sólo MOSFET (esto es, no se necesitan resistores ni diodos. Es por esto que la tecnología MOS se ha aplicado en gran medida en el diseño de circuitos analógicos integrados y en circuitos integrados que combinan circuitos tanto analógicos como digitales.

A continuación se muestra el símbolo de representación para un transistor MOSFET canal N de enriquecimiento:



PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el transistor MOSFET 2N7000. La hoja de datos la puede encontrar en el sitio web de las guías del laboratorio.

DESCRIPCIÓN BREVE

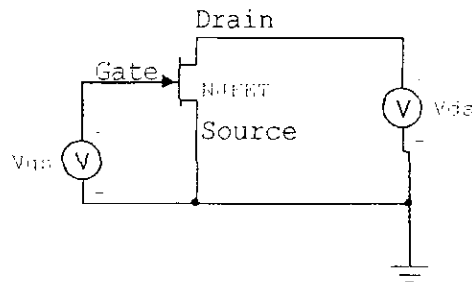
Como primer paso, el alumno deberá analizar un circuito básico de un JFET para hallar en una gráfica las características típicas del transistor variando los voltajes V_{GS} y V_{DS} . El alumno deberá experimentar con dos aplicaciones importantes del transistor MOSFET: el amplificador y el interruptor. Para el amplificador deberá construir un circuito con el transistor MOSFET y medir los parámetros que lo caracterizan como un circuito amplificador.

MATERIALES

- un transistor MOSFET modelo 2N7000 o equivalente
- dos capacitores de 100 uF o mayores
- un transistor BJT tipo npn
- resistencias de 10 kΩ, 4 kΩ y 1 kΩ

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. A continuación se muestra un circuito con un transistor JFET canal n, que se utilizará para hallar la dependencia del voltaje V_{DS} con la corriente I_D y el voltaje V_{GS} .



Analice el siguiente circuito y realice los cálculos necesarios para completar las siguientes tablas, asumiendo que los parámetros del transistor son $I_{DSS}=5\text{ mA}$ y $V_p=5\text{V}$.

- a) Para $V_{GS}=-5\text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	

2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

b) Para $V_{GS} = -2 \text{ V}$

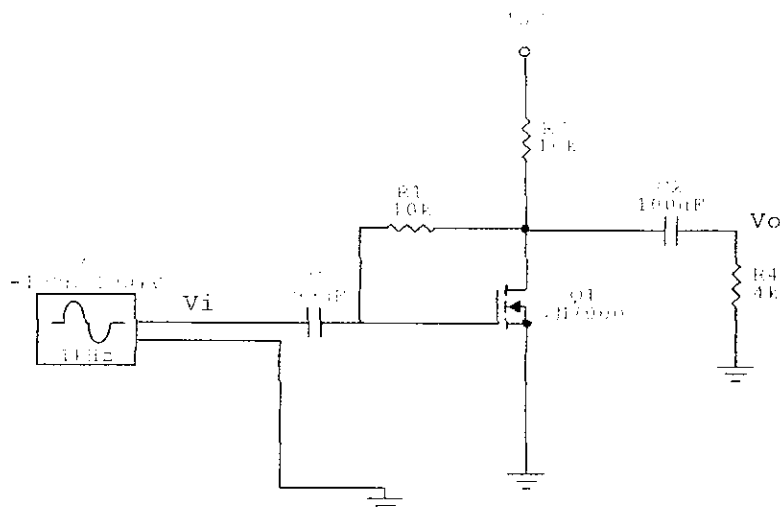
V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

c) Para $V_{GS} = 0 \text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	
1 V	
2 V	
3 V	
4 V	
5 V	

Con los datos obtenidos dibuje en una sola gráfica las curvas para el transistor JFET estudiado, y verifique que lo que obtiene es una gráfica que podría ser vista como una superficie ya que la corriente del drenaje o drain no solo depende de V_{DS} , sino también de V_{GS} .

2. El circuito que se muestra a continuación es un amplificador con un transistor MOSFET, luego de observar la simulación #1 para esta práctica, construya el circuito en su protoboard.



- Haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de voltaje.
- Haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de corriente.
- Haga las mediciones correspondientes para calcular la resistencia de entrada y la resistencia de salida del amplificador.
- Compare los resultados experimentales con los observados en la simulación.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

- A continuación se muestran las tablas completadas con los resultados obtenidos mediante la utilización de las siguientes fórmulas, cuando $V_{DG}=V_{DS} - V_{GS} < V_p$ se

utilizará $I_D = I_{DSS} \left[2 \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right) \frac{V_{DS}}{V_p} - \left(\frac{V_{DS}}{V_p} \right)^2 \right]$, cuando $V_{DG}=V_{DS} - V_{GS} > V_p$ se utilizará $I_D =$

$I_{DSS} \left(1 + \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2$ y cuando $V_{DG}=V_{DS} - V_{GS} = V_p$ se usará $I_D = I_{DSS} \left(\frac{V_{DS}}{V_p} \right)^2$:

- Para $V_{GS} = -5 \text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	0
1 V	0
2 V	0
3 V	0
4 V	0
5 V	0

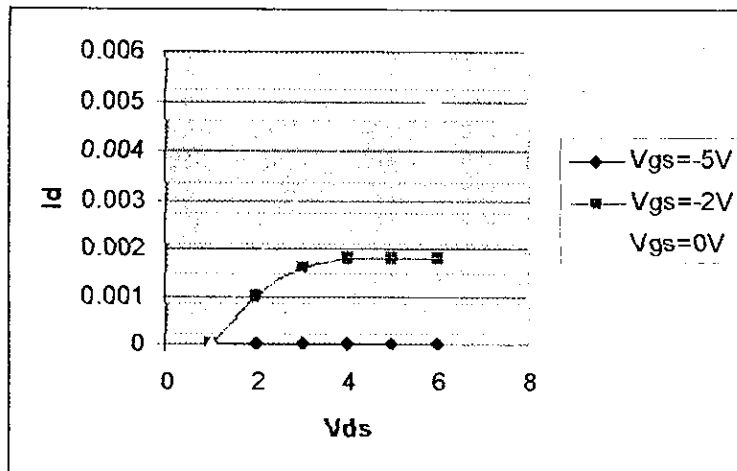
- Para $V_{GS} = -2 \text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	0
1 V	0.001
2 V	0.0016
3 V	0.0018
4 V	0.0018
5 V	0.0018

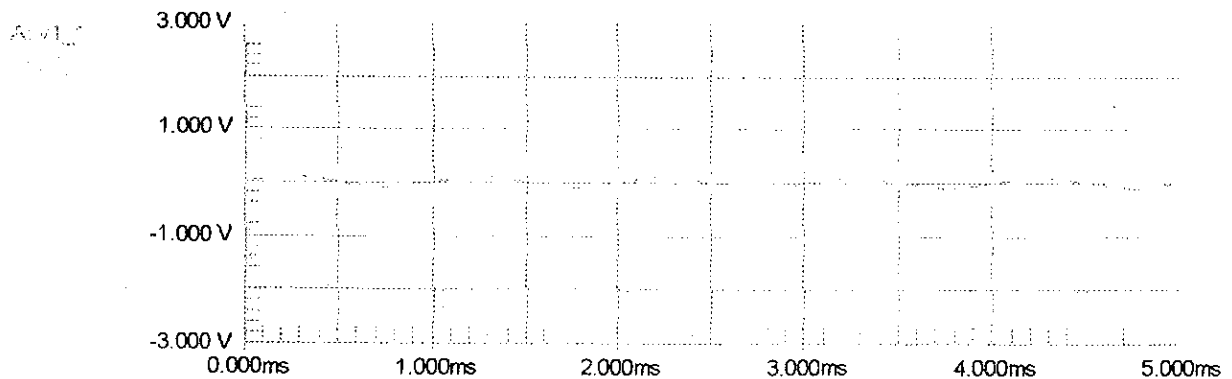
- Para $V_{GS} = 0 \text{ V}$

V_{DS}	I_D
0 V	0
1 V	0.0018
2 V	0.0032
3 V	0.0042
4 V	0.0048
5 V	0.005

La gráfica quedaría de la siguiente forma:



2. a) En la siguiente figura se muestra las formas de onda de la señal de entrada y la señal de salida del circuito simultáneamente.



La señal de entrada tiene una amplitud de 100 mV, mientras la señal de salida tiene una amplitud de 2.74 V; por lo tanto la ganancia de voltaje es de 27.4 V/V.

b) La corriente en la señal de entrada es de 235.9 μ A, mientras que en la señal de salida la corriente es de 572.6 μ A; lo que significa una ganancia de corriente de 2.43 A/A.

c) Considerando que $R = V/I$, se debe medir la corriente de gate y el voltaje de gate para determinar la resistencia de entrada. El voltaje en la gate es de 2.57 V y la corriente de 439.6 μ A; por lo tanto la resistencia de entrada es de 5846.2 $M\Omega$. Para determinar la resistencia de salida se debe medir la corriente y voltaje de drain. El voltaje de drain es de 2.57 V y la corriente es de 1.243 mA; por lo tanto la resistencia de salida es de 2.06 $k\Omega$.

d) Los resultados experimentales no deberían diferir con los de la simulación, ya que en ésta se utilizó el modelo para el transistor 2N7000 que es el que se pide para la realización de la práctica. Si el alumno utiliza otro transistor MOSFET deberá reportar las diferencias encontradas.

REFERENCIAS

- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica Teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.yale.edu/ee100/class4/sld036.htm>
- <http://ieee.udistrital.edu.co/concurso/electronica2/disenho.htm>

EL CIRCUITO LIMITADOR PRÁCTICA #11

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito con diodos, tal que teniendo una señal de entrada sinusoidal, obtenga en la señal de salida la señal de entrada con la parte positiva limitada.
- Construir un circuito con diodos, tal que teniendo una señal de entrada sinusoidal, obtenga en la señal de salida la señal de entrada con la parte negativa limitada.
- Construir un circuito con diodos en el cual pueda hacer variable el nivel de limitación de voltaje de la señal de entrada con un potenciómetro.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

En un circuito limitador para entradas en un cierto nivel, $L_-/K < V_i < L_+/K$, el limitador actúa como un circuito lineal proporcionando una salida proporcional a la entrada, $V_o = K \cdot V_i$. Aún cuando, en general K puede ser mayor de 1, los circuitos en esta práctica utilizan $K \leq 1$ y se conocen como limitadores pasivos. Si V_i excede del umbral superior (L_+/K), el voltaje de salida está limitado o fijado al nivel limitador superior L_+ . Por otra parte, si V_i se reduce abajo del umbral limitador inferior (L_-/K), el voltaje de salida V_o está limitado al nivel limitador inferior L_- .

Los limitadores encuentran aplicación en diversos sistemas de procesamiento de señales. Una de sus aplicaciones más sencillas está en limitar el voltaje entre las dos terminales de entrada de un opamp a un valor menor que el voltaje de ruptura de los transistores que conforman la etapa de entrada del circuito del opamp.

Se pueden combinar diodos con resistores para obtener realizaciones sencillas de la función limitadora. Los umbrales y niveles de saturación de limitadores de diodos se pueden controlar por medio de cadenas de diodos o conectando un voltaje DC en serie con el diodo. Es posible también, obtener circuitos limitadores más flexibles si se combinan opamps con diodos y resistores.

DESCRIPCIÓN BREVE

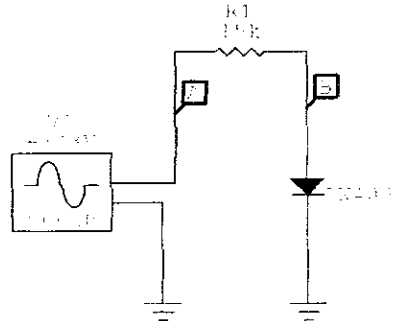
El alumno deberá construir dos circuitos limitadores básicos utilizando un diodo y una resistencia, buscando limitar en el primer caso la parte positiva de la señal de entrada del circuito y en el segundo caso la parte negativa de la señal de entrada. Luego deberá construir dos circuitos limitadores en los cuales sea capaz de variar el nivel de voltaje en el que se limita la señal de entrada, buscando un nivel positivo en un circuito y un nivel negativo en el otro circuito.

MATERIALES

- un diodo 1N4001
- una resistencia de $15\text{ k}\Omega$
- un potenciómetro de $5\text{ k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

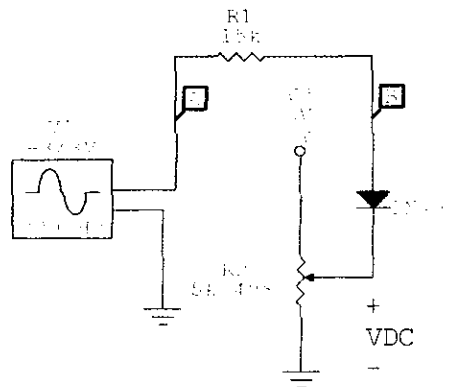
1. Construya el circuito que se muestra en la siguiente figura:



Observe con el osciloscopio la señal de entrada A y la señal de salida B simultáneamente y explique el funcionamiento del circuito.

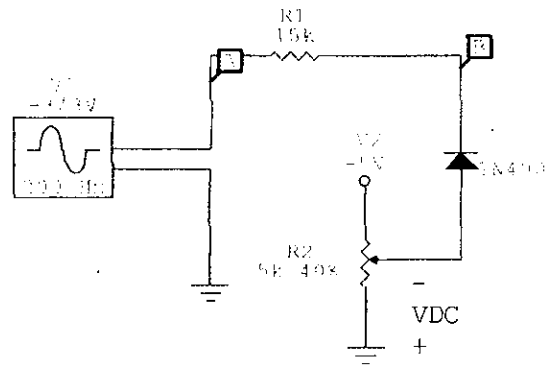
¿El circuito limita la parte positiva de la señal a cero voltios exactos?

2. Repita el procedimiento del inciso 1, pero esta vez cambie la polaridad del diodo. Explique el funcionamiento del circuito e indique las diferencias con lo observado en el inciso 1.
3. Construya el circuito que se muestra a continuación:



En el circuito ajuste el potenciómetro de manera que VDC sea 1.5 V. De nuevo observe las señales de entrada y de salida del circuito y explique lo que sucede en el circuito.

4. En el circuito del inciso anterior varíe la resistencia del potenciómetro de un extremo a otro. Observe y explique lo que sucede con el nivel de limitación del circuito.
5. Ahora, del circuito anterior, cambie las polaridades del diodo y de la fuente de voltaje V2 como se muestra en la siguiente figura:



Ajuste el potenciómetro de manera que VDC sea -1.5 V, y observe las señales de entrada y salida del circuito, y explique lo que sucede en el circuito.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.ee.washington.edu/faculty/darling/eefacrbd/ee331le2.pdf>
- www.hep.phys.uvic.ca/~ronney/214/Lecture9.pdf

**EL CIRCUITO LIMITADOR
PRÁCTICA #11
GUÍA PARA EL AUXILIAR**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito con diodos, tal que teniendo una señal de entrada sinusoidal, obtenga en la señal de salida la señal de entrada con la parte positiva limitada.
- Construir un circuito con diodos, tal que teniendo una señal de entrada sinusoidal, obtenga en la señal de salida la señal de entrada con la parte negativa limitada.
- Construir un circuito con diodos en el cual pueda hacer variable el nivel de limitación de voltaje de la señal de entrada con un potenciómetro.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

En un circuito limitador para entradas en un cierto nivel, $L_-/K < V_i < L_+/K$, el limitador actúa como un circuito lineal proporcionando una salida proporcional a la entrada, $V_o = K \cdot V_i$. Aún cuando, en general K puede ser mayor de 1, los circuitos en esta práctica utilizan $K \leq 1$ y se conocen como limitadores pasivos. Si V_i excede del umbral superior (L_+/K), el voltaje de salida está limitado o fijado al nivel limitador superior L_+ . Por otra parte, si V_i se reduce abajo del umbral limitador inferior (L_-/K), el voltaje de salida V_o está limitado al nivel limitador inferior L_- .

Los limitadores encuentran aplicación en diversos sistemas de procesamiento de señales. Una de sus aplicaciones más sencillas está en limitar el voltaje entre las dos terminales de entrada de un opamp a un valor menor que el voltaje de ruptura de los transistores que conforman la etapa de entrada del circuito del opamp.

Se pueden combinar diodos con resistores para obtener realizaciones sencillas de la función limitadora. Los umbrales y niveles de saturación de limitadores de diodos se pueden controlar por medio de cadenas de diodos o conectando un voltaje DC en serie con el diodo. Es posible también, obtener circuitos limitadores más flexibles si se combinan opamps con diodos y resistores.

DESCRIPCIÓN BREVE

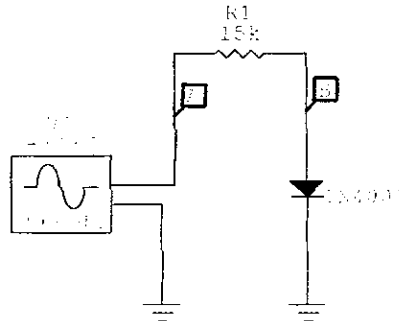
El alumno deberá construir dos circuitos limitadores básicos utilizando un diodo y una resistencia, buscando limitar en el primer caso la parte positiva de la señal de entrada del circuito y en el segundo caso la parte negativa de la señal de entrada. Luego deberá construir dos circuitos limitadores en los cuales sea capaz de variar el nivel de voltaje en el que se limita la señal de entrada, buscando un nivel positivo en un circuito y un nivel negativo en el otro circuito.

MATERIALES

- un diodo 1N4001
- una resistencia de $15\text{ k}\Omega$
- un potenciómetro de $5\text{ k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

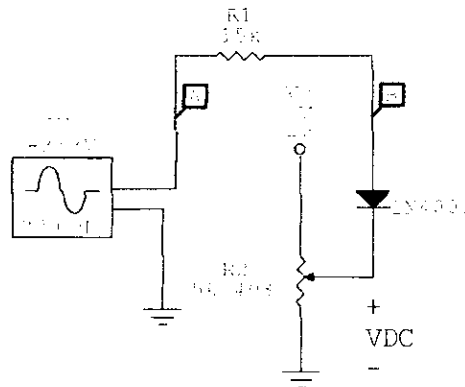
1. Construya el circuito que se muestra en la siguiente figura:



Observe con el osciloscopio la señal de entrada A y la señal de salida B simultáneamente y explique el funcionamiento del circuito.

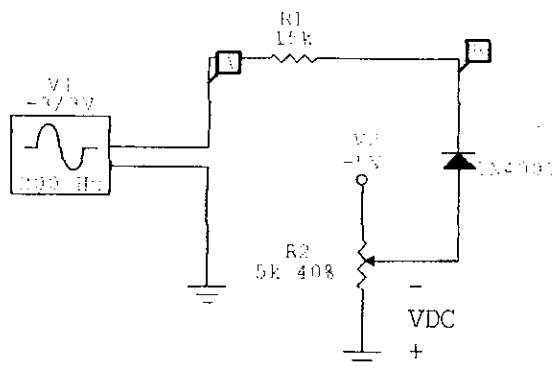
¿El circuito limita la parte positiva de la señal a cero voltios exactos?

2. Repita el procedimiento del inciso 1, pero esta vez cambie la polaridad del diodo. Explique el funcionamiento del circuito e indique las diferencias con lo observado en el inciso 1.
3. Construya el circuito que se muestra a continuación:



En el circuito ajuste el potenciómetro de manera que VDC sea 1.5 V . De nuevo observe las señales de entrada y de salida del circuito y explique lo que sucede en el circuito.

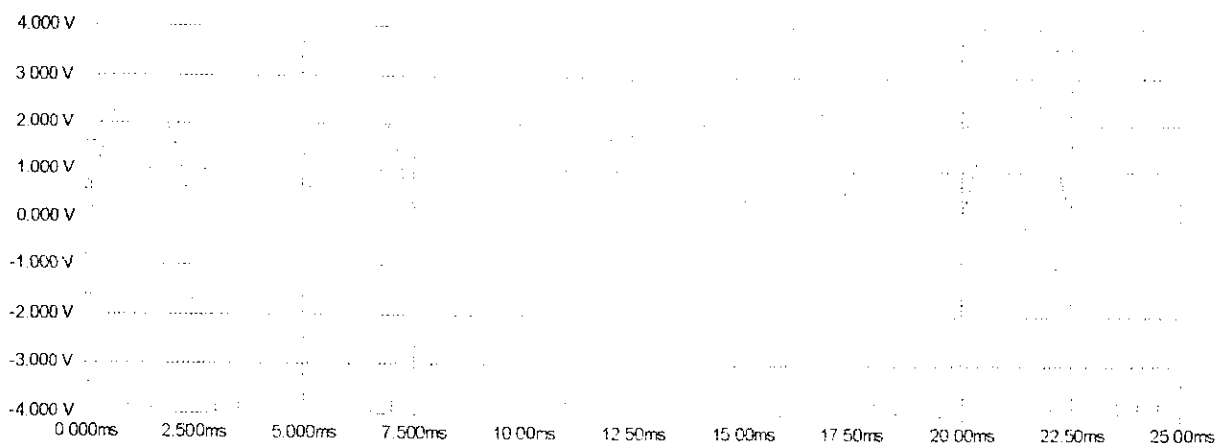
4. En el circuito del inciso anterior varíe la resistencia del potenciómetro de un extremo a otro. Observe y explique lo que sucede con el nivel de limitación del circuito.
5. Ahora, del circuito anterior, cambie las polaridades del diodo y de la fuente de voltaje V2 como se muestra en la siguiente figura:



Ajuste el potenciómetro de manera que VDC sea -1.5 V, y observe las señales de entrada y salida del circuito, y explique lo que sucede en el circuito.

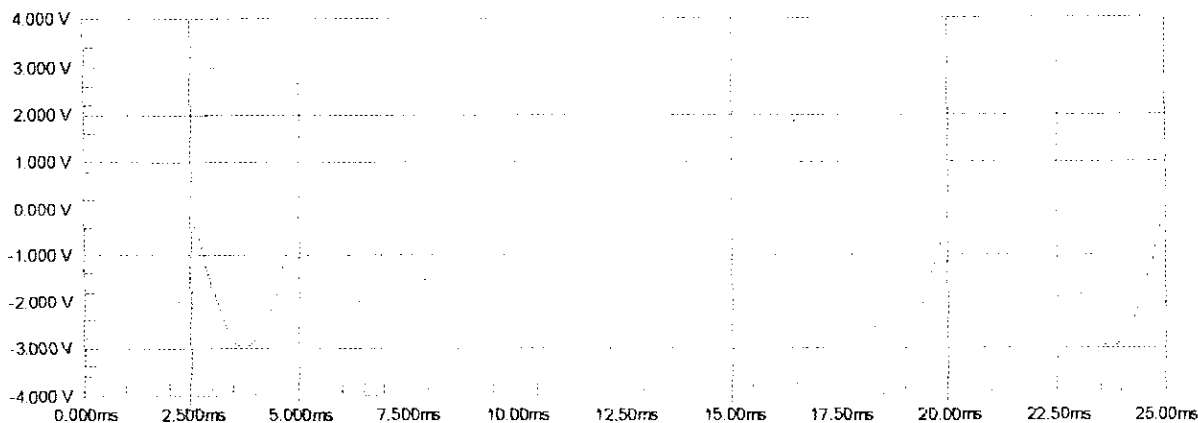
RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida y la señal de entrada del circuito.



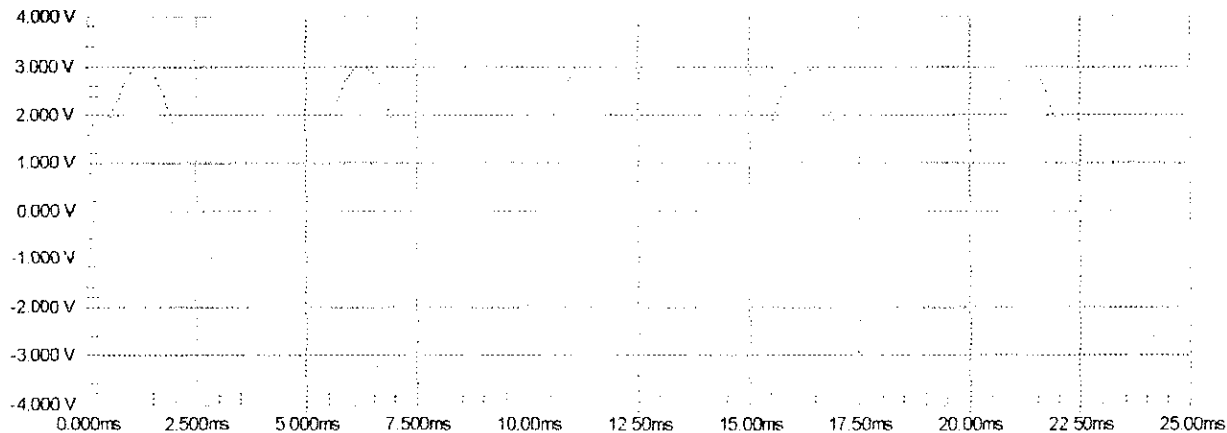
La señal de entrada se muestra de color verde, y la señal de salida en color amarillo. Se puede observar que la parte positiva de la señal de entrada ha sido removida, o limitada. Se puede observar también que el nivel limitador de voltaje no es perfecto, es decir la parte positiva de la señal no es limitada exactamente en cero voltios, sino que a un nivel de voltaje positivo pequeño. Lo que sucede con el circuito es que cuando la señal de entrada se vuelve positiva a un nivel mayor que la barrera de potencial del diodo, el diodo actúa como un corto circuito en serie con una pequeña fuente de voltaje DC (0.7V). Mientras que, cuando la señal de entrada se vuelve negativa, el diodo actúa como un abierto, y toda la señal de entrada aparece en la señal de salida. Es por eso que este circuito se conoce como limitador positivo, ya que corta la parte positiva de la señal de entrada del circuito.

2. A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida y la señal de entrada del circuito con la polaridad del diodo invertida.



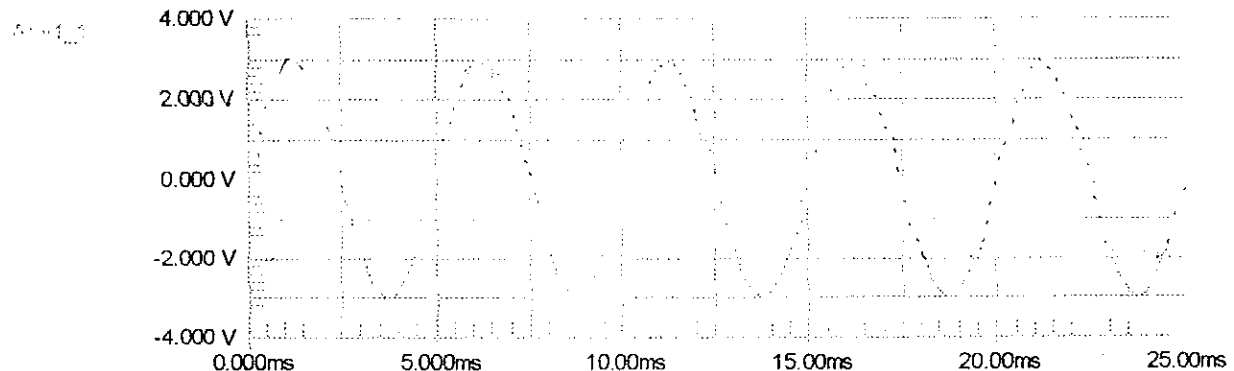
La señal de entrada se muestra de color verde, y la señal de salida en color amarillo. El comportamiento es opuesto al del limitador positivo. La señal de entrada tiene en la salida todos los picos negativos removidos como se muestra en la figura anterior. De nuevo, debe notarse que la señal negativa no es limitada exactamente a cero voltios, sino que es limitada a un voltaje negativo pequeño. A este circuito se le conoce como limitador negativo debido a que el circuito limita la parte negativa de la señal de entrada.

3. Las señales de entrada y salida con el potenciómetro ajustado para que VDC sea 1.5 V se observan de la siguiente forma:



La señal de entrada está representada de color verde y la señal de salida de color amarillo. En este caso el nivel de limitación de la señal positiva es mayor que el medido anteriormente. El circuito utiliza una fuente de voltaje DC para colocar el nivel de limitación. Se debe notar que el nivel de limitación de voltaje positivo es igual al valor de la fuente de voltaje DC más el potencial de barrera del diodo, es decir el valor de caída de voltaje en el diodo; es por eso que la limitación de la señal en el circuito anterior se da aproximadamente a 2.2 V, es decir $1.5 \text{ V} + 0.7 \text{ V}$.

4. Al variar de un extremo a otro el potenciómetro, el nivel de limitación de voltaje cambia. En un extremo, cuando el voltaje de la fuente DC es cero, el nivel de voltaje positivo es igual al medido en el inciso 1. En el otro extremo no debería haber limitación en la señal, ya que en este caso la fuente de voltaje es aproximadamente 5 V y la señal de entrada tiene como amplitud máxima 3 V, valor que es menor que la fuente de voltaje DC, por lo tanto el diodo se corta y la señal de salida es igual a la señal de entrada.
5. Las señales de entrada y salida con el potenciómetro ajustado para que VDC sea -1.5 V se observan de la siguiente forma:



La señal de entrada está representada de color verde y la señal de salida de color amarillo. En este caso el nivel de limitación de la señal negativa es menor que el medido anteriormente. El circuito utiliza una fuente de voltaje DC para colocar el nivel de limitación. Se debe notar que el nivel de limitación de voltaje negativo es igual al valor de la fuente de voltaje DC más el potencial de barrera del diodo, es decir el valor de caída de voltaje en el diodo; es por eso que la limitación de la señal en el circuito anterior se da aproximadamente a -2.2 V, es decir $-1.5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}$.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.ee.washington.edu/faculty/darling/eefacrbd/ee331le2.pdf>
- www.hep.phys.uvic.ca/~roney/214/Lecture9.pdf

EL CIRCUITO RECORTADOR PRÁCTICA #12

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que recorte la parte negativa de su señal de entrada sin variar su amplitud o forma, utilizando una configuración de diodos, capacitores y resistencias.
- Construir un circuito que recorte la parte positiva de su señal de entrada sin variar su amplitud o forma, utilizando una configuración de diodos, capacitores y resistencias.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El propósito de esta práctica es demostrar el funcionamiento de un circuito recortador, que se construye utilizando diodos. Así como el circuito limitador, el recortador es también un circuito que le da forma a una onda de entrada, pero éste añade un nivel de valor DC a la señal de entrada. Es por esto que el circuito recortador es llamado también un restaurador DC. Sin embargo, a diferencia del circuito limitador, la forma de la señal de entrada en un circuito recortador no cambia.

DESCRIPCIÓN BREVE

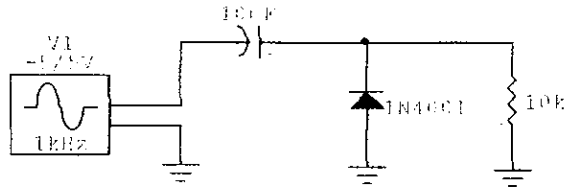
El alumno deberá construir dos circuitos, un recortador negativo y un recortador positivo, utilizando un diodo, un capacitor y un resistor como se muestra en las figuras de los circuitos en el procedimiento. En ambos casos el alumno deberá notar que no existe cambio significativo en la amplitud y forma de la señal de entrada y de salida, además deberá notar la imperfección del circuito al ser incapaz de recortar las señales, negativas o positivas, a exactamente cero voltios.

MATERIALES

- un diodo 1N4001
- un capacitor electrolítico de 10 μF
- un resistor de 10 $\text{k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación

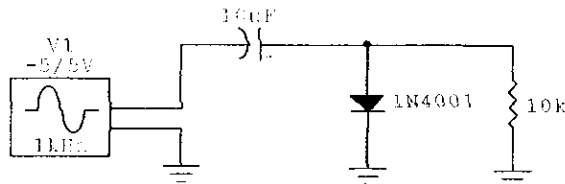


Note que el generador de funciones deberá estar colocado a una amplitud de 5 V y una frecuencia de 1 kHz. Observe en el osciloscopio la señal de entrada y la señal de salida simultáneamente y describa la operación de este circuito recortador. Incluya gráficas en el reporte.

¿Varían la amplitud y la forma de la señal de entrada con respecto a la de salida?

¿El circuito recorta la señal de entrada exactamente a cero voltios? ¿Por qué?

2. Aumente el valor de amplitud de la señal de entrada y describa lo que sucede.
3. Cambie la polaridad del diodo, como se muestra en el siguiente circuito y describa lo que sucede. Explique el funcionamiento del circuito. Incluya gráficas en el reporte.



¿Varían la amplitud y la forma de la señal de entrada con respecto a la de salida?

¿El circuito recorta la señal de entrada exactamente a cero voltios? ¿Por qué no?

4. Aumente el valor de amplitud de la señal de entrada y describa lo que sucede.
5. Mencione las diferencias del funcionamiento del circuito observado en la práctica, con el de las dos simulaciones presentadas para esta práctica.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

**EL CIRCUITO RECORTADOR
PRÁCTICA #12
GUÍA PARA EL AUXILIAR**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito que recorte la parte negativa de su señal de entrada sin variar su amplitud o forma, utilizando una configuración de diodos, capacitores y resistencias.
- Construir un circuito que recorte la parte positiva de su señal de entrada sin variar su amplitud o forma, utilizando una configuración de diodos, capacitores y resistencias.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El propósito de esta práctica es demostrar el funcionamiento de un circuito recortador, que se construye utilizando diodos. Así como el circuito limitador, el recortador es también un circuito que le da forma a una onda de entrada, pero éste añade un nivel de valor DC a la señal de entrada. Es por esto que el circuito recortador es llamado también un restaurador DC. Sin embargo, a diferencia del circuito limitador, la forma de la señal de entrada en un circuito recortador no cambia.

DESCRIPCIÓN BREVE

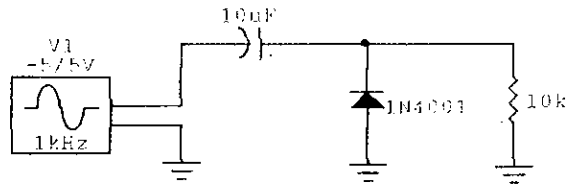
El alumno deberá construir dos circuitos, un recortador negativo y un recortador positivo, utilizando un diodo, un capacitor y un resistor como se muestra en las figuras de los circuitos en el procedimiento. En ambos casos el alumno deberá notar que no existe cambio significativo en la amplitud y forma de la señal de entrada y de salida, además deberá notar la imperfección del circuito al ser incapaz de recortar las señales, negativas o positivas, a exactamente cero voltios.

MATERIALES

- un diodo 1N4001
- un capacitor electrolítico de 10 μ F
- un resistor de 10 k Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación

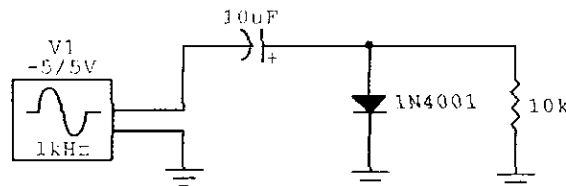


Note que el generador de funciones deberá estar colocado a una amplitud de 5 V y una frecuencia de 1 kHz. Observe en el osciloscopio la señal de entrada y la señal de salida simultáneamente y describa la operación de este circuito recortador. Incluya gráficas en el reporte.

¿Varían la amplitud y la forma de la señal de entrada con respecto a la de salida?

¿El circuito recorta la señal de entrada exactamente a cero voltios? ¿Por qué?

2. Aumente el valor de amplitud de la señal de entrada y describa lo que sucede.
3. Cambie la polaridad del diodo, como se muestra en el siguiente circuito y describa lo que sucede. Explique el funcionamiento del circuito. Incluya gráficas en el reporte.



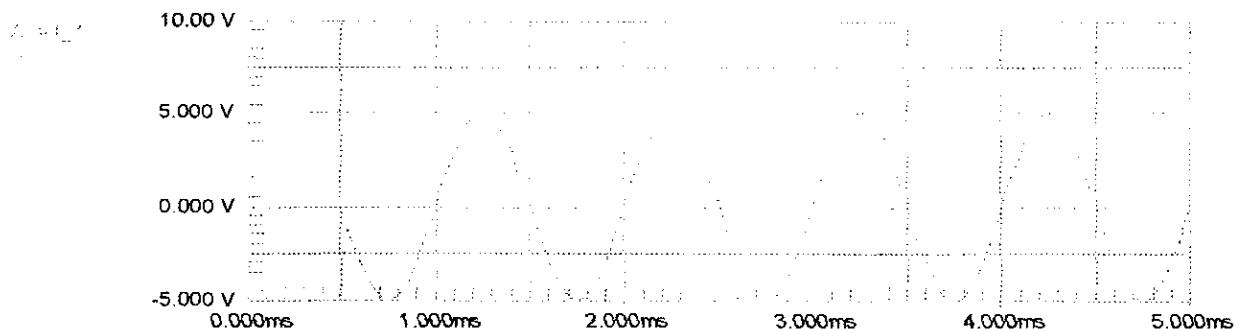
¿Varían la amplitud y la forma de la señal de entrada con respecto a la de salida?

¿El circuito recorta la señal de entrada exactamente a cero voltios? ¿Por qué no?

4. Aumente el valor de amplitud de la señal de entrada y describa lo que sucede.
5. Mencione las diferencias del funcionamiento del circuito observado en la práctica, con el de las dos simulaciones presentadas para esta práctica.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. A continuación se muestran las señales de entrada y de salida simultáneamente en el osciloscopio.

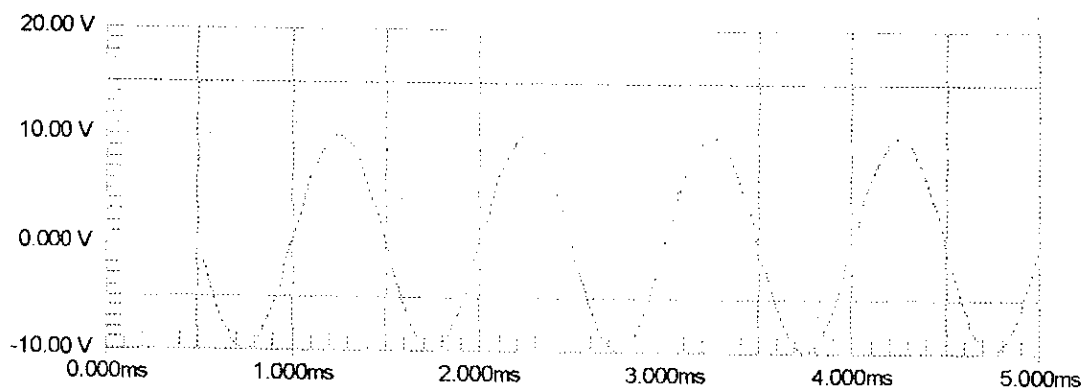


La señal de color verde es la señal de entrada y la de color amarillo es la señal de salida. Como se puede observar en las formas de onda, el circuito funciona como un recortador negativo, es decir que la señal de salida está sobre la señal de entrada por varios niveles de voltaje. Este efecto es el mismo que si se hubiera agregado una

señal DC a la señal de entrada. Como se mencionó en los antecedentes teóricos, la diferencia fundamental del circuito limitador con el circuito recortador es que en el circuito recortador como se puede observar la señal de salida no varía su amplitud ni forma con respecto a la señal de entrada.

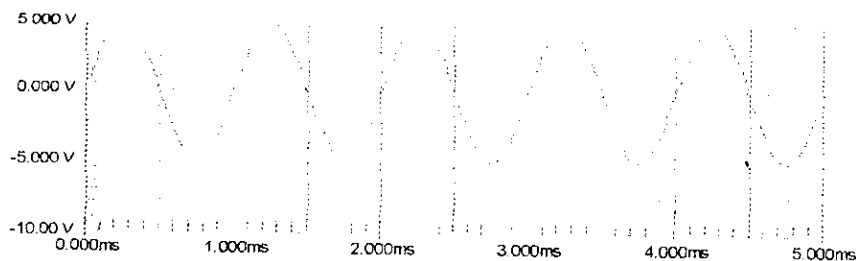
El circuito recortador no es perfecto, ya que la señal no es recortada exactamente a cero voltios. Después de hacer mediciones se encontró que la señal es recortada a -701.69 mV. Esto ocurre debido a que cuando la señal de entrada se vuelve negativa a un valor mayor que el potencial de barrera del diodo (en este caso 0.7 V), el diodo se polariza positivamente, lo que equivale a un corto circuito en serie con un pequeño voltaje DC. Por lo tanto, 0.7 V es el voltaje de caída en el diodo, mientras lo que queda del voltaje pico negativo carga el capacitor de $10\mu\text{F}$. En el siguiente semiciclo positivo, el diodo es polarizado negativamente, lo cual se observa como un circuito abierto, y el voltaje almacenado en el capacitor durante el semiciclo negativo es luego añadido a la señal de entrada. Es por eso que el voltaje pico negativo de la señal de salida es igual a cero voltios menos la caída de voltaje en el diodo.

- Se aumentó la amplitud de la señal de entrada a 10 V, a continuación se muestra la forma de onda de las señales.



Como se puede observar en la gráfica anterior, la señal de salida (en color amarillo), se mantiene recortada en el mismo valor de voltaje que el medido en el inciso 1, además la forma de onda de la señal de salida no cambia con respecto a la señal de entrada. Debe notarse también que el valor de voltaje pico positivo de la señal de salida, es igual al valor de voltaje de pico a pico de la señal de entrada, en este caso 20 V.

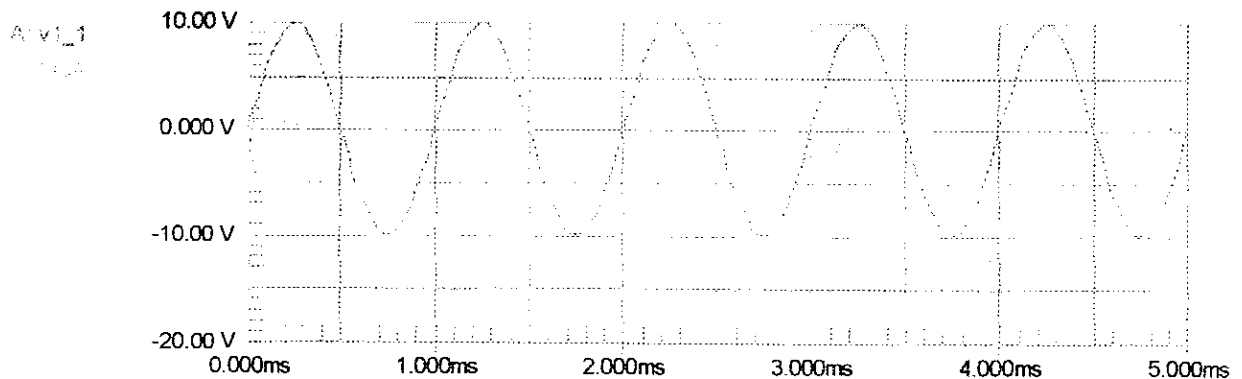
- A continuación se muestran las señales de entrada y de salida simultáneamente en el osciloscopio.



La señal de color verde es la señal de entrada y la de color amarillo es la señal de salida. En las formas de onda, el circuito funciona de manera opuesta al circuito visto en los circuitos anteriores, el circuito en este inciso se comporta como un recortador positivo, es decir que la señal de salida esta abajo de la señal de entrada por varios niveles de voltaje. Este efecto es el mismo que si se hubiera agregado una señal negativa DC a la señal de entrada. Como se mencionó en los antecedentes teóricos, la diferencia fundamental del circuito limitador con el circuito recortador es que en el circuito recortador la señal de salida no varía su amplitud ni forma con respecto a la señal de entrada.

El circuito recortador no es perfecto, ya que la señal no es recortada exactamente a cero voltios. Después de hacer mediciones se encontró que la señal es recortada a 705.88 mV. En este caso, el voltaje pico positivo de la señal de salida es igual a cero voltios más la caída de voltaje en el diodo.

4. Se aumentó la amplitud de la señal de entrada a 10 V, a continuación se muestra la forma de onda de las señales.



Como se puede observar en la gráfica anterior, la señal de salida (en color amarillo), se mantiene recortada en el mismo valor de voltaje que el medido en el inciso 3, además la forma de onda de la señal de salida no cambia con respecto a la señal de entrada. Debe notarse también que el valor de voltaje pico negativo de la señal de salida, es igual al valor absoluto de voltaje de pico a pico de la señal de entrada, en este caso 20 V.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

POLARIZACIÓN DE UN TRANSISTOR BJT POR RETROALIMENTACIÓN EN EL COLECTOR PRÁCTICA #13

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ejercitar otra configuración para polarizar a un transistor, construyendo un circuito de polarización de un transistor BJT tipo NPN por retroalimentación en el colector.
- Comprobar que la configuración de polarización del transistor funciona, al aumentar la temperatura del transistor y observar cambios mínimos en la corriente del colector.
- Comprobar que el circuito es independiente del valor β del transistor, haciendo mediciones de varios parámetros de la configuración con dos transistores diferentes y verificando muy poca variación en la comparación de las mediciones de los parámetros entre los dos transistores.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

En prácticas anteriores hemos visto resuelto el problema de polarización de un transistor BJT utilizando el circuito de polarización con divisor de voltaje. Para recapitular, el problema de polarización es establecer una corriente DC constante en el emisor del transistor BJT. Esta corriente tiene que ser calculable, predecible e insensible a variaciones en temperatura y a las grandes variaciones del valor de β encontradas entre transistores del mismo tipo. Hay que recordar que para que un transistor funcione como amplificador, éste debe estar polarizado en la región activa. He aquí la importancia de polarizar un transistor.

El propósito de esta práctica es que el alumno conozca otro circuito para polarizar un transistor, que al igual que el circuito de polarización con divisor de voltaje, éste, el circuito de polarización por retroalimentación en el colector, utiliza una sola fuente. La diferencia de este circuito es que el voltaje en el colector es el que provee la polarización para la unión entre la base y el emisor. El resultado es que el circuito tenga un punto Q muy estable, lo cual reduce los efectos que podría producir el parámetro Beta (β), de un transistor.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir la configuración del circuito de polarización por retroalimentación en el colector, y medir varios de los parámetros de la configuración, luego deberá calcular el valor de cada parámetro y hacer la comparación entre lo medido (valor práctico) y lo calculado (valor teórico). Posteriormente deberá aumentar la temperatura del transistor y medir el cambio, si es que existe, en la corriente del colector. Finalmente, el alumno deberá realizar otra vez todas las mediciones de parámetros y la medición con el aumento de temperatura con un diferente transistor, con el fin de verificar la independencia

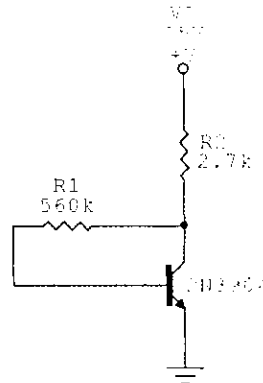
aumento de temperatura con un diferente transistor, con el fin de verificar la independencia del circuito con respecto al parámetro β del transistor.

MATERIALES

- dos transistores BJT NPN 2N3904
- resistencias de 2.7 k Ω , y 560 k Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación:



2. En el circuito anterior, mida con un multímetro, la corriente en la base y la corriente en el colector. Con estos dos valores determine el parámetro Beta para este transistor, utilizando la siguiente fórmula: $\beta = I_C / I_B$.
3. Ahora mida con un multímetro en el circuito, el valor de voltaje en la base V_B y el valor de voltaje entre colector y emisor, V_{CE} .
4. Utilizando el valor de β determinado en el inciso 2, y suponiendo una caída típica de voltaje entre la unión base emisor de 0.7 V, calcule los valores esperados para la corriente de colector, la corriente de la base y el voltaje entre colector y emisor V_{CE} . Los resultados medidos deben estar dentro del 10% de error con respecto a los valores calculados para cada parámetro, de lo contrario revise las conexiones y los componentes en el circuito.
5. Con cuidado, intente de calentar el transistor acercando un fósforo, un encendedor o un cautín al transistor sin tocarlo y mida la corriente del colector con el multímetro. ¿Aumenta o disminuye la corriente del colector? ¿Es significativa la diferencia?
6. Utilizando otro transistor BJT NPN 2N3904, repita los incisos del 2 al 5, y mencione si observa diferencias entre los resultados de los dos transistores.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

**POLARIZACIÓN DE UN TRANSISTOR BJT POR RETROALIMENTACIÓN EN EL
COLECTOR
PRÁCTICA #13
GUÍA PARA EL AUXILIAR**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Ejecutar otra configuración para polarizar a un transistor, construyendo un circuito de polarización de un transistor BJT tipo NPN por retroalimentación en el colector.
- Comprobar que la configuración de polarización del transistor funciona, al aumentar la temperatura del transistor y observar cambios mínimos en la corriente del colector.
- Comprobar que el circuito es independiente del valor β del transistor, haciendo mediciones de varios parámetros de la configuración con dos transistores diferentes y verificando muy poca variación en la comparación de las mediciones de los parámetros entre los dos transistores.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

En prácticas anteriores hemos visto resuelto el problema de polarización de un transistor BJT utilizando el circuito de polarización con divisor de voltaje. Para recapitular, el problema de polarización es establecer una corriente DC constante en el emisor del transistor BJT. Esta corriente tiene que ser calculable, predecible e insensible a variaciones en temperatura y a las grandes variaciones del valor de β encontradas entre transistores del mismo tipo. Hay que recordar que para que un transistor funcione como amplificador, éste debe estar polarizado en la región activa. He aquí la importancia de polarizar un transistor.

El propósito de esta práctica es que el alumno conozca otro circuito para polarizar un transistor, que al igual que el circuito de polarización con divisor de voltaje, éste, el circuito de polarización por retroalimentación en el colector, utiliza una sola fuente. La diferencia de este circuito es que el voltaje en el colector es el que provee la polarización para la unión entre la base y el emisor. El resultado es que el circuito tenga un punto Q muy estable, lo cual reduce los efectos que podría producir el parámetro Beta (β), de un transistor.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir la configuración del circuito de polarización por retroalimentación en el colector, y medir varios de los parámetros de la configuración, luego deberá calcular el valor de cada parámetro y hacer la comparación entre lo medido (valor práctico) y lo calculado (valor teórico). Posteriormente deberá aumentar la temperatura del transistor y medir el cambio, si es que existe, en la corriente del colector. Finalmente el alumno deberá realizar otra vez todas las mediciones de parámetros y la medición con el

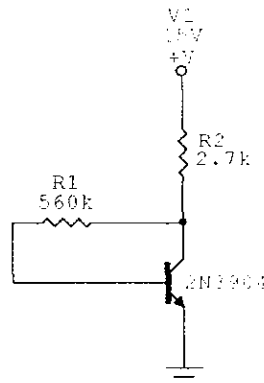
aumento de temperatura con un diferente transistor, con el fin de verificar la independencia del circuito con respecto al parámetro β del transistor.

MATERIALES

- dos transistores BJT NPN 2N3904
- resistencias de 2.7 k Ω , y 560 k Ω

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Construya el circuito que se muestra a continuación:



2. En el circuito anterior, mida con un multímetro, la corriente en la base y la corriente en el colector. Con estos dos valores determine el parámetro Beta para este transistor, utilizando la siguiente fórmula: $\beta = I_C / I_B$.
3. Ahora mida con un multímetro en el circuito, el valor de voltaje en la base V_B y el valor de voltaje entre colector y emisor, V_{CE} .
4. Utilizando el valor de β determinado en el inciso 2, y suponiendo una caída típica de voltaje entre la unión base emisor de 0.7 V, calcule los valores esperados para la corriente de colector, la corriente de la base y el voltaje entre colector y emisor V_{CE} . Los resultados medidos deben estar dentro del 10% de error con respecto a los valores calculados para cada parámetro, de lo contrario revise las conexiones y los componentes en el circuito.
5. Con cuidado, trate de calentar el transistor acercando un fósforo, un encendedor o un caudín al transistor sin tocarlo y mida la corriente del colector con el multímetro. ¿Aumenta o disminuye la corriente del colector? ¿Es significativa la diferencia?
6. Utilizando otro transistor BJT NPN 2N3904, repita los incisos del 2 al 5, y mencione si observa diferencias entre los resultados de los dos transistores.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

2. Se realizaron las mediciones correspondientes y se encontró que $I_B = 15.38 \mu\text{A}$ e $I_C = 2.10 \text{mA}$. Por lo tanto, $\beta = I_C / I_B = 2.10 \text{mA} / 15.38 \mu\text{A} = 136.54$.
3. Se realizaron las mediciones correspondientes y se encontró que $V_B = 665.4 \text{ mV}$ y $V_{CE} = 9.281 \text{ V}$.

4. Utilizando $\beta = 136.54$ se puede encontrar utilizando las fórmulas que $I_C =$

$$\frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + (R_B / \beta)} = \frac{15 - 0.7}{2.7k + (560k / 136.54)} = 2.10 \text{ mA},$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{\beta R_C + R_B} = \frac{15 - 0.7}{136.54 * 2.7k + 560k} = 15.39 \text{ uA y } V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 15 -$$

$(2.10\text{mA} * 2.7k) = 9.33 \text{ V}$. Como se puede observar todos los resultados no se salen del margen de 10% de error requerido.

5. Al calentar el transistor debe encontrarse que existe un pequeño cambio, casi insignificante en la corriente del colector, o que el cambio no ocurre tan rápido o no es tan grande como el obtenido con el circuito de polarización con divisor de voltaje. Un circuito de polarización por retroalimentación en el colector bien diseñado hace que el punto Q de un transistor sea esencialmente independiente de β .
6. Al cambiar el transistor por otro 2N3904 diferente, lo que se está haciendo es cambiando el valor de β del transistor ya que es imposible que dos transistores, aún siendo del mismo tipo, estén contruidos exactamente iguales. Debido a que el circuito de polarización, hace que el funcionamiento del transistor sea independiente del factor β , el alumno debería observar cambios muy pequeños o ningún cambio en las mediciones realizadas.

REFERENCIAS

- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

**III.
GUÍAS
ELECTRÓNICA 3**

APLICACIONES DE LA CONFIGURACIÓN INVERSORA DE UN OPAMP

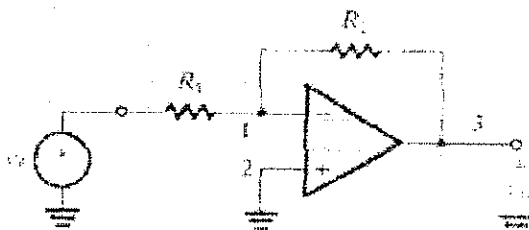
PRÁCTICA #1

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir aplicaciones utilizando el amplificador operacional en su configuración inversora.
- Analizar las aplicaciones construidas observando las señales de entrada y de salida de los circuitos para determinar la función que realiza cada aplicación.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Considere el circuito que se muestra en la siguiente figura.



En este circuito el resistor R_2 está conectado de la terminal de salida del opamp, la terminal 3, de regreso a la terminal de entrada inversora o negativa, terminal 1. Se habla de R_2 como la que aplica retroalimentación negativa; si R_2 se conectara entre las terminales 3 y 2 se llamaría retroalimentación positiva.

Se debe notar que la ganancia a circuito cerrado de esta configuración es simplemente la razón de las dos resistencias R_2 y R_1 : $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$. El signo menos significa que el

amplificador de circuito cerrado proporciona inversión de señal. Debido al signo menos asociado con la ganancia a circuito cerrado, esta configuración se denomina inversora.

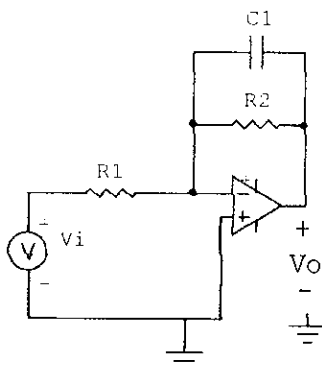
El hecho de que la ganancia a circuito cerrado dependa por completo de componentes pasivos externos (resistores R_1 y R_2) es muy importante. Significa que se puede hacer que la ganancia a circuito cerrado sea tan precisa como se desee con sólo seleccionar componentes pasivos de precisión adecuada. También significa que la ganancia de circuito cerrado es (idealmente) independiente de la ganancia del opamp. Ésta es una ilustración muy significativa de la retroalimentación negativa: se comienza con un amplificador que tenía una ganancia A , muy alta, y al aplicar retroalimentación negativa se obtiene una ganancia R_2/R_1 a circuito cerrado que es mucho menor que A , pero es estable y predecible; esto es,

circuito cerrado que es mucho menor que A , pero es estable y predecible; esto es, cambiamos ganancia por precisión.

Si se supone un opamp ideal con ganancia infinita a circuito abierto, la resistencia de entrada del amplificador inversor a circuito cerrado de la figura de arriba es simplemente igual a R_1 . Así, para hacer que la resistencia de entrada sea alta se debe seleccionar un valor alto para R_1 pero, si la ganancia necesaria R_2/R_1 también es alta, entonces R_2 podría hacerse tan grande que cayera fuera de todo sentido práctico. Se puede concluir que la configuración inversora sufre de baja resistencia. Como la salida de la configuración inversora se toma en los terminales de una fuente ideal de voltaje, se deduce que la resistencia del amplificador a circuito cerrado es cero.

PRE-LABORATORIO

1. Considere el circuito que se muestra en la figura de los antecedentes teóricos, siendo $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$ y $V_i=1\text{ V}$. Calcule la corriente I_1 , el voltaje de salida V_o y la ganancia de voltaje A_v .
2. Considere el siguiente circuito:



Encuentre la función de transferencia, la ganancia DC y la ganancia a frecuencia infinita del circuito.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir varios circuitos y descubrir en cada uno de ellos una aplicación de la configuración inversora del opamp. Además, deberá diseñar y construir un circuito utilizando en conjunto las diferentes aplicaciones mostradas en la práctica para obtener una señal determinada.

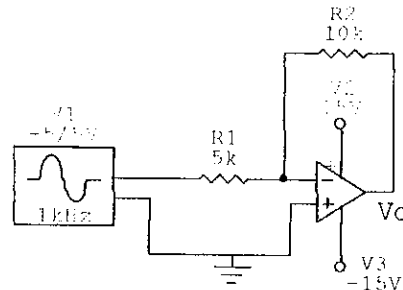
MATERIALES

- cuatro opamps que se alimenten con $+15\text{ V}$ y -15 V . (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps)
- resistencias menores de $1\text{ k}\Omega$, $5\text{ k}\Omega$, $10\text{ k}\Omega$, $100\text{ k}\Omega$, y variadas
- dos capacitores de 10 nF
- tres fuentes de voltaje independientes
- un generador de funciones

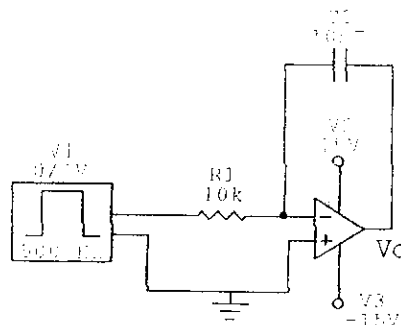
- un libro de electrónica básica

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

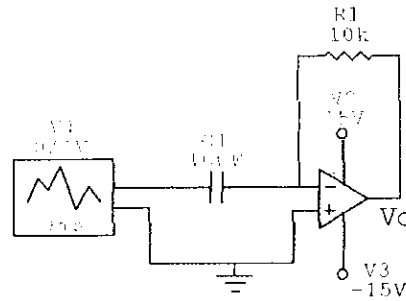
1. Observe la simulación #1 para esta práctica y compruebe que el circuito allí mostrado es un amplificador de voltaje. Posteriormente construya el siguiente circuito en su protoboard:



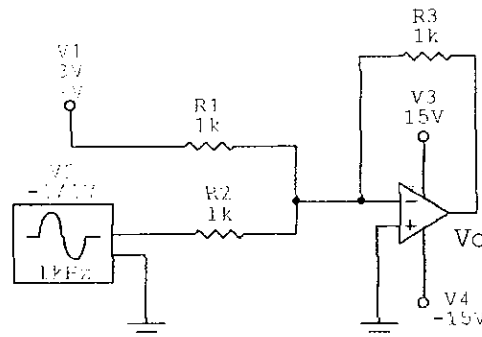
- a) Determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador y compruebe que la señal de salida esta desfasada 180° con la señal de entrada. ¿Por qué ocurre esto?
 - b) Calcule analíticamente la ganancia de voltaje del circuito y compare este valor con el obtenido en el inciso a. Justifique las diferencias.
 - c) En la simulación #1 cambie el valor de amplitud del generador de funciones a 10 V, y observe la señal de entrada y de salida del circuito para comprobar que la ganancia de voltaje se mantiene. Luego haga lo mismo en su circuito y determine si se conserva la ganancia de voltaje. Explique las diferencias en lo observado para los dos casos.
2. Observe la simulación #2 para esta práctica y, posteriormente, construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- a) Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - b) Rediseñe el circuito para que la señal de salida y la señal de entrada tengan la misma amplitud.
 - c) ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
3. Observe la simulación #3 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - Rediseñe el circuito para que la señal de salida y la señal de entrada tengan la misma amplitud.
 - ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
4. Observe la simulación #4 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- Observe las entradas y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - Explique analíticamente cómo funciona el circuito y obtenga una relación entre las señales de entrada con la señal de salida en función del tiempo. Investigue en un libro esta relación y compárela con la que usted halló.
 - ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
5. Diseñe un circuito con opamps que teniendo como entrada una señal $V_i = \text{sen}(t)$, obtenga una señal de salida igual a $V_o = 3\text{sen}(t) + 9$. Luego construya el circuito y compruebe los resultados. Recuerde que los opamps se pueden colocar en cascada sin necesitar ningún tipo de acoplamiento.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.htm

APLICACIONES DE LA CONFIGURACIÓN INVERSORA DE UN OPAMP

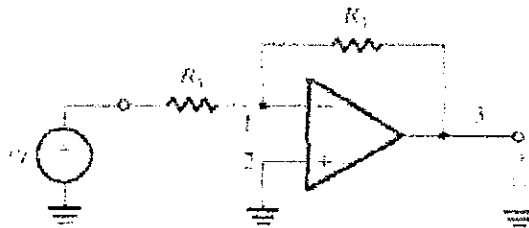
PRÁCTICA #1 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir aplicaciones utilizando el amplificador operacional en su configuración inversora.
- Analizar las aplicaciones construidas observando las señales de entrada y de salida de los circuitos para determinar la función que realiza cada aplicación.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Considere el circuito que se muestra en la siguiente figura.



En este circuito el resistor R_2 está conectado de la terminal de salida del opamp, la terminal 3, de regreso a la terminal de entrada inversora o negativa, terminal 1. Se habla de R_2 como la que aplica retroalimentación negativa; si R_2 se conectara entre las terminales 3 y 2 se llamaría retroalimentación positiva.

Se debe notar que la ganancia a circuito cerrado de esta configuración es simplemente la razón de las dos resistencias R_2 y R_1 : $A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$. El signo menos significa que el

amplificador de circuito cerrado proporciona inversión de señal. Debido al signo menos asociado con la ganancia a circuito cerrado, esta configuración se denomina inversora.

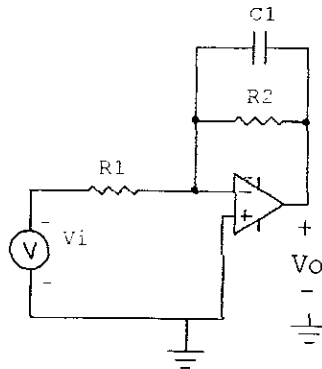
El hecho de que la ganancia a circuito cerrado dependa por completo de componentes pasivos externos (resistores R_1 y R_2) es muy importante. Significa que se puede hacer que la ganancia a circuito cerrado sea tan precisa como se desee con sólo seleccionar componentes pasivos de precisión adecuada. También significa que la ganancia de circuito cerrado es (idealmente) independiente de la ganancia del opamp. Ésta es una ilustración muy significativa de la retroalimentación negativa: se comienza con un amplificador que tenía una ganancia A , muy alta, y al aplicar retroalimentación negativa se obtiene una ganancia R_2/R_1 a

circuito cerrado que es mucho menor que A, pero es estable y predecible; esto es, cambiamos ganancia por precisión.

Si se supone un opamp ideal con ganancia infinita a circuito abierto, la resistencia de entrada del amplificador inversor a circuito cerrado de la figura de arriba es simplemente igual a R_1 . Así, para hacer que la resistencia de entrada sea alta se debe seleccionar un valor alto para R_1 pero, si la ganancia necesaria R_2/R_1 también es alta, entonces R_2 podría hacerse tan grande que cayera fuera de todo sentido práctico. Se puede concluir que la configuración inversora sufre de baja resistencia. Como la salida de la configuración inversora se toma en los terminales de una fuente ideal de voltaje, se deduce que la resistencia del amplificador a circuito cerrado es cero.

PRE-LABORATORIO

1. Considere el circuito que se muestra en la figura de los antecedentes teóricos, siendo $R_1=10\text{ k}\Omega$, $R_2=100\text{ k}\Omega$ y $V_i=1\text{ V}$. Calcule la corriente I_1 , el voltaje de salida V_o y la ganancia de voltaje A_v .
2. Considere el siguiente circuito:



Encuentre la función de transferencia, la ganancia DC y la ganancia a frecuencia infinita del circuito.

RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. La corriente I_1 , se puede obtener con la ecuación $I_1 = \frac{V_i}{R_1} = \frac{1V}{10k\Omega} = 0.1\text{ mA}$. V_o está dado por la ecuación $V_o = -\frac{R_2}{R_1} * V_i = -10\text{ V}$. Por lo tanto, la ganancia de voltaje A_v es de -10.
2. Considerando que la función de transferencia general está dada por $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1}$; en el caso específico del circuito en análisis $Z_1=R_1$ y $Z_2=R_2 || (1/sC_2)$. Por lo tanto la función

de transferencia para este circuito esta dada por $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{\frac{R_1}{R_2} + sC_2R_1}$. La ganancia DC

se encuentra haciendo $s=0$ y es igual a $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$ y la ganancia a frecuencia infinita se encuentra haciendo $s=\infty$ y es igual a cero.

DESCRIPCIÓN BREVE

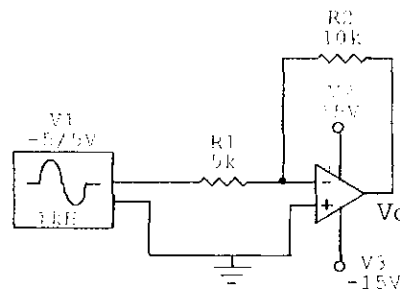
El alumno deberá construir varios circuitos y descubrir en cada uno de ellos una aplicación de la configuración inversora del opamp. Además, deberá diseñar y construir un circuito utilizando en conjunto las diferentes aplicaciones mostradas en la práctica para obtener una señal determinada.

MATERIALES

- cuatro opamps que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps)
- resistencias menores de 1k Ω , 5 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω , y variadas
- dos capacitores de 10nF
- tres fuentes de voltaje independientes
- un generador de funciones
- un libro de electrónica básica

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

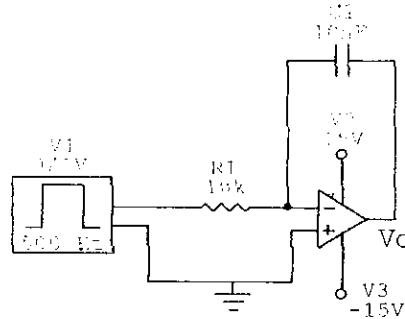
1. Observe la simulación #1 para esta práctica y compruebe que el circuito allí mostrado es un amplificador de voltaje. Posteriormente construya el siguiente circuito en su protoboard:



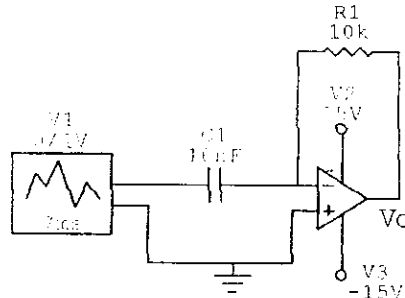
- a) Determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador y compruebe que la señal de salida esta desfasada 180° con la señal de entrada. ¿Por qué ocurre esto?
- b) Calcule analíticamente la ganancia de voltaje del circuito y compare este valor con el obtenido en el inciso a. Justifique las diferencias.
- c) En la simulación #1 cambie el valor de amplitud del generador de funciones a 10 V, y observe la señal de entrada y de salida del circuito para comprobar que

la ganancia de voltaje se mantiene. Luego, haga lo mismo en su circuito y determine si se conserva la ganancia de voltaje. Explique las diferencias en lo observado para los dos casos.

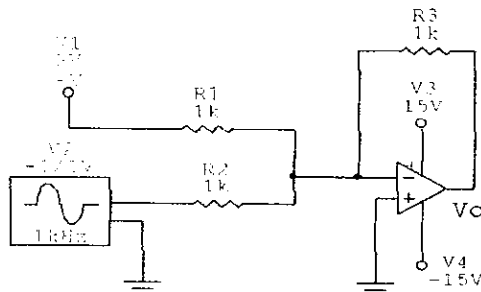
2. Observe la simulación #2 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - Rediseñe el circuito para que la señal de salida y la señal de entrada tengan la misma amplitud.
 - ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
3. Observe la simulación #3 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



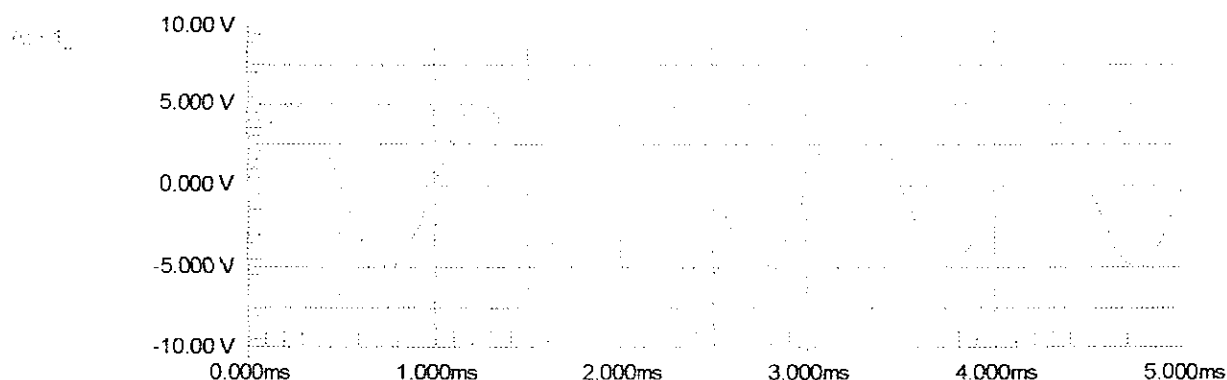
- Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - Rediseñe el circuito para que la señal de salida y la señal de entrada tengan la misma amplitud.
 - ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
4. Observe la simulación #4 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



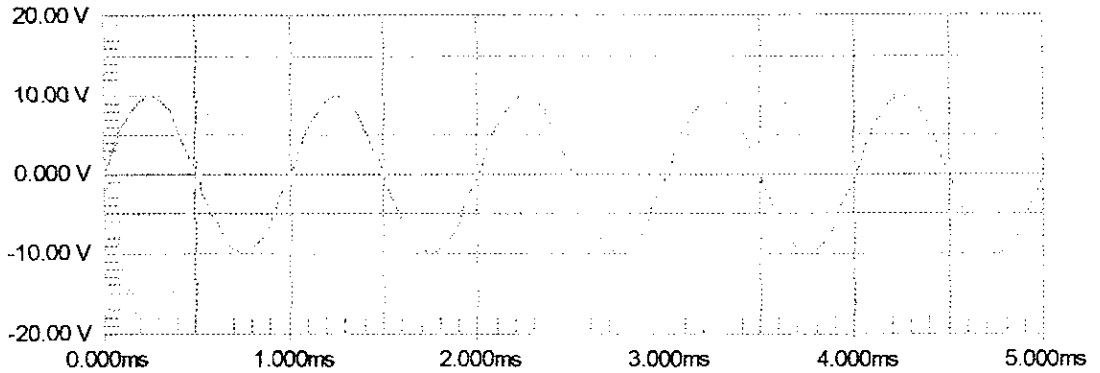
- a) Observe las entradas y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - b) Explique analíticamente cómo funciona el circuito y obtenga una relación entre las señales de entrada con la señal de salida en función del tiempo. Investigue en un libro esta relación y compárela con la que usted halló.
 - c) ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
5. Diseñe un circuito con opamps que teniendo como entrada una señal $V_i = \text{sen}(t)$, obtenga una señal de salida igual a $V_o = 3\text{sen}(t) + 9$. Luego, construya el circuito y compruebe los resultados. Recuerde que los opamps se pueden colocar en cascada sin necesitar ningún tipo de acoplamiento.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

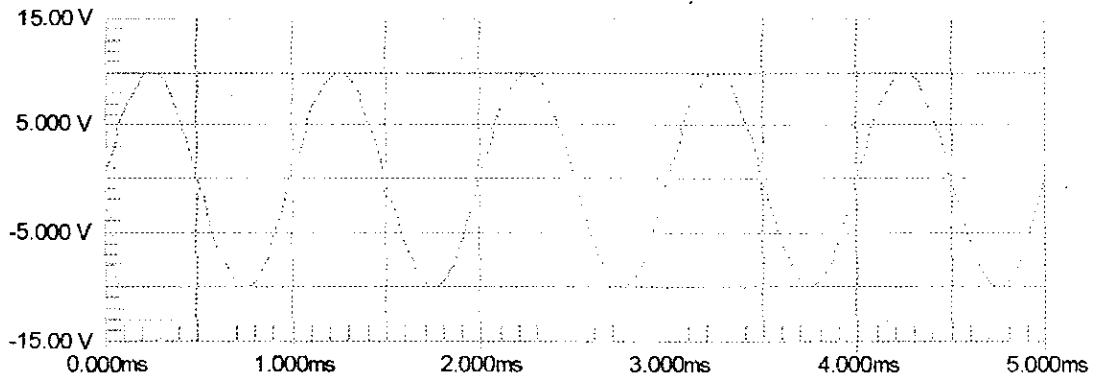
1. A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida y entrada de voltaje del circuito amplificador:



- a) Con ayuda de la gráfica anterior se puede observar que la ganancia de voltaje del circuito es de -2 V/V . La señal de salida está desfasada 180° con respecto a la señal de entrada, esto es debido a que la configuración inversora tiene una función de transferencia con signo negativo lo que hace que la señal de salida se invierta con respecto a la de entrada.
- b) La ganancia de voltaje del circuito está dada por $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{10\text{k}\Omega}{5\text{k}\Omega} = -2$. Por lo tanto no hay diferencias con respecto a lo obtenido en el inciso a.
- c) A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida y la señal de entrada simultáneamente con la señal de entrada a una amplitud de 10 V.



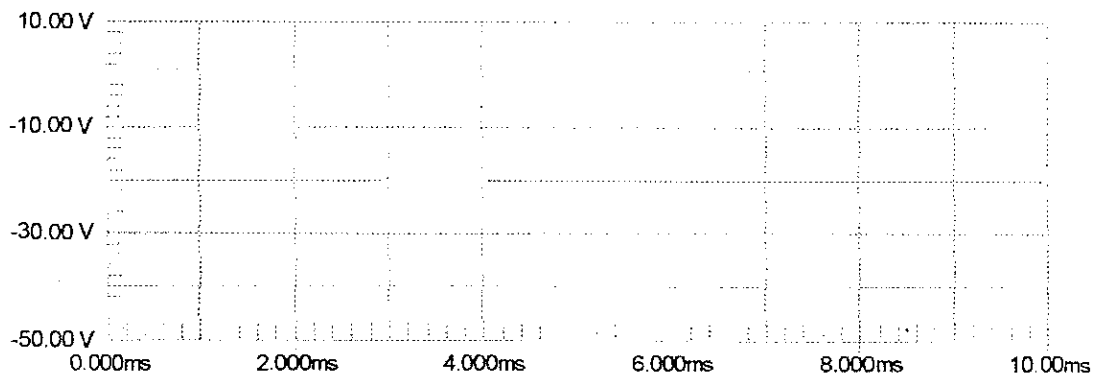
En este caso la ganancia de voltaje se mantiene, pero en el circuito construido por el alumno se observarán las siguientes formas de onda.



En este caso el opamp ya no conserva la ganancia de voltaje, y esto es debido a que el opamp se satura, ya que aunque la amplitud de la señal de salida debería ser de 20 V, esto no es posible ya que el opamp está alimentado solo con 15 V, por lo tanto la amplitud máxima que se podrá obtener en la salida no podrá exceder este valor de alimentación.

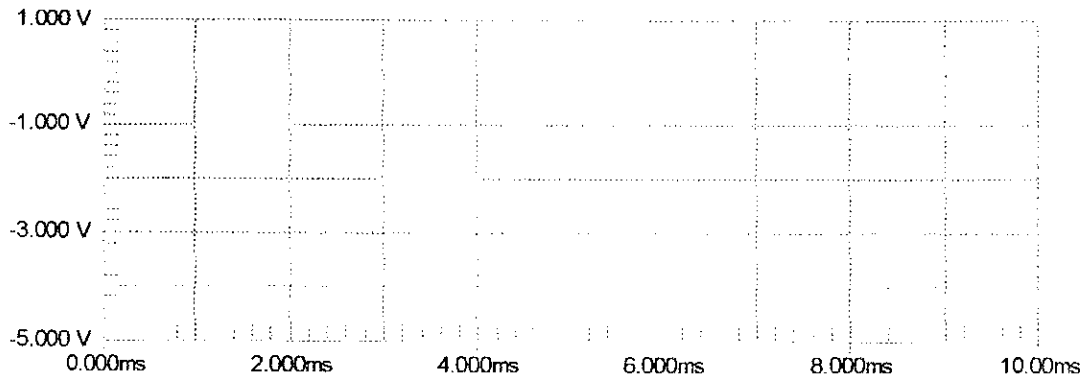
2.

a) A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y la de salida simultáneamente.



Con la ayuda de lo observado en la gráfica anterior se puede determinar que la función que implementa el circuito es de un integrador inversor.

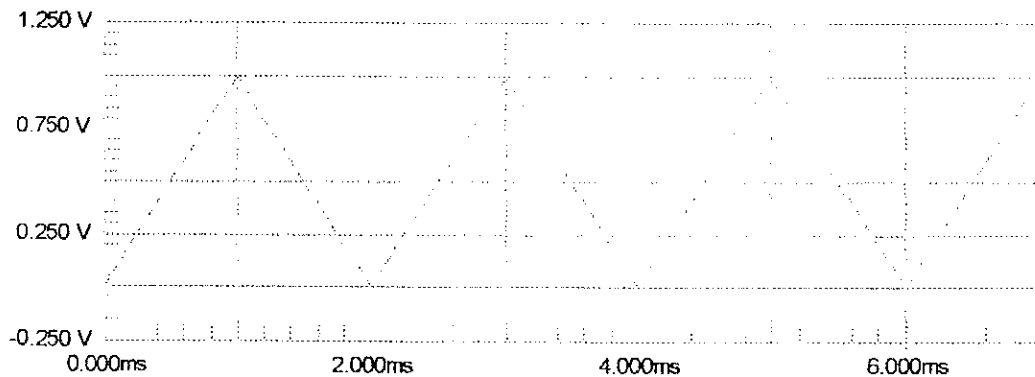
- b) Como $V_o(t)$ está definida para $0 \leq t \leq 1\text{ms}$, se necesita que $CR=1\text{ ms}$, para obtener una señal de salida con la misma amplitud que la señal de entrada. Por lo tanto si se hace $R=100\text{ k}\Omega$, se obtiene lo requerido como se muestra en la siguiente figura:



- c) El alumno sí deberá observar algunas diferencias debido a que el opamp utilizado en la simulación es un opamp ideal, no como el que el alumno utilizará para realizar la práctica.

3.

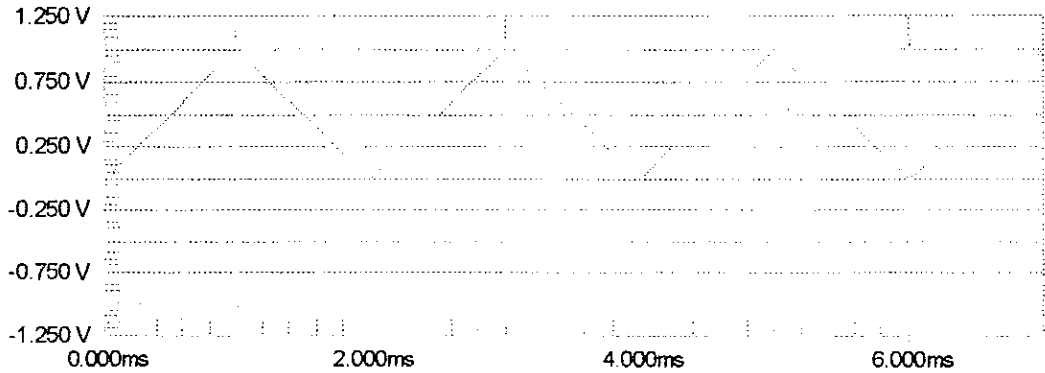
- a) A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y la de salida simultáneamente.



Con la ayuda de lo observado en la gráfica anterior se puede determinar que la función que implementa el circuito es de un diferenciador inversor.

- b) Como $V_o(t)$ está definida para $0 \leq t \leq 1\text{ms}$, se necesita que $CR=1\text{ ms}$, para obtener una señal de salida con la misma amplitud que la señal de entrada. Por lo tanto si se hace $R=100\text{ k}\Omega$, se obtiene lo requerido como se muestra en la siguiente figura:

A V1_1
A V1_2

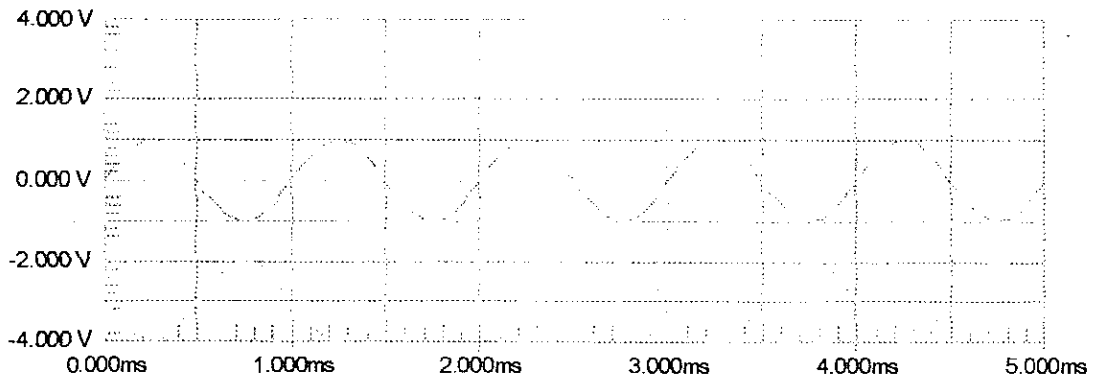


- c) El alumno sí deberá observar algunas diferencias debido a que el opamp utilizado en la simulación es un opamp ideal, no como el que el alumno utilizará para realizar la práctica.

4.

- a) A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y la de salida simultáneamente.

A V2_1
A V2_2



La señal de salida es la señal en color celeste. Con la ayuda de lo observado en la gráfica anterior se puede determinar que la función que implementa el circuito es de un sumador inversor.

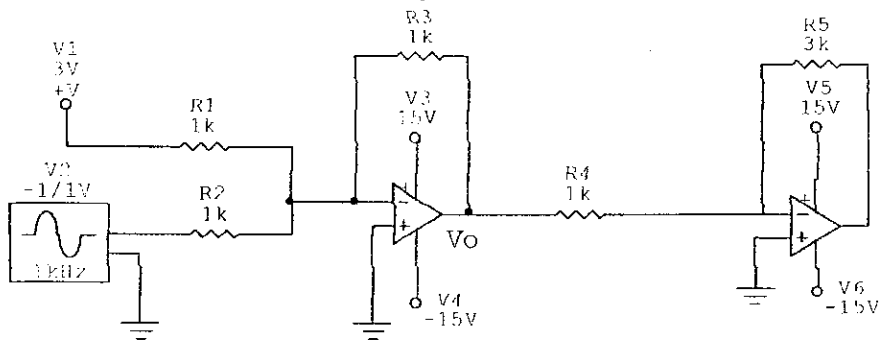
- b) En este circuito las corrientes en cada uno de los lazos de entrada están dadas por $I_1 = \frac{V_1}{R_1}$ e $I_2 = \frac{V_2}{R_2}$. Estas corrientes se suman para producir $I = I_1 + I_2$, que

circulará por la resistencia de retroalimentación R_3 . El voltaje de salida estará dado entonces por $V_o = -IR_3$, es decir $V_o = -\left(\frac{R_3}{R_1}V_1 + \frac{R_3}{R_2}V_2\right)$. Debido a que todas

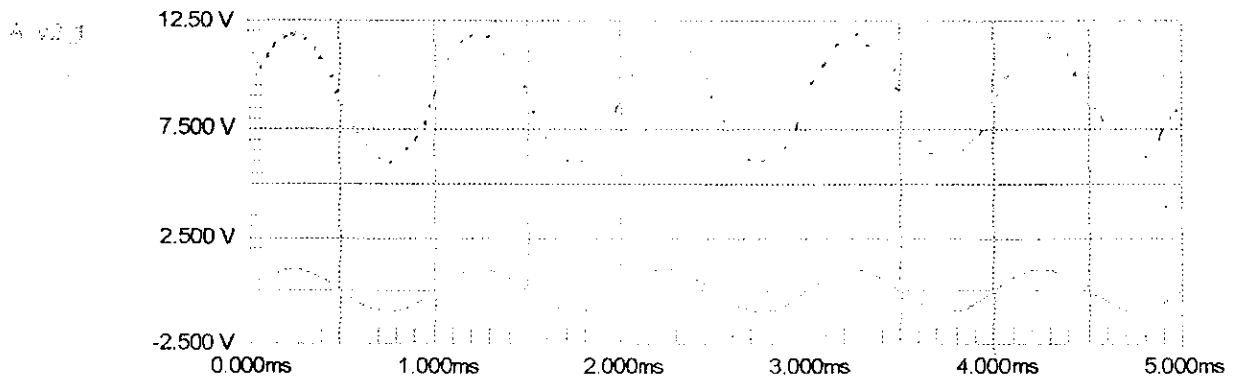
las resistencias son iguales en el caso específico del circuito en estudio y las señales de entrada son $V_1 = 3 \text{ V}$ y $V_2 = \text{sen}(t)$, se obtiene una señal de salida igual a $V_o(t) = -V_1 - V_2 = -3 - \text{sen}(t)$.

- c) El alumno sí deberá observar algunas diferencias debido a que el opamp utilizado en la simulación es un opamp ideal, no como el que el alumno utilizará para realizar la práctica.

5. A continuación se muestra el circuito que con una señal de entrada $V_i = \text{sen}(t)$, presenta como señal de salida $V_o = 3\text{sen}(t) + 9$.



En la siguiente figura se muestran las formas de onda de la señal de salida y de entrada del circuito simultáneamente.



REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- http://www.ifent.org/temas/amplificadores_operacionales.htm

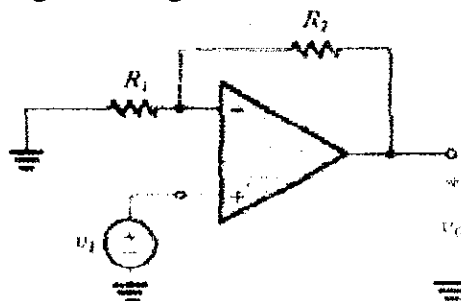
APLICACIONES DE LA CONFIGURACIÓN NO INVERSORA DE UN OPAMP PRÁCTICA #2

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir aplicaciones de la configuración no inversora del amplificador operacional como el amplificador de voltaje, el seguidor de voltaje y el sumador no inversor de voltaje.
- Analizar un circuito en donde se observe la necesidad de un seguidor de voltaje en algunos circuitos.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

La segunda configuración a circuito cerrado del opamp que se debe estudiar es la no inversora que se muestra en la siguiente figura.



En esta configuración la señal de entrada V_i se aplica directamente al terminal positivo de entrada del opamp, en tanto que un terminal R_1 se conecta a tierra.

Para el análisis del circuito no inversor se supone que el opamp es ideal con ganancia infinita, existe un cortocircuito virtual entre sus dos terminales de entrada. Entonces la señal de

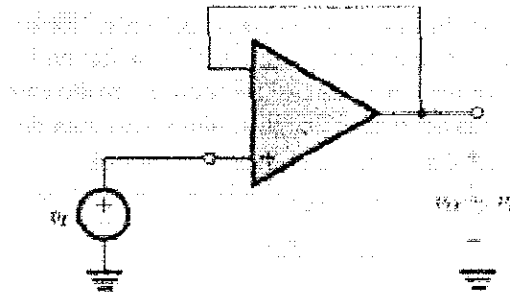
diferencia de entrada es $\frac{V_o}{A} = 0$ para $A = \infty$. De esta forma, el voltaje en el terminal de

inversión de entrada será igual al del terminal no inversor de entrada, que es el voltaje aplicado V_i . La corriente que circula por R_1 puede entonces determinarse como V_i/R_1 . Debido a la infinita impedancia de entrada del opamp, esta corriente circulará por R_2 . Entonces el

voltaje de salida se puede determinar a partir de $V_o = V_i + \left(\frac{V_i}{R_1}\right)R_2$ que produce $\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

La ganancia de la configuración no inversora es positiva y de aquí el nombre de no inversora. La impedancia de entrada de este amplificador es idealmente infinita, ya que no

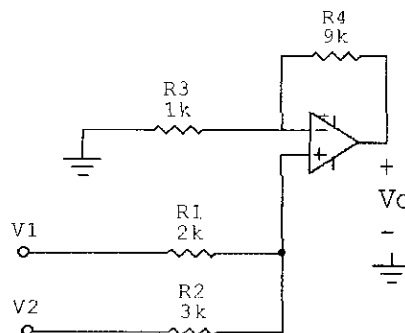
circula corriente en el terminal positivo de entrada del opamp. La salida del amplificador no inversor se toma en los terminales de la fuente ideal de voltaje que posee en la salida el opamp, y de este modo la resistencia de salida de la configuración no inversora es cero. Una de las aplicaciones más importantes de la configuración no inversora es el seguidor de voltaje, cuyo circuito se muestra en la siguiente figura.



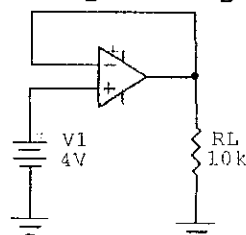
El seguidor de voltaje se utiliza debido a que su resistencia de entrada es alta (varios megaohms). Por lo tanto extrae una corriente despreciable de la fuente de señal. Es decir hace posible el uso de este circuito como amplificador unitario separador para conectar una fuente con una alta impedancia a una carga de baja impedancia.

PRE-LABORATORIO

1. Utilice el principio de superposición para hallar el voltaje de salida del circuito que se muestra en la siguiente figura.



2. Para el circuito que se muestra en la siguiente figura calcule: a) V_o ; b) I_L ; c) I_o .



DESCRIPCIÓN BREVE

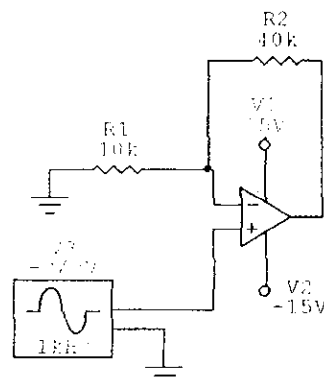
El alumno deberá construir varios circuitos para observar y entender el funcionamiento de las aplicaciones del opamp en su configuración no inversora. El primer circuito a construir es el circuito amplificador no inversor, luego deberá construir un circuito que muestra la necesidad de utilizar el seguidor de voltaje en los circuitos electrónicos, y por último el alumno deberá construir el circuito sumador no inversor y determinar su funcionamiento. En la última parte de la práctica el alumno deberá diseñar un circuito con los conocimientos obtenidos, para obtener una señal de salida requerida.

MATERIALES

- cuatro opamps que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps)
- resistencias menores de 1k Ω , 10 k Ω , 40 k Ω , y variadas
- un transistor BJT npn
- tres fuentes de voltaje independientes
- un generador de funciones
- un libro de electrónica básica

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

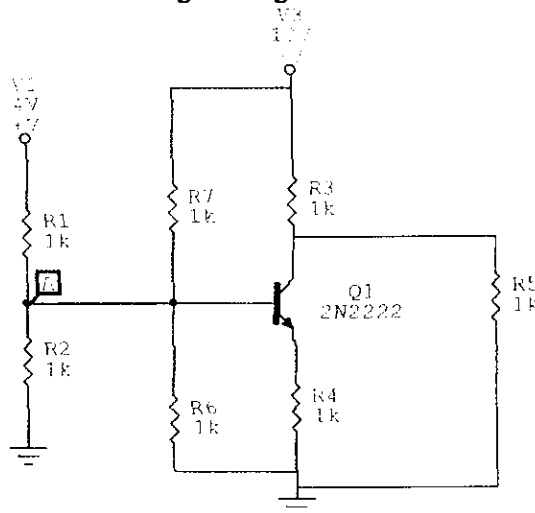
1. Observe la simulación #1 para esta práctica y compruebe que el circuito allí mostrado es un amplificador de voltaje. Posteriormente construya el siguiente circuito en su protoboard:



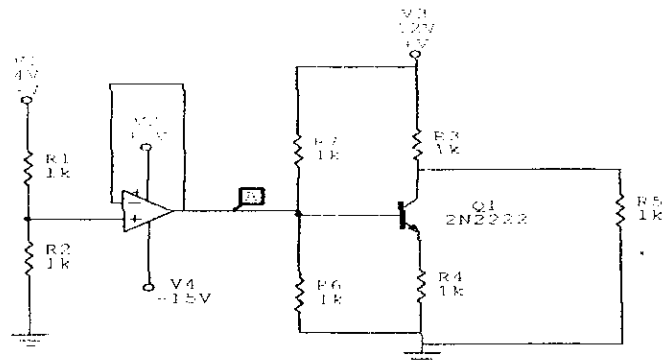
- a) Determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador y compruebe que la señal de salida no esta desfasada con respecto a la señal de entrada. ¿Por qué ocurre esto?
 - b) Calcule analíticamente la ganancia de voltaje del circuito y compare este valor con el obtenido en el inciso a. Justifique las diferencias.
2. En este ejercicio se mostrará la necesidad de un seguidor de voltaje en algunos circuitos.
 - a) Construya el siguiente divisor de voltaje en su protoboard y compruebe que en el punto A obtiene un valor de voltaje de 2 V.



- Este tipo de configuraciones se hace necesaria cuando se necesita una fuente de voltaje y todas las fuentes de voltaje disponibles están siendo utilizadas.
- b) Construya un circuito amplificador transistorizado y conéctelo al divisor de voltaje anterior, con el objetivo de que el circuito amplifique la fuente de voltaje de 2 V como se muestra en la figura siguiente.



- Vuelva a medir el voltaje en el punto A y observe que se pierde el voltaje de 2 V, por lo tanto el circuito ya no amplifica la señal requerida.
- c) Para resolver este problema construya el siguiente circuito, en el cual un seguidor de voltaje se conecta entre la fuente de 2 V y el circuito amplificador para acoplar la señal de voltaje con el circuito como se muestra en la siguiente figura.

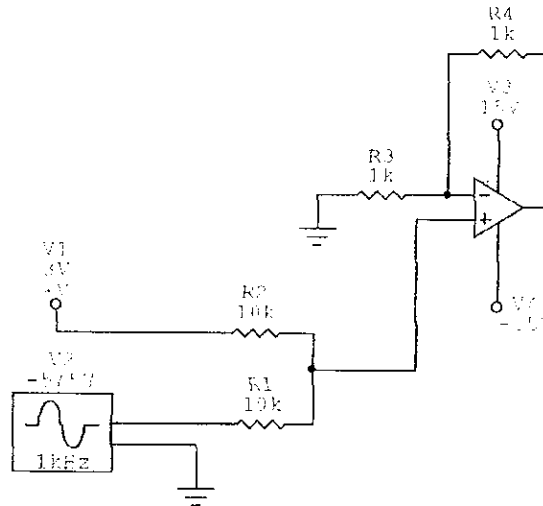


Mida el voltaje en el punto A, y compruebe que el seguidor de voltaje no permite que se pierda la señal de 2 V del divisor de voltaje, y el voltaje en la entrada del circuito amplificador es de 2 V como se requiere.

- d) Observe la simulación #2 para esta práctica y mencione si existen diferencias con lo obtenido experimentalmente.

Este ejercicio muestra que cuando se utilizan fuentes de voltaje no ideales, basta con aislar cada una de ellas con un seguidor de voltaje para convertirlas en ideales.

3. Observe la simulación #3 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- a) Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
- b) Explique analíticamente cómo funciona el circuito y obtenga una relación entre la señal de entrada en función del tiempo con la señal de salida en función del tiempo. Investigue en un libro ésta relación y compárela con la que usted halló.
- c) Rediseñe el circuito de tal manera que tenga dos señales de entrada de voltaje DC, y una señal de entrada de voltaje AC.
- d) ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
4. Diseñe un circuito con opamps en configuración no inversora, que teniendo como entrada una señal $V_i = \text{sen}(t)$, obtenga una señal de salida igual a $V_o = 3\text{sen}(t) - 4$. Luego construya el circuito y compruebe los resultados. Recuerde que los opamps se pueden colocar en cascada sin necesitar ningún tipo de acoplamiento.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- http://www.terra.es/personal2/mario_emmanuel/TECHDOCS/dt9680c.pdf

APLICACIONES DE LA CONFIGURACIÓN NO INVERSORA DE UN OPAMP

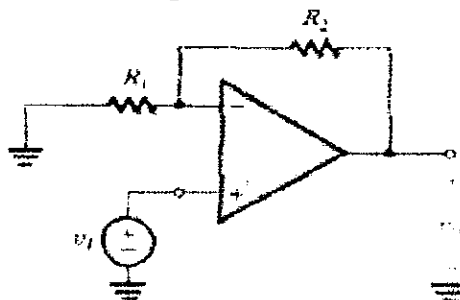
PRÁCTICA #2 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir aplicaciones de la configuración no inversora del amplificador operacional como el amplificador de voltaje, el seguidor de voltaje y el sumador no inversor de voltaje.
- Analizar un circuito en donde se observe la necesidad de un seguidor de voltaje en algunos circuitos.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

La segunda configuración a circuito cerrado del opamp que se debe estudiar es la no inversora que se muestra en la siguiente figura.



En esta configuración la señal de entrada V_i se aplica directamente al terminal positivo de entrada del opamp, en tanto que un terminal R_1 se conecta a tierra.

Para el análisis del circuito no inversor se supone que el opamp es ideal con ganancia infinita, existe un cortocircuito virtual entre sus dos terminales de entrada. Entonces la señal de

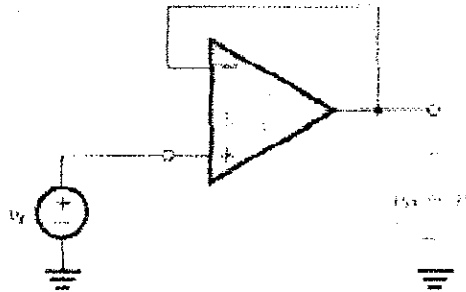
diferencia de entrada es $\frac{V_o}{A} = 0$ para $A = \infty$. De esta forma, el voltaje en el terminal de

inversión de entrada será igual al del terminal no inversor de entrada, que es el voltaje aplicado V_i . La corriente que circula por R_1 puede entonces determinarse como V_i/R_1 . Debido a la infinita impedancia de entrada del opamp, esta corriente circulará por R_2 . Entonces el

voltaje de salida se puede determinar a partir de $V_o = V_i + \left(\frac{V_i}{R_1}\right)R_2$ que produce $\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$.

La ganancia de la configuración no inversora es positiva y de aquí el nombre de no

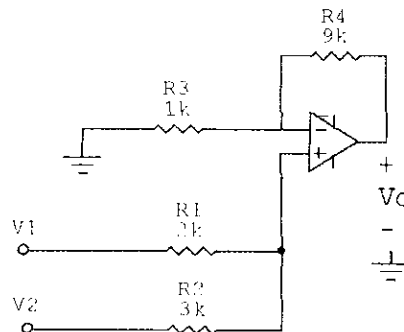
La ganancia de la configuración no inversora es positiva y de aquí el nombre de no inversora. La impedancia de entrada de este amplificador es idealmente infinita, ya que no circula corriente en el terminal positivo de entrada del opamp. La salida del amplificador no inversor se toma en los terminales de la fuente ideal de voltaje que posee en la salida el opamp, y de este modo la resistencia de salida de la configuración no inversora es cero. Una de las aplicaciones más importantes de la configuración no inversora es el seguidor de voltaje, cuyo circuito se muestra en la siguiente figura.



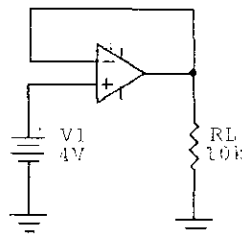
El seguidor de voltaje se utiliza debido a que su resistencia de entrada es alta (varios megaohms). Por lo tanto extrae una corriente despreciable de la fuente de señal. Es decir hace posible el uso de este circuito como amplificador unitario separador para conectar una fuente con una alta impedancia a una carga de baja impedancia.

PRE-LABORATORIO

1. Utilice el principio de superposición para hallar el voltaje de salida del circuito que se muestra en la siguiente figura.



2. Para el circuito que se muestra en la siguiente figura calcule: a) V_o ; b) I_L ; c) I_o .



RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. Utilizando el principio de superposición se hace $V_2=0$ y se obtiene

$$V_{i1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_i = 0.6V_1. \text{ Utilizando la fórmula de los antecedentes teóricos se obtiene}$$

que $V_{o1} = V_{i1} + \left(\frac{V_{i1}}{R_3}\right)R_4 = 0.6V_1 + 5.4 V_1 = 6V_1$. Ahora sí se hace $V_1=0$ se obtiene

$$V_{i2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_i = 0.4V_2. \text{ Utilizando la fórmula de los antecedentes teóricos se obtiene}$$

$V_{o2} = V_{i2} + \left(\frac{V_{i2}}{R_3}\right)R_4 = 0.4V_2 + 3.6V_2 = 4V_2$. Por lo tanto $V_o = V_{o1} + V_{o2} = 6V_1 + 4V_2$.

2. a) Por ser un seguidor de voltaje $V_o = V_1 = 4 \text{ V}$.

b) Para encontrar la corriente de carga se utiliza $I_L = \frac{V_o}{R_L} = \frac{4V}{10k\Omega} = 0.4 \text{ mA}$.

c) Para encontrar la corriente en la salida se utiliza $I_o = I + I_L$. Debido a que existe una conexión entre la salida y la entrada negativa del opamp, y ésta entrada consume una corriente despreciable, I es aproximadamente cero; por lo tanto $I_o = I_L = 0.4 \text{ mA}$.

DESCRIPCIÓN BREVE

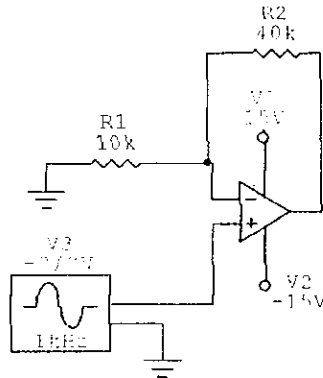
El alumno deberá construir varios circuitos para observar y entender el funcionamiento de las aplicaciones del opamp en su configuración no inversora. El primer circuito a construir es el circuito amplificador no inversor, luego deberá construir un circuito que muestra la necesidad de utilizar el seguidor de voltaje en los circuitos electrónicos, y por último el alumno deberá construir el circuito sumador no inversor y determinar su funcionamiento. En la última parte de la práctica el alumno deberá diseñar un circuito con los conocimientos obtenidos, para obtener una señal de salida requerida.

MATERIALES

- cuatro opamps que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps)
- resistencias menores de 1k Ω , 10 k Ω , 40 k Ω , y variadas
- un transistor BJT npn
- tres fuentes de voltaje independientes
- un generador de funciones
- un libro de electrónica básica

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe la simulación #1 para esta práctica y compruebe que el circuito allí mostrado es un amplificador de voltaje. Construya el siguiente circuito en su protoboard:

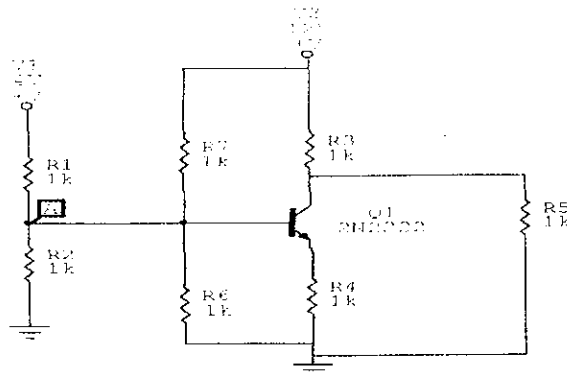


- a) Determine la ganancia de voltaje del circuito amplificador y compruebe que la señal de salida no está desfasada con respecto a la señal de entrada. ¿Por qué ocurre esto?
 - b) Calcule analíticamente la ganancia de voltaje del circuito y compare este valor con el obtenido en el inciso a. Justifique las diferencias.
2. En este ejercicio se mostrará la necesidad de un seguidor de voltaje en algunos circuitos.
- a) Construya el siguiente divisor de voltaje en su protoboard y compruebe que en el punto A obtiene un valor de voltaje de 2 V.



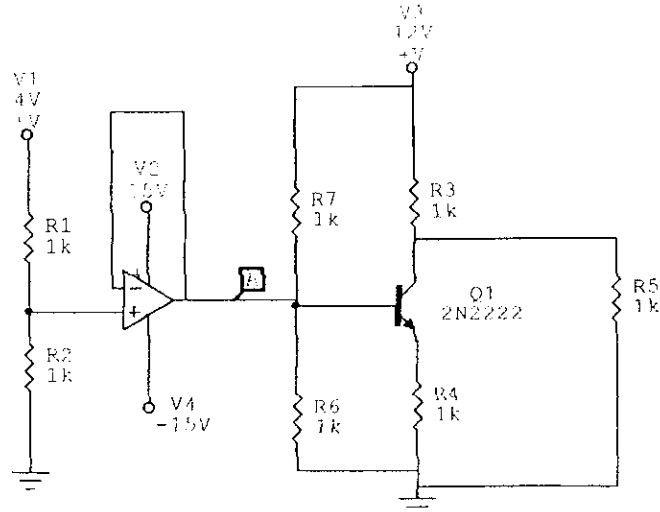
Este tipo de configuraciones se hace necesaria cuando se necesita una fuente de voltaje y todas las fuentes de voltaje disponibles están siendo utilizadas.

- b) Construya un circuito amplificador transistorizado y conéctelo al divisor de voltaje anterior, con el objetivo de que el circuito amplifique la fuente de voltaje de 2 V como se muestra en la figura siguiente.



Vuelva a medir el voltaje en el punto A y observe que se pierde el voltaje de 2 V, por lo tanto el circuito ya no amplifica la señal requerida.

- c) Para resolver este problema construya el siguiente circuito, en el cual un seguidor de voltaje se conecta entre la fuente de 2 V y el circuito amplificador para acoplar la señal de voltaje con el circuito como se muestra en la siguiente figura.

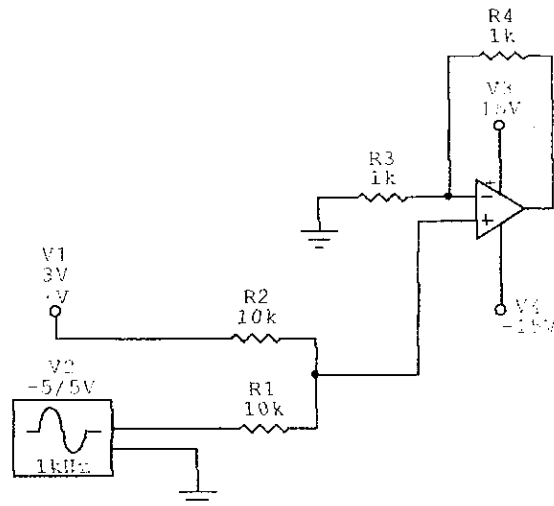


Mida el voltaje en el punto A, y compruebe que el seguidor de voltaje no permite que se pierda la señal de 2 V del divisor de voltaje, y el voltaje en la entrada del circuito amplificador es de 2 V como se requiere.

- d) Observe la simulación #2 para esta práctica y mencione si existen diferencias con lo obtenido experimentalmente.

Este ejercicio muestra que cuando se utilizan fuentes de voltaje no ideales, basta con aislar cada una de ellas con un seguidor de voltaje para convertirlas en ideales.

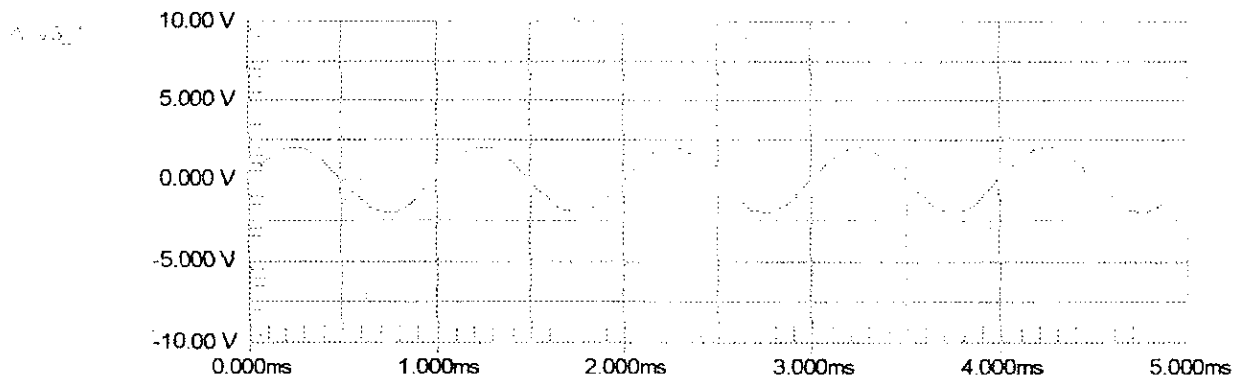
3. Observe la simulación #3 para esta práctica y posteriormente construya el circuito que se muestra en la figura siguiente.



- Observe la entrada y la salida de la señal y determine la función que implementa el circuito.
 - Explique analíticamente cómo funciona el circuito y obtenga una relación entre la señal de entrada en función del tiempo con la señal de salida en función del tiempo. Investigue en un libro ésta relación y compárela con la que usted halló.
 - Rediseñe el circuito de tal manera que tenga dos señales de entrada de voltaje DC, y una señal de entrada de voltaje AC.
 - ¿Qué diferencias observa entre la simulación y el circuito que construyó?
4. Diseñe un circuito con opamps en configuración no inversora, que teniendo como entrada una señal $V_i = \sin(t)$, obtenga una señal de salida igual a $V_o = 3\sin(t) - 4$. Luego construya el circuito y compruebe los resultados. Recuerde que los opamps se pueden colocar en cascada sin necesitar ningún tipo de acoplamiento.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

- A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida y de entrada simultáneamente, según lo obtenido en la simulación. Aquí se puede observar que el circuito se comporta como un amplificador de voltaje.



- De la gráfica anterior se puede observar que la amplitud de la señal de entrada es de 2 V, mientras que la amplitud de la señal de salida es de 10 V; por lo

tanto la ganancia de voltaje es de 5 V/V. Se observa también que la señal de salida no está desfasada con respecto a la señal de entrada, esto ocurre debido a que se está utilizando un circuito de opamp con configuración no inversora y la configuración no inversora tiene una ganancia positiva.

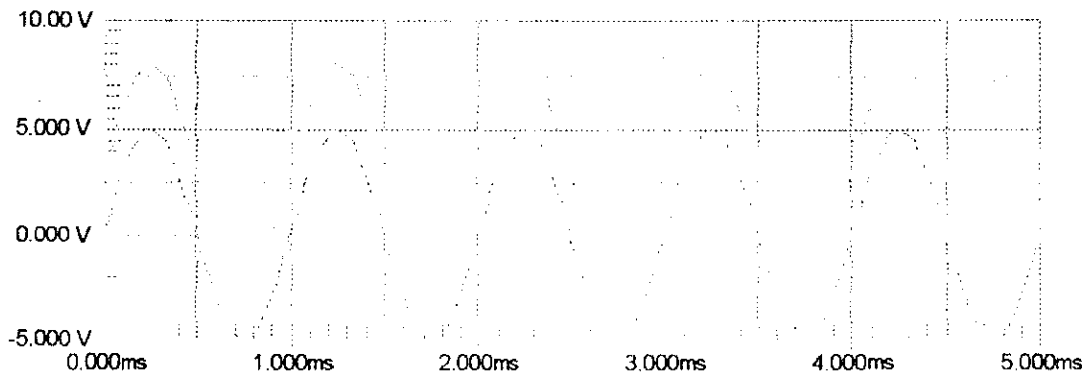
- b) Para calcular la ganancia de voltaje se utiliza la fórmula $\frac{V_O}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$, y utilizando los valores de resistencia del circuito se obtiene una ganancia de voltaje igual a 5 V/V, como se obtuvo experimentalmente en el inciso a.

2.

- a) En el simulador el valor de voltaje es de 2.000 V.
 b) El voltaje en el punto A es ahora de 3.993 V según la simulación.
 c) El voltaje en el punto A es de nuevo de 2.000 V, según la simulación y el voltaje en la salida del amplificador es de 5.312 V, por lo tanto la ganancia de voltaje es de 2.656 V/V.
 d) Sí deberían de existir diferencias en los valores de voltaje medidos, debido a que el amplificador operacional que se utilizó en la simulación es un amplificador operacional ideal.

3.

- a) A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y de salida simultáneamente.



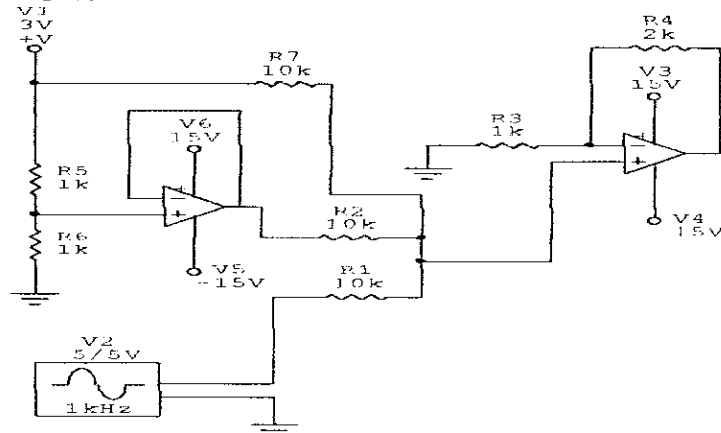
La señal de salida es la de color celeste. Como se puede observar la función que implementa el circuito es la de un sumador no inversor.

- b) El generador de funciones, la fuente de voltaje V1 y las dos resistencias de 10 k Ω , constituyen lo que se conoce como un promediador pasivo, es por esta razón que las dos resistencias deben ser iguales. La salida de este promediador se puede denominar V_i y es el promedio de las señales de entrada. La señal V_i se introduce a un amplificador no inversor, como el visto anteriormente, con una ganancia igual a la cantidad de entradas, que en este caso es 2. Por lo tanto, para este caso $V_i = \frac{V_1 + V_2}{2}$ que es el promedio de las entradas y como la ganancia es igual a 2, entonces $V_o(t) = 2V_i(t) = V_1 + V_2(t)$. Por lo tanto, el

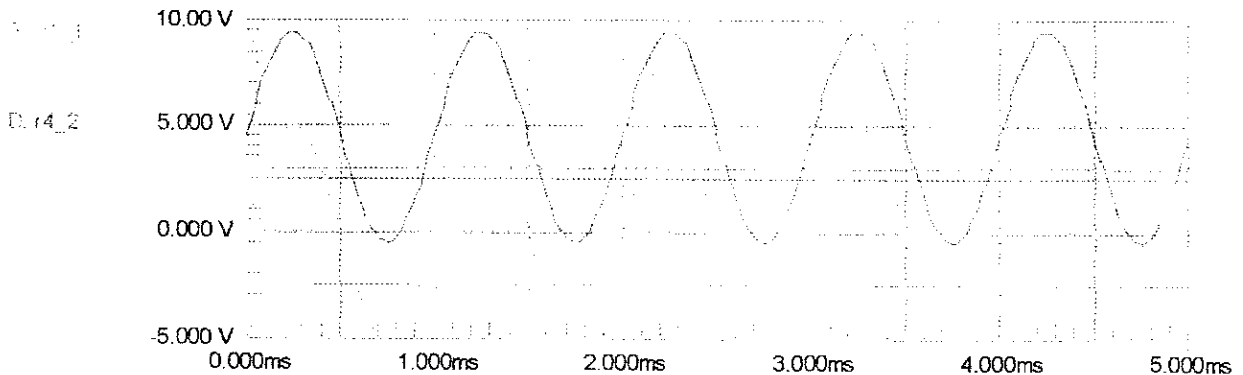
circuito es un sumador no inversor y en general $V_o = n * \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{n}$. Note

que las resistencias en el promediador deben ser iguales para las n fuentes de entrada, R es la resistencia conectada a la terminal inversora y $R(n-1)$ es el valor de la resistencia de retroalimentación.

- c) El circuito para implementar un sumador no inversor con una fuente de voltaje DC más se muestra a continuación. En este caso se utilizó un divisor de voltaje de la fuente DC de 3 V con un seguidor de voltaje para obtener una fuente DC de 1.5 V.

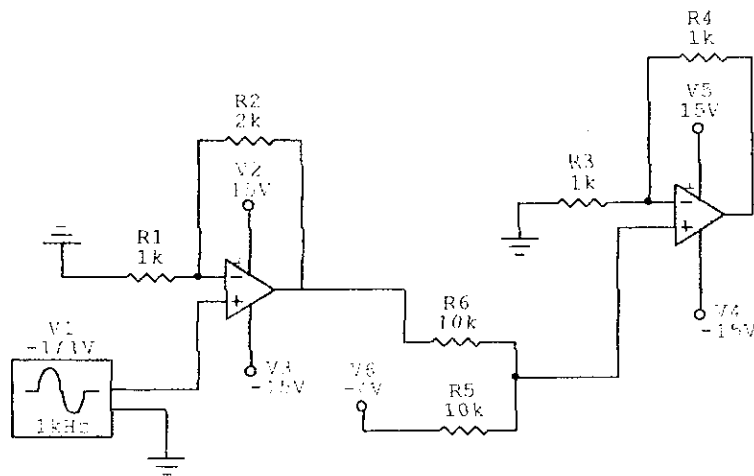


Las formas de onda de las señales de entrada y la de salida simultáneamente se muestran a continuación.

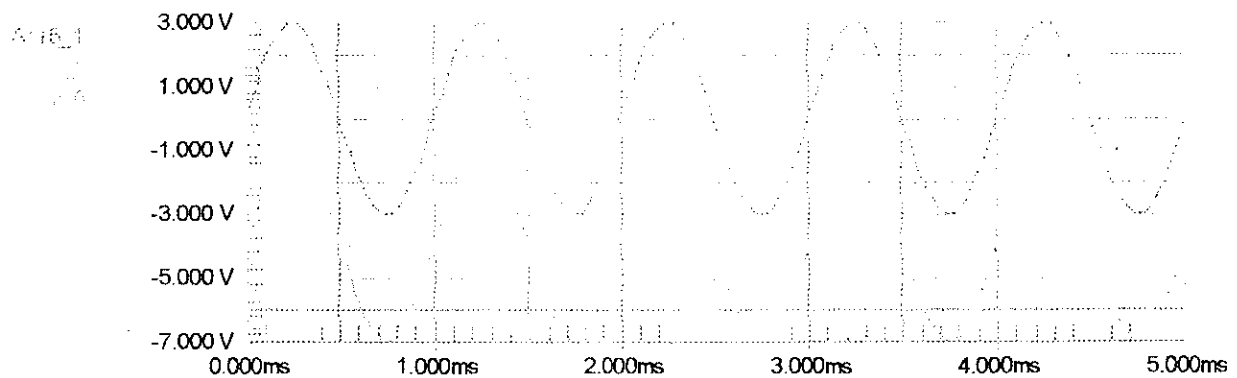


En este caso la señal de salida es la de color fucsia. Como se puede observar el circuito sí implementa la función de sumador no inversor de las tres señales de entrada.

- d) Se deberían observar diferencias con las señales obtenidas experimentalmente, debido a que el opamp utilizado en la práctica no será un opamp ideal como el de la simulación.
4. El circuito que implementa la función requerida se muestra a continuación.



Las formas de onda de las señales de entrada y las señales de salida se muestran a continuación.



En este caso la señal de salida es la de color de celeste, y como se puede observar la señal representa a la función $V_o = 3\text{sen}(t) - 4$.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- http://www.terra.es/personal2/mario_emmanuel/TECHDOCS/dt9680c.pdf

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DIFERENCIAL

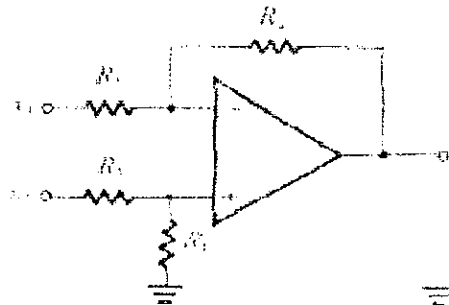
PRÁCTICA #3

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito utilizando opamps, que posea dos señales diferentes de entrada que se le indican y en la salida se obtenga la resta de las dos señales.
- Diseñar y construir un circuito, en el que sólo se le indique la señal de salida que debe obtener, ésta señal es la resta de una señal sinusoidal y un voltaje DC.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El Amplificador Diferencial: Considere el circuito que se muestra a continuación:



Si se utiliza el principio de superposición y se reduce V_2 a cero, se halla el voltaje de salida que se deberá por entero a V_1 como sigue $V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1$. Luego, si se reduce V_1 a cero, y se

evalúa el correspondiente voltaje de salida se obtiene que $V_{o2} = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$. El

principio de superposición indica que el voltaje de salida V_o es igual a la suma de V_{o1} y V_{o2} .

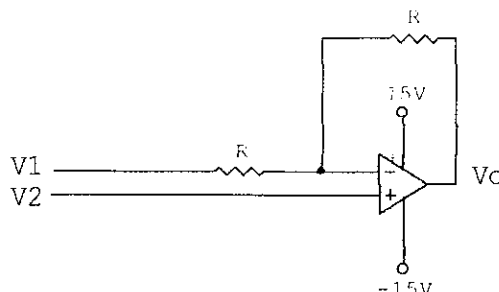
Entonces se obtiene $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + R_3 / R_4} V_2$. Ahora, para que el circuito funcione como

un amplificador de diferencia y responda en proporción a la señal de diferencia $V_2 - V_1$ y rechace señales de modo común (es decir, que produzca salida cero cuando $V_1 = V_2$), debemos hacer que cuando $V_1 = V_2$ se obtenga $V_o = 0$; este proceso lleva a la condición de

que $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$, y al sustituir esto en la ecuación obtenida para V_o anteriormente se obtiene

que $V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$ que es la salida requerida para un amplificador de diferencia con ganancia R_2/R_1 .

Otro amplificador diferencial que se utiliza con frecuencia es el que se muestra en la siguiente figura:



En este circuito la señal de entrada V_2 se aplica a la entrada no inversora del amplificador y la señal V_1 se aplica a la entrada inversora. Se hace una sobreposición para analizar este circuito. Se supone que se quita V_1 y se reemplaza por una tierra. Lo que V_2 ve es un amplificador no inversor con una ganancia de $(R+R)/R$ ó 2. Es decir, V_o será $2V_2$. Luego se reconecta V_1 y V_2 se reemplaza por tierra. V_1 ve un amplificador inversor con una ganancia de -1 . Entonces V_o es $-V_1$. Cuando V_2 y V_1 están conectados, V_o es igual a $V_o = 2V_2 - V_1$.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar dos circuitos; en el primero debe indicarse las señales de entrada que debe utilizar y la salida que debe obtener. En el segundo sólo se indicará la señal de salida a obtener. Para la construcción de cada circuito el alumno deberá utilizar cualquiera de las configuraciones de amplificadores diferenciales mostradas en los antecedentes teóricos.

MATERIALES

- dos opamps UA 741 que se alimenten con $+15\text{ V}$ y -15 V . (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- resistencias de $1\text{k}\Omega$, y $10\text{k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un circuito que tenga como entradas $V_1 = \sin(t)$ y $V_2 = 5\text{ V}$ y obtenga como salida $V_o = \sin(t) - 5\text{ V}$. Construya el circuito que diseñó en su protoboard y compruebe los resultados. Utilice sólo las dos fuentes de voltaje que alimentan al opamp y el amplificador diferencial mostrado en los antecedentes teóricos.
2. Diseñe un circuito amplificador diferencial, utilizando dos entradas y en el cual se obtenga como salida $V_o = 2\sin t - 1\text{ V}$. Utilice sólo las dos fuentes de voltaje que alimentan al opamp.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

EL AMPLIFICADOR OPERACIONAL DIFERENCIAL

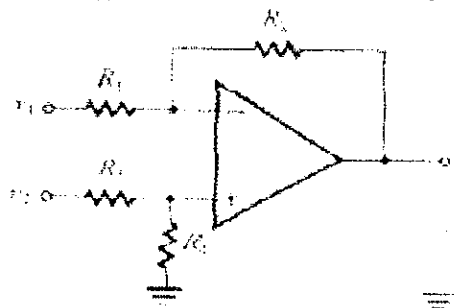
PRÁCTICA #3 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir un circuito utilizando opamps, que posea dos señales diferentes de entrada que se le indican y en la salida se obtenga la resta de las dos señales.
- Diseñar y construir un circuito, en el que sólo se le indique la señal de salida que debe obtener, ésta señal es la resta de una señal sinusoidal y un voltaje DC.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

El Amplificador Diferencial: Considere el circuito que se muestra a continuación:



Si se utiliza el principio de superposición y se reduce V_2 a cero, se halla el voltaje de salida que se deberá por entero a V_1 como sigue $V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} V_1$. Luego, si se reduce V_1 a cero, y se

evalúa el correspondiente voltaje de salida se obtiene que $V_{o2} = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$. El

principio de superposición indica que el voltaje de salida V_o es igual a la suma de V_{o1} y V_{o2} .

Entonces se obtiene $V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_1 + \frac{1 + R_2 / R_1}{1 + R_3 / R_4} V_2$. Ahora, para que el circuito funcione como

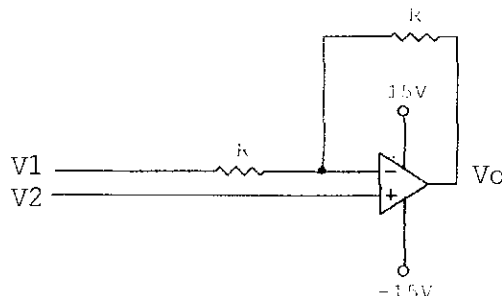
un amplificador de diferencia y responda en proporción a la señal de diferencia $V_2 - V_1$ y rechace señales de modo común (es decir, que produzca salida cero cuando $V_1 = V_2$), debemos hacer que cuando $V_1 = V_2$ se obtenga $V_o = 0$; este proceso lleva a la condición de

que $\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}$, y al sustituir esto en la

ecuación obtenida para V_o anteriormente se

que $V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$ que es la salida requerida para un amplificador de diferencia con ganancia R_2/R_1 .

Otro amplificador diferencial que se utiliza con frecuencia es el que se muestra en la siguiente figura:



En este circuito la señal de entrada V_2 se aplica a la entrada no inversora del amplificador y la señal V_1 se aplica a la entrada inversora. Se hace una sobreposición para analizar este circuito. Se supone que se quita V_1 y se reemplaza por una tierra. Lo que V_2 ve es un amplificador no inversor con una ganancia de $(R+R)/R$ ó 2. Es decir, V_o será $2V_2$. Luego se reconecta V_1 y V_2 se reemplaza por tierra. V_1 ve un amplificador inversor con una ganancia de -1 . Entonces V_o es $-V_1$. Cuando V_2 y V_1 están conectados, V_o es igual a $V_o = 2V_2 - V_1$.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar dos circuitos; en el primero debe indicarse las señales de entrada que debe utilizar y la salida que debe obtener. En el segundo sólo se indicará la señal de salida a obtener. Para la construcción de cada circuito el alumno deberá utilizar cualquiera de las configuraciones de amplificadores diferenciales mostradas en los antecedentes teóricos.

MATERIALES

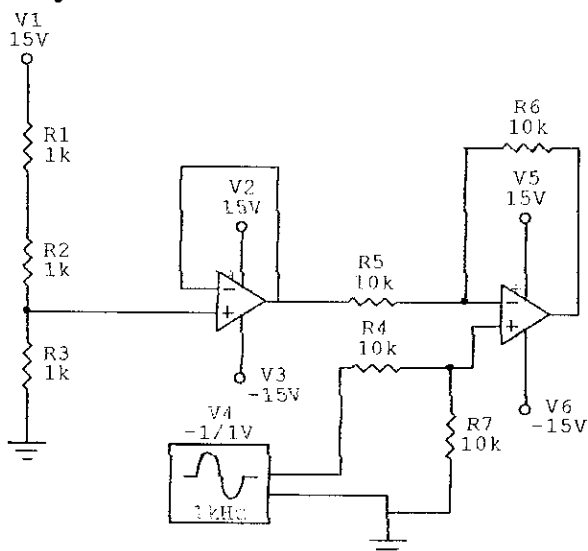
- dos opamps UA 741 que se alimenten con $+15\text{ V}$ y -15 V . (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- resistencias de $1\text{k}\Omega$, y $10\text{k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

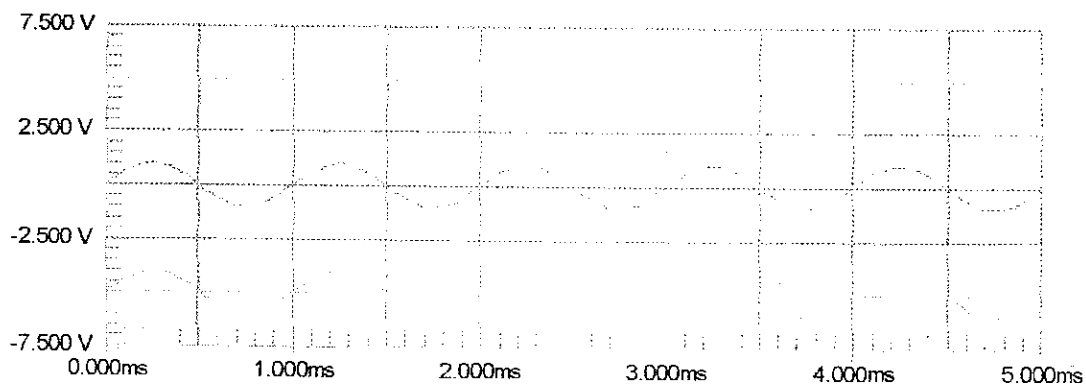
1. Diseñe un circuito que tenga como entradas $V_1 = \text{sen}(t)$ y $V_2 = 5\text{ V}$ y obtenga como salida $V_o = \text{sen}(t) - 5\text{ V}$. Construya el circuito que diseñó en su protoboard y compruebe los resultados. Utilice sólo las dos fuentes de voltaje que alimentan al opamp y el amplificador diferencial mostrado en los antecedentes teóricos.
2. Diseñe un circuito amplificador diferencial, utilizando dos entradas y en el cual se obtenga como salida $V_o = 2\text{sen}(t) - 1\text{ V}$. Utilice sólo las dos fuentes de voltaje que alimentan al opamp.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

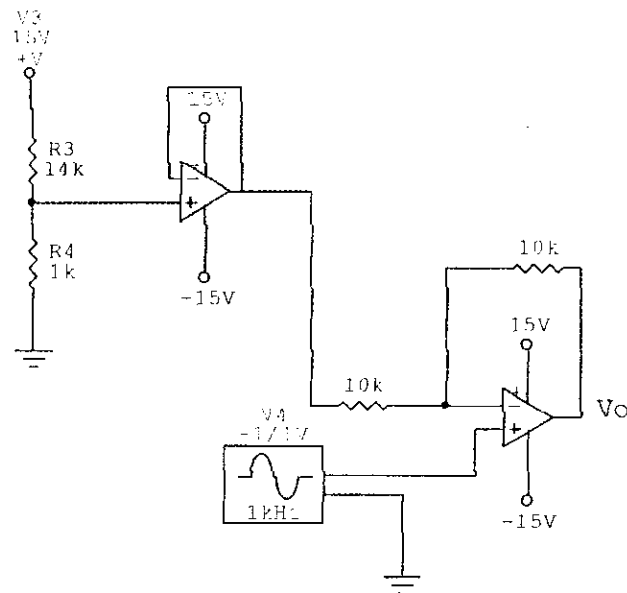
1. A continuación se muestra el circuito que resuelve el problema propuesto, utilizando sólo dos fuentes de voltaje.



En la siguiente figura se muestran las formas de onda de las señales de entrada y la señal de salida (en color celeste), donde se comprueba que la salida es $V(t) = \sin(t) - 5V$.



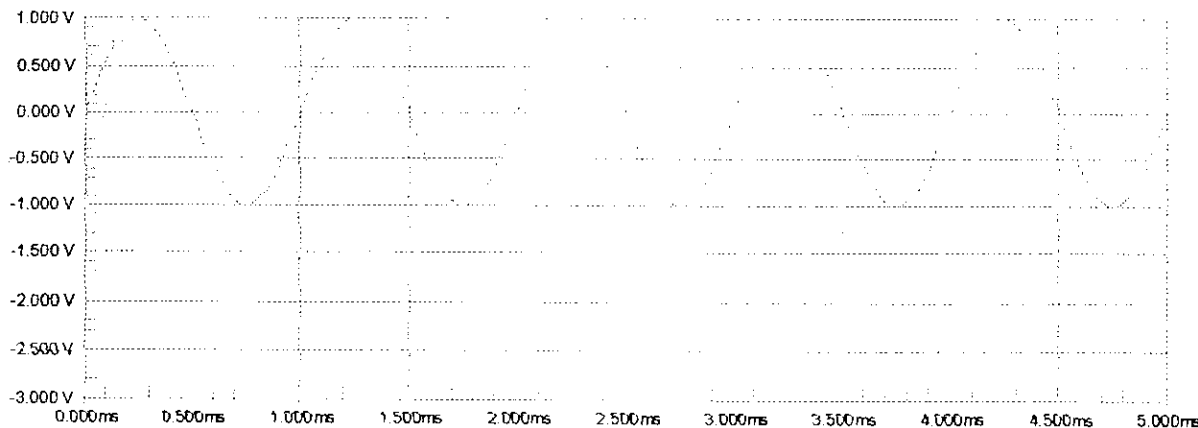
2. El diseño del circuito se muestra a continuación:



Se debe notar que para utilizar sólo una fuente de voltaje se utilizó un seguidor con opamp para un divisor de voltaje, proporcionando 1 V DC.

A continuación se muestran las formas de onda de la señal de salida $V_o = 2\text{sen}t - 1\text{V}$.

Fig. 4.1



En este gráfico la señal de salida está en color amarillo; se puede observar que efectivamente la señal de salida tiene el doble de amplitud que la señal de entrada y está centrada en -1V .

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- http://www.terra.es/personal2/mario_emmanuel/TECHDOCS/dt9680c.pdf

CIRCUITOS COMPARADORES

PRÁCTICA #4

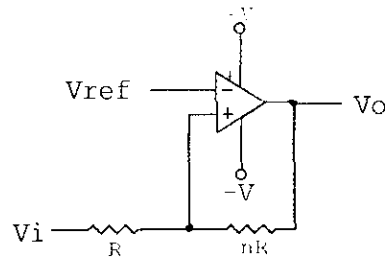
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las técnicas de diseño de comparadores de nivel de voltaje con histéresis.
- Diseñar y construir circuitos comparadores de nivel de voltaje con histéresis inversores y no inversores utilizando opamps del tipo UA741 o LM348N.
- Observar la ventana de un circuito comparador de nivel de voltaje con opamps, utilizando la función del osciloscopio para ver la señal de salida y de entrada en la forma x-y.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un comparador analiza una señal de voltaje en una entrada, con el voltaje de referencia presente en la otra entrada. Los amplificadores operacionales son muy utilizados en este tipo de aplicaciones. Por desgracia, el voltaje de salida del amplificador operacional no cambia con mucha velocidad. Además, su salida se modifica dentro de los límites fijados por los voltajes de saturación, $+V_{sat}$ y $-V_{sat}$, los cuales están comprendidos entre ± 13 V. Para el propósito de estas aplicaciones el amplificador operacional no funciona adecuadamente si hay ruido en cualquier entrada. El método para resolver este problema de ruido se encuentra agregando una retroalimentación positiva, al detector que posee ésta característica se le conoce como detector con histéresis. Hay que tomar en cuenta que la retroalimentación positiva no elimina el ruido, sino que logra que el amplificador operacional responda menos a él.

Detectores de nivel de voltaje con histéresis (Schmitt Trigger): En los detectores sencillos el voltaje de histéresis está centrado en el voltaje de referencia cero. También es deseable contar con un conjunto de circuitos que presenten histéresis alrededor de un voltaje central que sea positivo o negativo, por ejemplo, en una aplicación en la que se necesite una salida positiva, V_o , cuando una entrada V_i asciende a un voltaje de umbral superior de $V_{UT}=12$ V. También podría darse el caso de que V_o pase a negativo, cuando V_i desciende a un voltaje de umbral más bajo, como por ejemplo cuando $V_{LT}=8$ V. El voltaje de histéresis V_H se evalúa por medio de la ecuación siguiente: $V_H = V_{UT} - V_{LT}$. Este voltaje de histéresis V_H debe centrarse en el promedio entre V_{UT} y V_{LT} . Este promedio se denomina voltaje central V_{ctr} , en donde $V_{ctr} = \frac{V_{UT} - V_{LT}}{2}$. A continuación se muestra un circuito de un detector no inversor de nivel de voltaje con histéresis.



Los voltajes de umbral superior e inferior pueden determinarse a partir de las siguientes ecuaciones: $V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{-V_{sat}}{n}$; $V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{+V_{sat}}{n}$. El voltaje de histéresis V_H se expresa de la siguiente manera: $V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n}$. El voltaje central se encuentra mediante la ecuación: $V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$. También se puede construir un

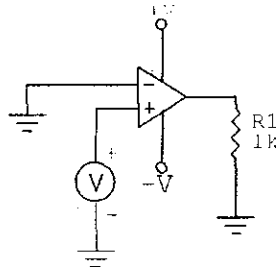
detector inversor de nivel de voltaje con histéresis si se intercambian V_i y V_{ref} en el circuito que se muestra en la figura de arriba. Las expresiones correspondientes para V_{UT} y V_{LT} son:

$$V_{UT} = \frac{n}{n+1} V_{ref} + \frac{+V_{sat}}{n+1} \quad \text{y} \quad V_{LT} = \frac{n}{n+1} (V_{ref}) + \frac{-V_{sat}}{n+1}; \quad V_{ctr} \quad \text{y} \quad V_H \quad \text{son por lo tanto:}$$

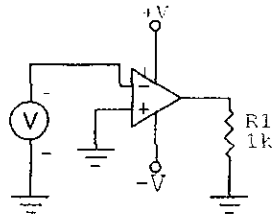
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = \left(\frac{n}{n+1}\right) V_{ref} \quad \text{y} \quad V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n+1}.$$

PRE-LABORATORIO

1. Considere el circuito que se muestra a continuación y describa el funcionamiento del circuito comparador. Note que la fuente de voltaje V es una fuente de voltaje AC.



2. Considere el circuito que se muestra a continuación y describa el funcionamiento del circuito comparador. Note que la fuente de voltaje V es una fuente de voltaje AC.



DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir dos circuitos comparadores para analizar su comportamiento y así determinar la función de comparación que realizan. Posteriormente, el alumno deberá diseñar, con ayuda de lo expuesto en los antecedentes teóricos, tres circuitos detectores de nivel de voltaje con histéresis, luego deberá construirlos en su protoboard para comprobar que se alcanzan los requerimientos indicados del diseño.

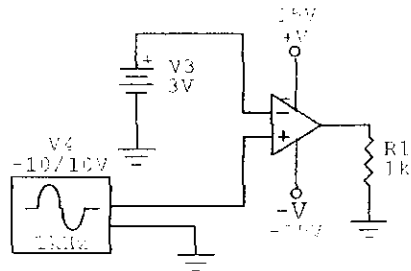
MATERIALES

- cuatro opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- dos baterías de 3 V cada una
- dos transistores BJT tipo npn
- resistencias de 1k Ω y variadas según lo requieran los diseños

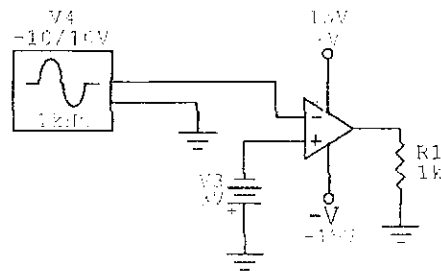
PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe las simulaciones #1 y #2 para esta práctica. Construya en su protoboard los siguientes dos circuitos. Determine la función que realizan cada uno de estos circuitos observando y analizando las señales de entrada y salida de cada circuito. Por último describa las diferencias de los resultados experimentales con lo observado en las simulaciones.

a)



b)



2. Diseñe y construya un circuito que tenga como entrada una señal sinusoidal de amplitud de 15 V, y obtenga como salida $+V_{sat} = 13$ V, cuando la señal de entrada sea mayor que 12 V; y obtenga como salida $-V_{sat} = -13$ V, cuando la señal de entrada sea menor que 8 V.

3. Realice los siguientes cambios en las mediciones del circuito diseñado en el inciso anterior: coloque el osciloscopio para medir una señal en modo x-y. Coloque en el eje x la señal de entrada y en el eje y la señal de salida para observar la ventana de comparación del circuito. Realice los cambios necesarios en el circuito para lograr que esta ventana pueda variarse.
4. Diseñe y construya un circuito que tenga como entrada una señal sinusoidal de amplitud de 15 V, y obtenga como salida $-V_{sat} = -13$ V, cuando la señal de entrada sea mayor que 12 V; y obtenga como salida $+V_{sat} = 13$ V, cuando la señal de entrada sea menor que 8 V.
5. Realice los siguientes cambios en las mediciones del circuito diseñado en el inciso anterior: coloque el osciloscopio para medir una señal en modo x-y. Coloque en el eje x la señal de entrada y en el eje y la señal de salida para observar la ventana de comparación del circuito. Realice los cambios necesarios en el circuito para lograr que esta ventana pueda variarse.
6. Los circuitos integrados de lógica TTL deben recibir una señal de voltaje de 5 V para detectar la señal como un uno lógico, y deben recibir una señal de voltaje de 0 V para detectar la señal como un cero lógico. Diseñe un circuito con el cual se pueda conectar la salida del comparador diseñado en el inciso 2, con un integrado TTL, de manera que cuando la salida del comparador sea $+V_{sat}$, el circuito entregue al integrado una señal de 5 V, y cuando la salida del comparador sea $-V_{sat}$, el circuito entregue al integrado una señal de 0 V.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- <http://eureka.ya.com/elektron/tutoriales/Ao2.htm>

CIRCUITOS COMPARADORES

PRÁCTICA #4 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

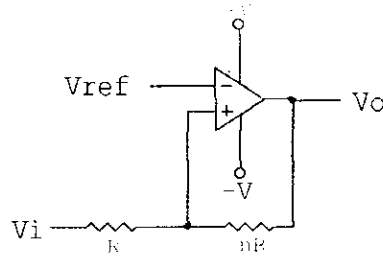
- Identificar las técnicas de diseño de comparadores de nivel de voltaje con histéresis.
- Diseñar y construir circuitos comparadores de nivel de voltaje con histéresis inversores y no inversores utilizando opamps del tipo UA741 o LM348N.
- Observar la ventana de un circuito comparador de nivel de voltaje con opamps, utilizando la función del osciloscopio para ver la señal de salida y de entrada en la forma x-y.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Un comparador analiza una señal de voltaje en una entrada, con el voltaje de referencia presente en la otra entrada. Los amplificadores operacionales son muy utilizados en este tipo de aplicaciones. Por desgracia, el voltaje de salida del amplificador operacional no cambia con mucha velocidad. Además, su salida se modifica dentro de los límites fijados por los voltajes de saturación, $+V_{sat}$ y $-V_{sat}$, los cuales están comprendidos entre ± 13 V. Para el propósito de estas aplicaciones el amplificador operacional no funciona adecuadamente si hay ruido en cualquier entrada. El método para resolver este problema de ruido se encuentra agregando una retroalimentación positiva, al detector que posee ésta característica se le conoce como detector con histéresis. Hay que tomar en cuenta que la retroalimentación positiva no elimina el ruido, sino que logra que el amplificador operacional responda menos a él.

Detectores de nivel de voltaje con histéresis (Schmitt Trigger): En los detectores sencillos el voltaje de histéresis está centrado en el voltaje de referencia cero. También es deseable contar con un conjunto de circuitos que presenten histéresis alrededor de un voltaje central que sea positivo o negativo, por ejemplo, en una aplicación en la que se necesite una salida positiva, V_o , cuando una entrada V_i asciende a un voltaje de umbral superior de $V_{UT}=12$ V. También podría darse el caso de que V_o pase a negativo, cuando V_i desciende a un voltaje de umbral más bajo, como por ejemplo cuando $V_{LT}=8$ V. El voltaje de histéresis V_H se evalúa por medio de la ecuación siguiente: $V_H = V_{UT} - V_{LT}$. Este voltaje de histéresis V_H debe centrarse en el promedio entre V_{UT} y V_{LT} . Este promedio se denomina voltaje central V_{ctr} , en donde $V_{ctr} = \frac{V_{UT} - V_{LT}}{2}$. A continuación se muestra un circuito de un

voltaje central V_{ctr} , en donde $V_{ctr} = \frac{V_{UT} - V_{LT}}{2}$. A continuación se muestra un circuito de un detector no inversor de nivel de voltaje con histéresis.



Los voltajes de umbral superior e inferior pueden determinarse a partir de las siguientes ecuaciones: $V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{-V_{sat}}{n}$; $V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{+V_{sat}}{n}$. El voltaje de histéresis V_H se expresa de la siguiente manera: $V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n}$. El voltaje central se encuentra mediante la ecuación: $V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right)$. También se puede construir un

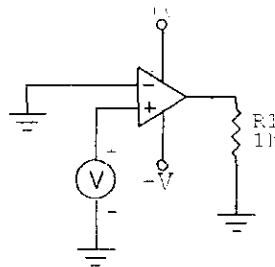
detector inversor de nivel de voltaje con histéresis si se intercambian V_i y V_{ref} en el circuito que se muestra en la figura de arriba. Las expresiones correspondientes para V_{UT} y V_{LT} son:

$$V_{UT} = \frac{n}{n+1} V_{ref} + \frac{+V_{sat}}{n+1}; \text{ y } V_{LT} = \frac{n}{n+1} (V_i) + \frac{-V_{sat}}{n+1}; \text{ } V_{ctr} \text{ y } V_H \text{ son por lo tanto:}$$

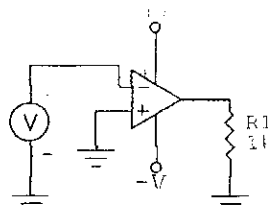
$$V_{ctr} = \frac{V_{UT} + V_{LT}}{2} = \left(\frac{n}{n+1}\right) V_{ref} \text{ y } V_H = V_{UT} - V_{LT} = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{n+1}.$$

PRE-LABORATORIO

1. Considere el circuito que se muestra a continuación y describa el funcionamiento del circuito comparador. Note que la fuente de voltaje V es una fuente de voltaje AC.



2. Considere el circuito que se muestra a continuación y describa el funcionamiento del circuito comparador. Note que la fuente de voltaje V es una fuente de voltaje AC.



RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. El amplificador operacional de la figura funciona como comparador. Cuando el valor de la fuente de voltaje conectada a la entrada positiva del opamp es mayor que el voltaje de referencia conectado a la entrada negativa del opamp, que para este caso es igual a 0 V, entonces el voltaje de salida en la resistencia de carga es igual a $+V_{sat}$ del opamp. Esto se debe a que el voltaje en la entrada positiva del opamp es más positivo que el voltaje en la entrada negativa del opamp. De esta manera cuando el valor de la fuente de voltaje sea menor que el voltaje de referencia, es decir, negativo; el voltaje de salida en la resistencia de carga será igual a $-V_{sat}$. El circuito de la figura es entonces un detector no inversor de cruce por cero.
2. En este caso la entrada negativa el amplificador operacional de la figura compara el valor de la fuente de voltaje con un voltaje de referencia de 0 V. Por lo tanto, si el valor de la fuente de voltaje está por encima de 0 V, el voltaje de salida es igual a $-V_{sat}$, en el caso contrario cuando el valor de la fuente está por debajo de 0 V, el voltaje de salida es igual a $+V_{sat}$. Por lo tanto, el circuito de la figura es un detector inversor de cruce por cero.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir dos circuitos comparadores para analizar su comportamiento y así determinar la función de comparación que realizan. Posteriormente, el alumno deberá diseñar, con ayuda de lo expuesto en los antecedentes teóricos, tres circuitos detectores de nivel de voltaje con histéresis, luego deberá construirlos en su protoboard para comprobar que se alcanzan los requerimientos indicados del diseño.

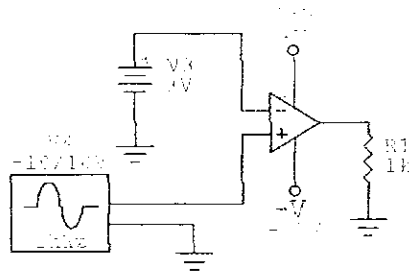
MATERIALES

- cuatro opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- dos baterías de 3 V cada una
- dos transistores BJT tipo npn
- resistencias de $1k\Omega$ y variadas según lo requieran los diseños

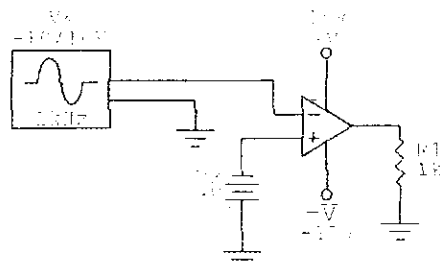
PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Observe las simulaciones #1 y #2 para esta práctica. Construya en su protoboard los siguientes dos circuitos. Determine la función que realizan cada uno de estos circuitos observando y analizando las señales de entrada y salida de cada circuito. Por último describa las diferencias de los resultados experimentales con lo observado en las simulaciones.

a)



b)

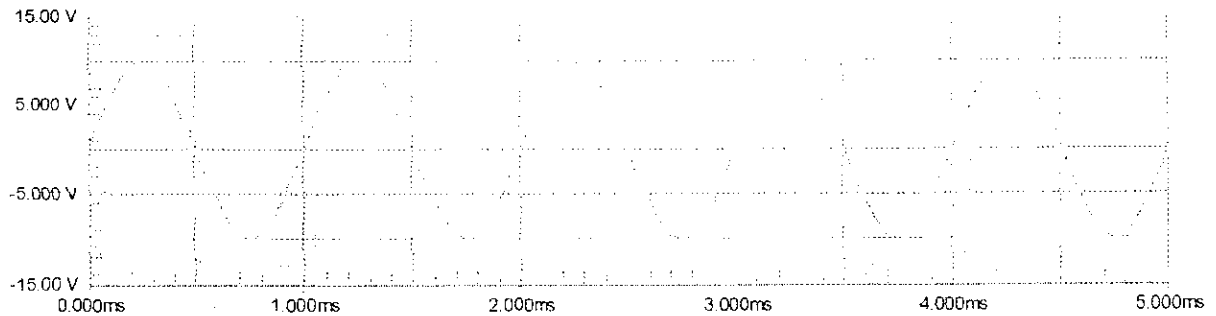


2. Diseñe y construya un circuito que tenga como entrada una señal sinusoidal de amplitud de 15 V, y obtenga como salida $+V_{sat} = 13$ V, cuando la señal de entrada sea mayor que 12 V; y obtenga como salida $-V_{sat} = -13$ V, cuando la señal de entrada sea menor que 8 V.
3. Realice los siguientes cambios en las mediciones del circuito diseñado en el inciso anterior: coloque el osciloscopio para medir una señal en modo x-y. Coloque en el eje x la señal de entrada y en el eje y la señal de salida para observar la ventana de comparación del circuito. Realice los cambios necesarios en el circuito para lograr que esta ventana pueda variarse.
4. Diseñe y construya un circuito que tenga como entrada una señal sinusoidal de amplitud de 15 V, y obtenga como salida $-V_{sat} = -13$ V, cuando la señal de entrada sea mayor que 12 V; y obtenga como salida $+V_{sat} = 13$ V, cuando la señal de entrada sea menor que 8 V.
5. Realice los siguientes cambios en las mediciones del circuito diseñado en el inciso anterior: coloque el osciloscopio para medir una señal en modo x-y. Coloque en el eje x la señal de entrada y en el eje y la señal de salida para observar la ventana de comparación del circuito. Realice los cambios necesarios en el circuito para lograr que esta ventana pueda variarse.
6. Los circuitos integrados de lógica TTL deben recibir una señal de voltaje de 5 V para detectar la señal como un uno lógico, y deben recibir una señal de voltaje de 0 V para detectar la señal como un cero lógico. Diseñe un circuito con el cual se pueda conectar la salida del comparador diseñado en el inciso 2, con un integrado TTL, de manera que cuando la salida del comparador sea $+V_{sat}$, el circuito entregue al integrado una señal

de 5 V, y cuando la salida del comparador sea $-V_{sat}$, el circuito entregue al integrado una señal de 0 V.

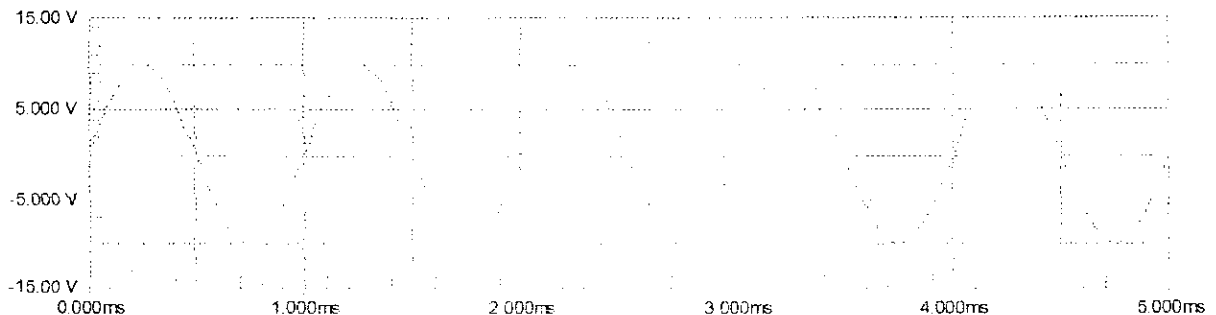
RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. A continuación se muestran las formas de onda para las señales de entrada y salida del circuito del inciso a.



En esta gráfica la salida es la señal en color celeste. Se puede observar que el opamp está conectado como un comparador para registrar el voltaje positivo, debido a que si la señal de entrada AC está por encima del voltaje de referencia de 3 V, la señal de salida es igual a $+V_{sat}$. Por lo tanto el circuito es un detector no inversor de nivel positivo.

A continuación se muestran las formas de onda para las señales de entrada y salida del circuito del inciso b.



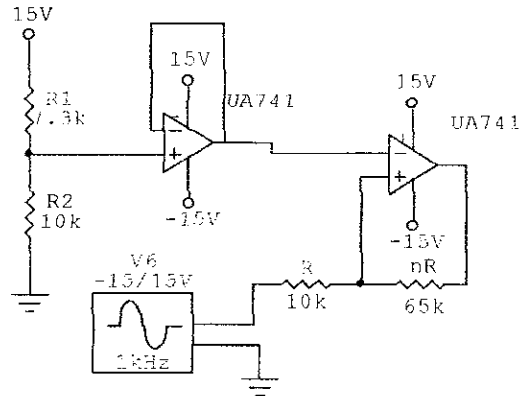
En esta gráfica la salida es la señal en color celeste. Se observa en la gráfica que el circuito detecta cuando la señal de entrada cruza hacia el voltaje negativo de referencia -3 V. Cuando el voltaje de entrada es mayor que -3 V, la señal de salida es igual a $-V_{sat}$ y cuando la el voltaje de entrada es menor que -3 V, la señal de salida es igual a $+V_{sat}$. Por lo tanto, el circuito es un detector inversor de nivel negativo. El alumno debe notar, en ambos casos, que existe un pequeño retardo de respuesta en la señal de salida del opamp.

2. Según las ecuaciones expresadas en los antecedentes teóricos, se realiza el diseño del circuito. $V_H = 12V - 8V = 4V$ y $V_{cr} = \frac{12V - 8V}{2} = 10$ V. Luego, se calcula n a partir de la

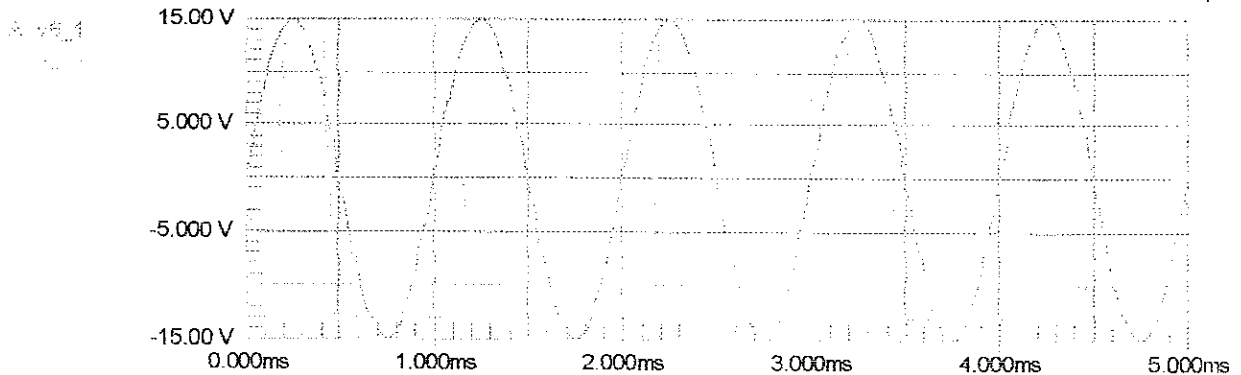
siguiente ecuación $n = \frac{+V_{sat} - (-V_{sat})}{V_H} = \frac{13V + 13V}{4} = 6.5$. Por último se calcula V_{ref} a

partir de la ecuación $V_{ref} = \frac{V_{ctr}}{1 + 1/n} = \frac{10V}{1 + 1/6.5} = 8.67V$. Entonces si se define $R = 10k\Omega$,

$nR = 65k\Omega$, y el circuito se construye de la siguiente manera:



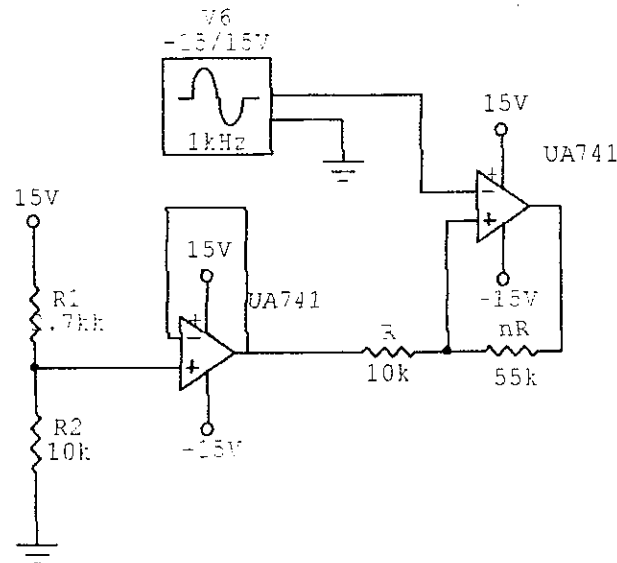
A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y salida del circuito que muestran que se cumple con los requerimientos del diseño.



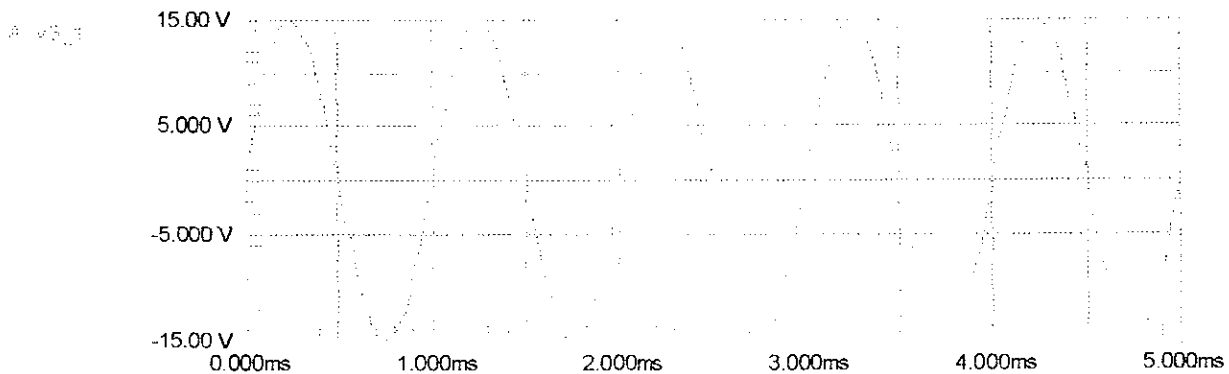
3. Al observar las señales de entrada y de salida en el osciloscopio en modo x-y, se podrá ver una ventana de ancho de cuatro voltios, entre 8 V y 12 V centrada en 10 V, con los valores máximos en el eje y de +13 V y -13 V, que es el voltaje de saturación del opamp. Si se desea variar el ancho de la ventana se debe colocar un potenciómetro en la resistencia nR adecuado, ya que este variará los valores de V_{UT} y V_{LT} que están definidos como $V_{UT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{-V_{sat}}{n}$; y $V_{LT} = V_{ref} \left(1 + \frac{1}{n}\right) - \frac{+V_{sat}}{n}$.

4. Para el diseño del circuito se toman en cuenta las ecuaciones de los antecedentes teóricos, por lo tanto $V_H = 4V$ y $V_{ctr} = 10V$. Entonces se calcula n a partir de la ecuación $n = \frac{(+V_{sat}) - (-V_{sat})}{V_H} - 1 = \frac{13V + 13V}{4V} - 1 = 5.5$; y se calcula V_{ref} a partir de la ecuación

$V_{ref} = \frac{n+1}{n} V_{ctr} = \frac{5.5+1}{5.5} * 10 = 11.82 \text{ V}$. Si se define $R = 10 \text{ k}\Omega$, $nR = 55 \text{ k}\Omega$; y el circuito se construye de la siguiente manera.



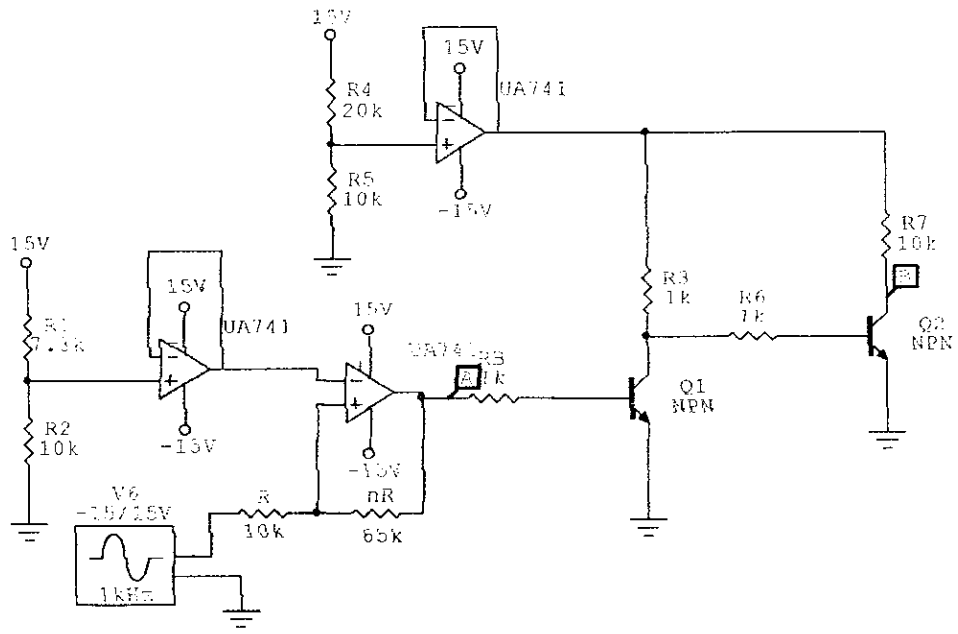
A continuación se muestran las formas de onda de la señal de entrada y salida del circuito que muestran que se cumple con los requerimientos del diseño.



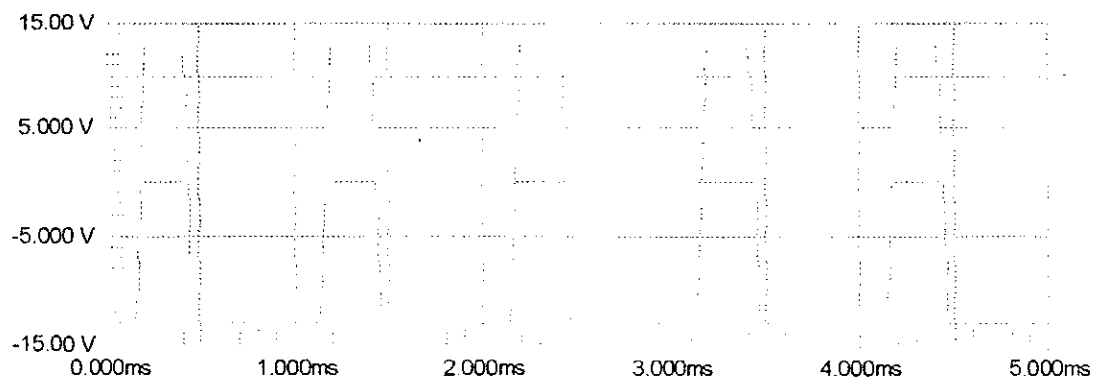
5. Al observar las señales de entrada y de salida en el osciloscopio en modo x-y, se podrá ver una ventana de ancho de cuatro voltios, entre 8 V y 12 V centrada en 10 V, con los valores máximos en el eje y de +13 V y -13 V, que es el voltaje de saturación del opamp. Si se desea variar el ancho de la ventana se debe colocar un potenciómetro en la resistencia nR adecuado, ya que este variará los valores de V_{UT} y V_{LT} que están

$$\text{definidos como } V_{UT} = \frac{n}{n+1} V_{ref} + \frac{+V_{sat}}{n+1}; \text{ y } V_{LT} = \frac{n}{n+1} (V_{ref}) + \frac{-V_{sat}}{n+1}.$$

6. A continuación se muestra el circuito y las formas de onda de la señal de entrada y de la de salida del circuito que resuelve el problema, en él se incorporan dos transistores funcionando como interruptor y como inversor lógico.



A 02,5



REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- <http://eureka.ya.com/elektron/tutoriales/Ao2.htm>

EFFECTO DE LA FRECUENCIA EN UN CIRCUITO AMPLIFICADOR

PRÁCTICA #5

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el ancho de banda para diferentes circuitos amplificadores con opamps y encontrar experimentalmente el ancho de banda de un circuito amplificador con opamps.
- Construir circuitos amplificadores con opamps y medir su amplificación a diferentes frecuencias.
- Elaborar una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia con los datos obtenidos de amplificación a diferentes frecuencias, para observar la respuesta en frecuencia del opamp.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Tanto los amplificadores operacionales de propósito general, como los especializados están compensados internamente; es decir, el fabricante ha instalado dentro de dichos dispositivos un pequeño capacitor, generalmente de 30 pF. Este capacitor de compensación interna de frecuencia impide que el amplificador operacional oscile a altas frecuencias. Las oscilaciones se evitan disminuyendo la ganancia del amplificador operacional conforme aumenta la frecuencia.

El intervalo de frecuencia útil de cualquier amplificador (en lazo cerrado o abierto) se define como el límite de alta frecuencia F_H y el límite de baja frecuencia, F_L . En F_L y F_H , la ganancia de voltaje baja a 0.707 veces su valor máximo en la mitad del intervalo de frecuencia útil. El ancho de banda para pequeña señal es la diferencia entre F_H y F_L . A menudo F_L es cero para un amplificador DC, por lo tanto el ancho de banda es casi igual al límite de alta frecuencia F_H . Los amplificadores inversores y no inversores se construyen exactamente con la misma estructura, con base en lo anterior la frecuencia de corte superior, F_H , de los amplificadores inversores y no inversores está dada por la expresión: $F_H =$

$$\frac{B}{(R_f + R_i) / R_i},$$
 en donde B es el ancho de banda del amplificador operacional, R_f es la

resistencia de retroalimentación y R_i es la resistencia de entrada del circuito amplificador. Para cualquier opamp dado, cuanto menor sea la ganancia necesaria a circuito cerrado, mayor será el ancho de banda alcanzado.

PRE-LABORATORIO

1. Calcule la ganancia y el ancho de banda de un seguidor de voltaje.
2. Calcule la ganancia de voltaje en las frecuencias F_L y F_H para un circuito que tiene una ganancia de voltaje de media banda de 100 V/V.

DESCRIPCIÓN BREVE

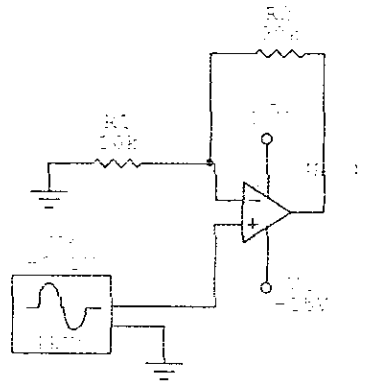
En la práctica se muestra al alumno un procedimiento para calcular el ancho de banda de un opamp experimentalmente, el cual deberá probar y comparar con los datos dados por el fabricante del opamp. Luego, el alumno deberá construir varios circuitos amplificadores con diferentes características para observar las limitantes en frecuencia que posee el opamp utilizado por el alumno.

MATERIALES

- un opamp
- resistencias de 90 k Ω , 10 k Ω y variadas
- hoja de datos del fabricante del opamp que utilizará

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Calcule el ancho de banda B de su opamp mediante el siguiente procedimiento:
 - a) Construya en su protoboard el siguiente circuito:



- b) Mida el voltaje de salida del circuito amplificador.
- c) Calcule la ganancia del circuito amplificador.
- d) Calcule el valor esperado de voltaje de salida del circuito para F_L y F_H .
- e) Observe la simulación #1 para esta práctica.
- f) Con ayuda del osciloscopio y manteniendo constante la magnitud de la señal producida por el generador de funciones, reduzca la frecuencia del generador de funciones hasta obtener el voltaje de salida que calculó para F_L . Mencione las diferencias con lo que observó en la simulación.
- g) Observe la simulación #2 para esta práctica.

- h) Con ayuda del osciloscopio y manteniendo constante la magnitud de la señal producida por el generador de funciones, aumente la frecuencia del generador de funciones hasta obtener el voltaje de salida que calculó para F_H . Mencione las diferencias con lo que observó en la simulación.
- i) Calcule el ancho de banda B con los valores que encontró experimentalmente de F_L y F_H , a partir de $B = F_H - F_L$.
- j) Compare este valor con el valor de B de la hoja de datos del opamp que utilizó.
- 2.
- a) Construya un circuito amplificador que tenga una ganancia de 1 V/V y haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de voltaje con una señal de entrada sinusoidal a frecuencias de 1kHz, 10kHz, 15kHz, 20kHz, 100kHz y 1MHz. Con los datos obtenidos realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del opamp para un diseño de ganancia de 1 V/V.
- b) Haga lo mismo que en el inciso a, pero ahora diseñe el circuito amplificador para que tenga una ganancia de 10 V/V.
- c) Haga lo mismo que en el inciso b, pero ahora diseñe el circuito amplificador para que tenga una ganancia de 100 V/V.
- d) Calcule la frecuencia de corte del opamp para cada uno de los tres incisos anteriores, con los datos que obtuvo experimentalmente.
- e) ¿Qué puede concluir de los resultados obtenidos en el inciso d?

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.tpub.com/neets/book8/32f.htm>

EFFECTO DE LA FRECUENCIA EN UN CIRCUITO AMPLIFICADOR

PRÁCTICA #5 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Calcular el ancho de banda para diferentes circuitos amplificadores con opamps y encuentre experimentalmente el ancho de banda de un circuito amplificador con opamps.
- Construir circuitos amplificadores con opamps y medir su amplificación a diferentes frecuencias.
- Elaborar una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia con los datos obtenidos de amplificación a diferentes frecuencias, para observar la respuesta en frecuencia del opamp.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Tanto los amplificadores operacionales de propósito general, como los especializados están compensados internamente; es decir, el fabricante ha instalado dentro de dichos dispositivos un pequeño capacitor, generalmente de 30 pF. Este capacitor de compensación interna de frecuencia impide que el amplificador operacional oscile a altas frecuencias. Las oscilaciones se evitan disminuyendo la ganancia del amplificador operacional conforme aumenta la frecuencia.

El intervalo de frecuencia útil de cualquier amplificador (en lazo cerrado o abierto) se define como el límite de alta frecuencia F_H y el límite de baja frecuencia, F_L . En F_L y F_H , la ganancia de voltaje baja a 0.707 veces su valor máximo en la mitad del intervalo de frecuencia útil. El ancho de banda para pequeña señal es la diferencia entre F_H y F_L . A menudo F_L es cero para un amplificador DC, por lo tanto el ancho de banda es casi igual al límite de alta frecuencia F_H . Los amplificadores inversores y no inversores se construyen exactamente con la misma estructura, con base en lo anterior la frecuencia de corte superior, F_H , de los amplificadores inversores y no inversores está dada por la expresión: $F_H =$

$$\frac{B}{(R_f + R_i) / R_i}$$

en donde B es el ancho de banda del amplificador operacional, R_f es la

resistencia de retroalimentación y R_i es la resistencia de entrada del circuito amplificador. Para cualquier opamp dado, cuanto menor sea la ganancia necesaria a circuito cerrado, mayor será el ancho de banda alcanzado.

PRE-LABORATORIO

1. Calcule la ganancia y el ancho de banda de un seguidor de voltaje.
2. Calcule la ganancia de voltaje en las frecuencias F_L y F_H para un circuito que tiene una ganancia de voltaje de media banda de 100 V/V.

RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. El seguidor de voltaje por sus características cuenta con una ganancia de 1. Por lo tanto, la frecuencia de corte superior, F_H , se calcula a partir de la ecuación siguiente

$$F_H = \frac{1 \cdot 10^6 \text{ Hz}}{(R_f + R_i) / R_i} = \frac{10^6 \text{ Hz}}{1} = 1 \text{ MHz} = \text{ancho de banda.}$$

2. Como la ganancia a media banda del circuito es de 100 V/V. La ganancia de voltaje para las frecuencias F_L y F_H , es igual a $100 \cdot 0.707 = 70.7 \text{ V/V}$.

DESCRIPCIÓN BREVE

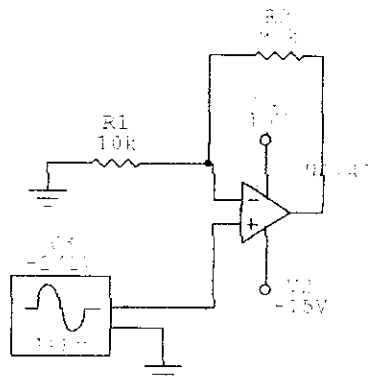
En la práctica se muestra al alumno un procedimiento para calcular el ancho de banda de un opamp experimentalmente, el cual deberá probar y comparar con los datos dados por el fabricante del opamp. Luego, el alumno deberá construir varios circuitos amplificadores con diferentes características para observar las limitantes en frecuencia que posee el opamp utilizado por el alumno.

MATERIALES

- un opamp
- resistencias de 90 k Ω , 10 k Ω y variadas
- hoja de datos del fabricante del opamp que utilizará

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Calcule el ancho de banda B de su opamp mediante el siguiente procedimiento:
 - a) Construya en su protoboard el siguiente circuito:



- b) Mida el voltaje de salida del circuito amplificador.

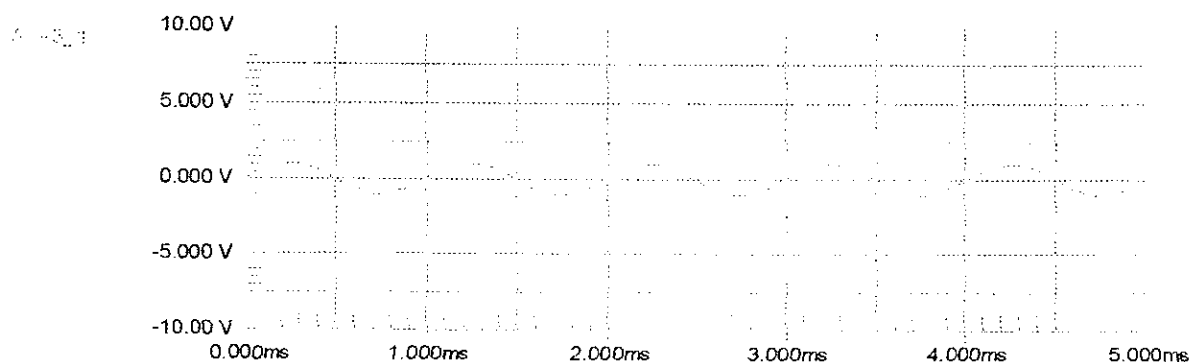
- c) Calcule la ganancia del circuito amplificador.
- d) Calcule el valor esperado de voltaje de salida del circuito para F_L y F_H .
- e) Observe la simulación #1 para esta práctica.
- f) Con ayuda del osciloscopio y manteniendo constante la magnitud de la señal producida por el generador de funciones, reduzca la frecuencia del generador de funciones hasta obtener el voltaje de salida que calculó para F_L . Mencione las diferencias con lo que observó en la simulación.
- g) Observe la simulación #2 para esta práctica.
- h) Con ayuda del osciloscopio y manteniendo constante la magnitud de la señal producida por el generador de funciones, aumente la frecuencia del generador de funciones hasta obtener el voltaje de salida que calculó para F_H . Mencione las diferencias con lo que observó en la simulación.
- i) Calcule el ancho de banda B con los valores que encontró experimentalmente de F_L y F_H , a partir de $B = F_H - F_L$.
- j) Compare este valor con el valor de B de la hoja de datos del opamp que utilizó.

2.

- a) Construya un circuito amplificador que tenga una ganancia de 1 V/V y haga las mediciones correspondientes para calcular la ganancia de voltaje con una señal de entrada sinusoidal a frecuencias de 1kHz, 10kHz, 15kHz, 20kHz, 100kHz y 1MHz. Con los datos obtenidos realice una gráfica de ganancia de voltaje vrs. frecuencia para observar la respuesta en frecuencia del opamp para un diseño de ganancia de 1 V/V.
- b) Haga lo mismo que en el inciso a, pero ahora diseñe el circuito amplificador para que tenga una ganancia de 10 V/V.
- c) Haga lo mismo que en el inciso b, pero ahora diseñe el circuito amplificador para que tenga una ganancia de 100 V/V.
- d) Calcule la frecuencia de corte del opamp para cada uno de los tres incisos anteriores, con los datos que obtuvo experimentalmente.
- e) ¿Qué puede concluir de los resultados obtenidos en el inciso d?

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. b) A continuación se muestran las formas de onda de las señales de salida y de entrada del circuito.



Como se observa la señal de salida del circuito (señal en color amarillo) tiene una amplitud de 10 V.

c) La ganancia del circuito amplificador es de $10 \text{ V}/1 \text{ V} = 10 \text{ V/V}$.

d) El valor esperado de voltaje de salida para las frecuencias F_L y F_H es igual a $V_o = 10 * 0.707 = 7.07 \text{ V}$.

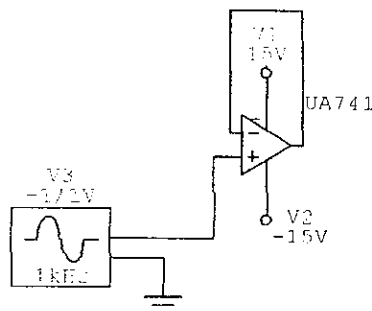
f) El alumno deberá observar que la amplitud de la señal de voltaje de salida no disminuye cuando se decrementa la frecuencia del generador de funciones, sino que es hasta llegar a una frecuencia de 0 Hz en donde la señal sufre un fuerte cambio y baja hasta casi 0 V de amplitud. Por lo tanto se asume que la frecuencia $F_L = 0$. En la simulación se podrá observar que cuando la frecuencia del generador de funciones es de 0 Hz, la señal todavía tiene una pequeña amplitud de aproximadamente 1.3 V.

h) El alumno deberá observar que se obtiene una amplitud de señal de salida de 7.07 V cuando la frecuencia del generador se incrementa hasta aproximadamente 16.5 kHz. Por lo tanto se puede definir que $F_H = 16.5 \text{ kHz}$. El alumno deberá observar diferencias en el comportamiento de la simulación con respecto a los resultados que obtuvo experimentalmente si utilizó un opamp diferente al empleado en la simulación (el 741), de lo contrario el alumno no deberá observar ninguna diferencia.

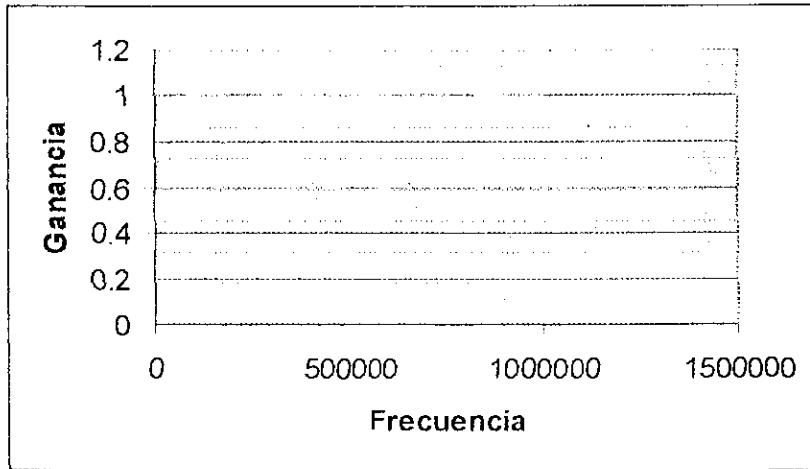
i) Entonces, el ancho de banda es igual a $B = 16.5 \text{ kHz} - 0 \text{ Hz} = 16.5 \text{ kHz}$. Con este resultado se comprueba que regularmente en los amplificadores operacionales $B = F_H$.

j) El ancho de banda de la hoja de datos del opamp UA741, que ha utilizado en la simulación, muestra que es igual a 437 kHz, se puede observar que este dato dista mucho del encontrado en el inciso anterior. Es posible que esto se deba a que el ancho de banda indicado en la hoja de datos es para un amplificador con ganancia unitaria, aunque esto no se especifica en la hoja de datos.

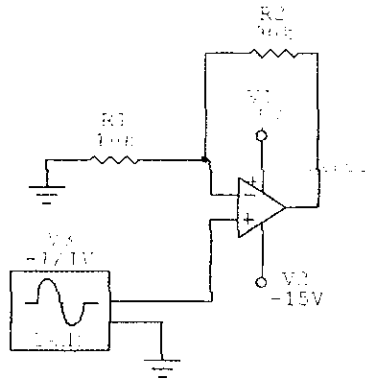
2. a) A continuación se muestra el circuito amplificador, la tabla con los datos de frecuencia y ganancia, y la gráfica correspondiente para el circuito con ganancia de 1 V/V.



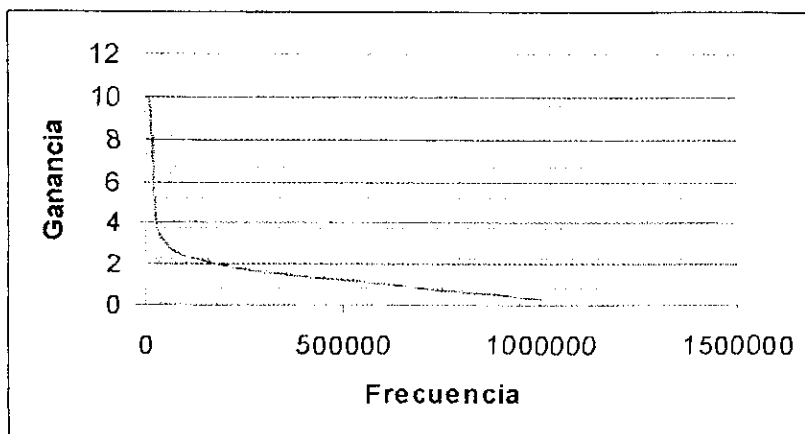
Frecuencia	Ganancia
1 kHz	1
10 kHz	1
15 kHz	1
20 kHz	1
100 kHz	1
1 MHz	1



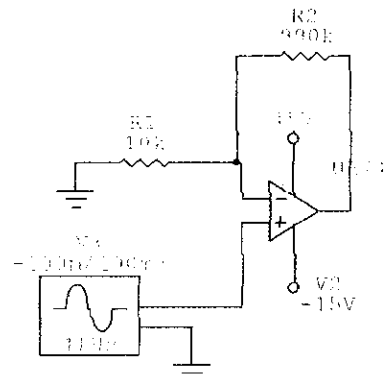
b) A continuación se muestra el circuito amplificador, la tabla con los datos de frecuencia y ganancia, y la gráfica correspondiente para el circuito con ganancia de 10V/V.



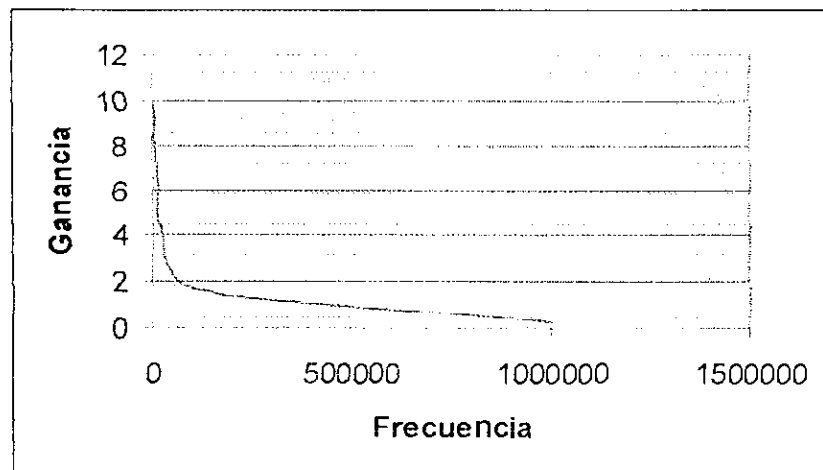
Frecuencia	Ganancia
1 kHz	10
10 kHz	10
15 kHz	8.45
20 kHz	6.6
100 kHz	2.4
1 MHz	0.24



c) A continuación se muestra el circuito amplificador, la tabla con los datos de frecuencia y ganancia, y la gráfica correspondiente para el circuito con ganancia de 100V/V.



Frecuencia	Ganancia
1 kHz	10
10 kHz	7.05
15 kHz	5.37
20 kHz	4.34
100 kHz	1.64
1 MHz	0.23



d) Como se mencionó anteriormente la frecuencia de corte se encuentra hallando la frecuencia a la cual la ganancia de voltaje disminuye 0.707 veces que la original. Tomando esto en cuenta para el inciso a no existe tal frecuencia de corte, para el inciso b la frecuencia de corte está aproximadamente en 18 kHz y para el inciso c la frecuencia de corte se encuentra aproximadamente en 10 kHz.

e) Del inciso anterior se puede concluir que cuanto menor sea la ganancia necesaria a un circuito cerrado, mayor será el ancho de banda en el cual el opamp amplificará correctamente.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.
- <http://www.tpub.com/neets/book8/32f.htm>

FILTROS ACTIVOS: PASA ALTOS Y PASA BAJOS
PRÁCTICA #6

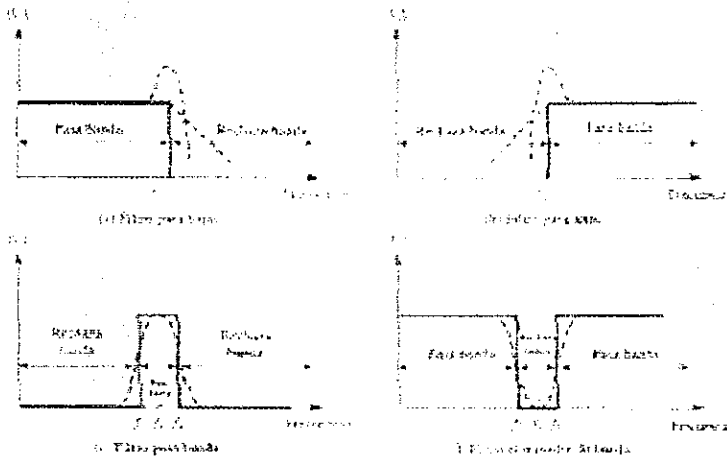
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir filtros pasa bajos y pasa altos de tipo Butterworth y de tipo Chebyshev.
- Elaborar gráficas para analizar la respuesta en frecuencia y hacer comparaciones entre los diferentes tipos de filtros.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencias mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. Existen filtros activos y pasivos. Los filtros pasivos sólo tienen resistencias, inductores y capacitores. En los filtros activos se utilizan transistores o amplificadores operacionales además de resistencias, inductores y capacitores. Los inductores no se emplean mucho en los filtros activos pues son voluminosos, caros y a veces tienen componentes resistivas de elevada magnitud.

Existen cuatro tipos de filtros: pasa bajos, pasa altos, pasa bandas y de rechazo de banda. En la siguiente figura se muestran las gráficas de la respuesta en frecuencia ideal de estos filtros.

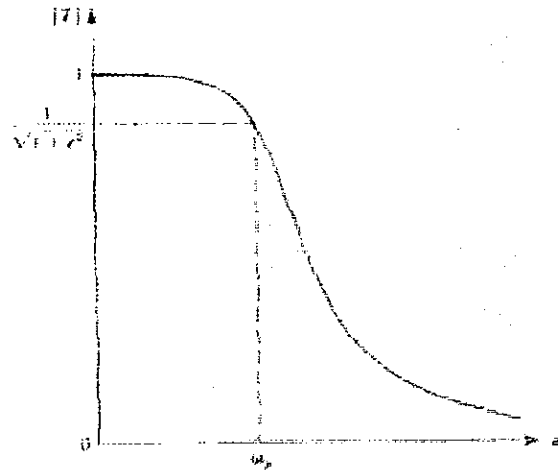


El rango de frecuencias transmitidas se conoce como pasabanda. El rango de frecuencias atenuadas se conoce como banda de rechazo. La frecuencia de corte, f_c , se

conoce también como frecuencia 0.707, frecuencia de -3 dB, frecuencia de esquina o frecuencia de ruptura.

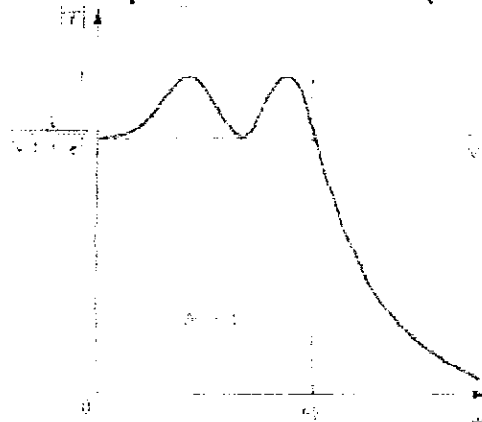
Los filtros son parte fundamental de los circuitos electrónicos y se utilizan en aplicaciones que van desde los circuitos de audio hasta los sistemas de procesamiento de señales digitales.

Filtro Butterworth: En diversas aplicaciones de los filtros se necesita que la ganancia en lazo cerrado se aproxime lo más posible a 1 dentro de la banda de paso. Para este tipo de aplicación lo mejor es el filtro Butterworth. A este tipo de filtro también se le conoce como *filtro máximamente plano* o *plano-plano*. A continuación se muestra una figura de la respuesta en frecuencia de este tipo de filtro.



Al igual que todos los demás filtros, pueden obtenerse filtros Butterworth de diferentes órdenes, conforme el orden va aumentando las atenuaciones del filtro se van volviendo más pronunciadas y el filtro se acerca más al filtro ideal.

Filtro Chebyshev: El filtro Chebyshev exhibe una respuesta igualmente ondulada en la banda pasante y una transmisión monótonamente decreciente en la banda suprimida. En la siguiente figura se observa que en estos filtros se producen espurios con valores máximos y mínimos. El número total de máximos y mínimos de banda pasante es igual al orden del filtro.



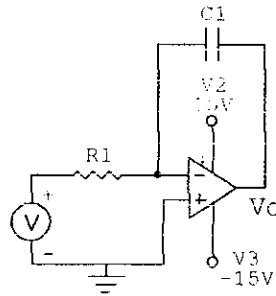
El filtro Chebyshev produce una aproximación más eficiente que el filtro Butterworth. Entonces para el mismo orden, y la misma ganancia máxima, el filtro Chebyshev produce mayor atenuación de banda suprimida que el filtro Butterworth. Alternativamente, para

satisfacer especificaciones idénticas, se requiere un orden más bajo para el filtro Chebyshev que para el Butterworth.

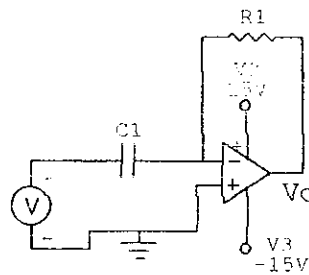
PRE-LABORATORIO

1. Considere los dos circuitos integrador y diferenciador que se muestran a continuación, en cada uno de ellos determine su función de transferencia, qué tipo de filtro es, y el orden del filtro.

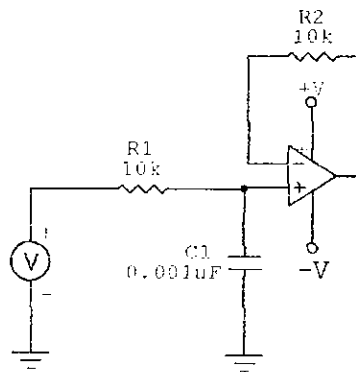
a)



b)



2. Determine la frecuencia de corte del filtro pasa bajos que se muestra a continuación:



DESCRIPCIÓN BREVE

Se dan los pasos a seguir para que el alumno construya dos filtros pasa bajos, un Butterworth y un Chebyshev, y dos filtros pasa altos, Butterworth y Chebyshev. Posteriormente el alumno deberá analizar los datos realizando gráficas para comprobar el comportamiento que el filtro cumple con los requerimientos del diseño. Por último, el alumno deberá comparar la respuesta de un filtro Butterworth con un filtro Chebyshev.

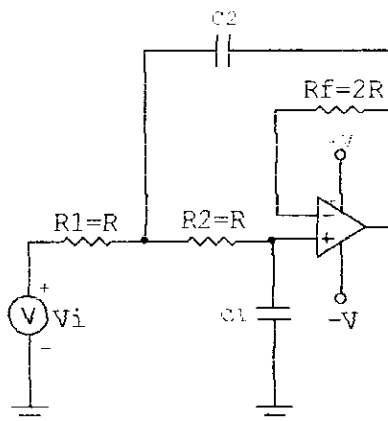
MATERIALES

- un opamp 741 o equivalente
- capacitores con valores comprendidos entre 100 pF y 0.1 uF
- resistencias variadas según el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un filtro pasa bajos tipo Butterworth de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:

- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con ± 15 V.



b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 10$ kHz.

c) Defina C_1 ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 uF.

d) Defina $C_2 = 2C_1$.

e) Calcule: $R = \frac{0.707}{\omega_c * C_1}$, recuerde que $\omega_c = 2\pi f_c$.

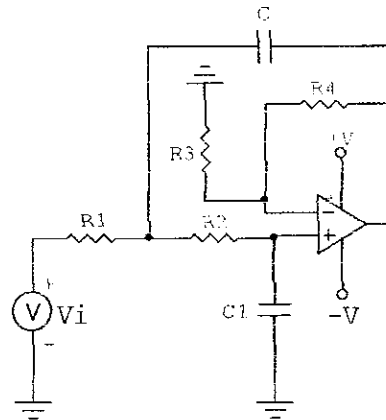
f) Defina $R_f = 2R$.

g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.

h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bajos en la frecuencia de corte que se definió.

2. Diseñe un filtro pasa bajos tipo Chebyshev de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:

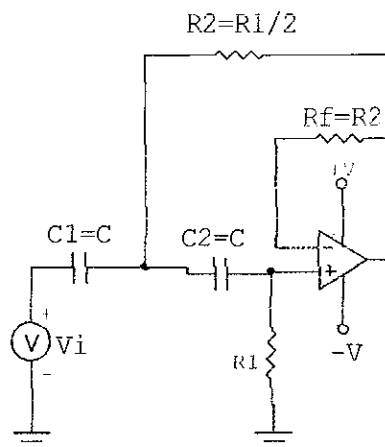
- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con ± 15 V.



- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 10 \text{ kHz}$.
- c) Defina C ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 uF .
- d) Calcule $k = \frac{10^{-4}}{f_c * C}$.
- e) Defina $C1 = kC$.
- f) Defina $R1 = k * 1.98 \text{ k}\Omega$, $R2 = k * 1.555 \text{ k}\Omega$, $R3 = k * 7.069 \text{ k}\Omega$ y $R4 = k * 7.069 \text{ k}\Omega$.
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V .
- h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bajos en la frecuencia de corte que se definió.

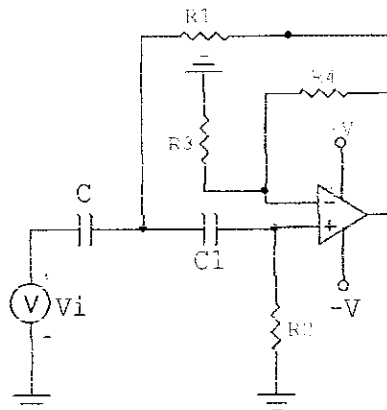
3. Diseñe un filtro pasa altos tipo Butterworth de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:

- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con $\pm 15 \text{ V}$.



- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 1 \text{ kHz}$.
- c) Defina $C1 = C2 = C$ y elija un valor adecuado.
- d) Calcule $R1$ mediante la expresión $R1 = \frac{1.414}{\omega_c * C}$, recuerde que $\omega_c = 2\pi f_c$.

- e) Haga $R_2 = \frac{1}{2} R_1$.
- f) Defina $R_f = R_2$.
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fc, 0.1fc, 0.25fc, 0.5fc, fc, 2fc, 4fc, 10fc. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
- h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa altos en la frecuencia de corte que se definió.
4. Diseñe un filtro pasa altos tipo Chebyshev de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:
- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con ± 15 V.



- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 1$ kHz.
- c) Defina C; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 μ F.
- d) Calcule $k = \frac{10^{-4}}{f_c * C}$.
- e) Defina $C_1 = kC$.
- f) Defina $R_1 = k * 1.98$ k Ω , $R_2 = k * 1.555$ k Ω , $R_3 = k * 7.069$ k Ω y $R_4 = k * 7.069$ k Ω .
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fc, 0.1fc, 0.25fc, 0.5fc, fc, 2fc, 4fc, 10fc. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
- h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa altos en la frecuencia de corte que se definió.
5. Mencione las diferencias que observó entre la respuesta de un filtro Butterworth y la de un filtro Chebyshev.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

FILTROS ACTIVOS: PASA ALTOS Y PASA BAJOS

PRÁCTICA #6 GUÍA PARA EL AUXILIAR

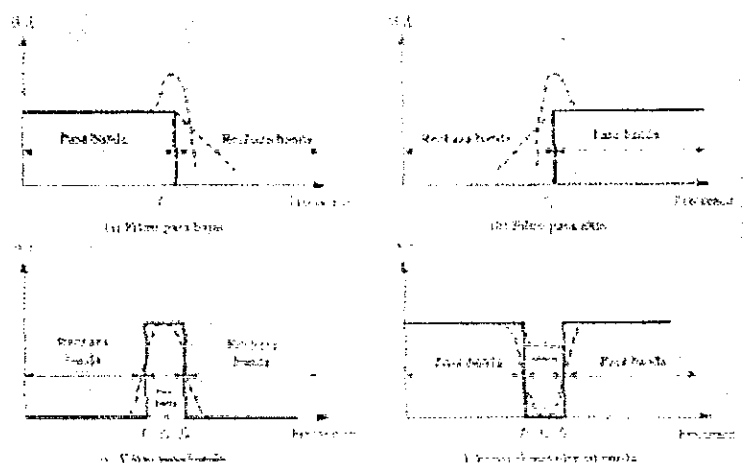
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir filtros pasa bajos y pasa altos de tipo Butterworth y de tipo Chebyshev.
- Elaborar gráficas para analizar la respuesta en frecuencia y hacer comparaciones entre los diferentes tipos de filtros.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los filtros son circuitos que permiten el paso de una determinada banda de frecuencias mientras atenúan todas las señales que no estén comprendidas dentro de esta banda. Existen filtros activos y pasivos. Los filtros pasivos sólo tienen resistencias, inductores y capacitores. En los filtros activos se utilizan transistores o amplificadores operacionales además de resistencias, inductores y capacitores. Los inductores no se emplean mucho en los filtros activos pues son voluminosos, caros y a veces tienen componentes resistivas de elevada magnitud.

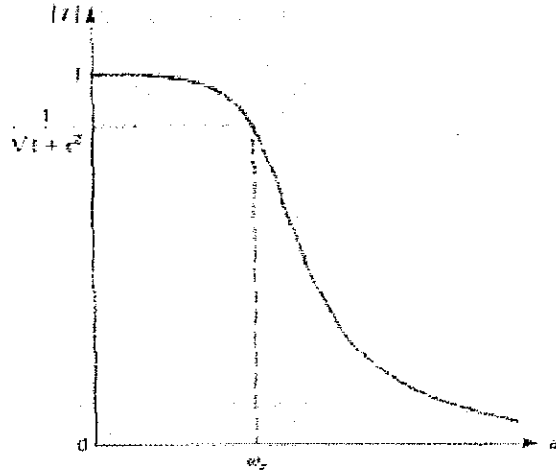
Existen cuatro tipos de filtros: pasa bajos, pasa altos, pasa bandas y de rechazo de banda. En la siguiente figura se muestran las gráficas de la respuesta en frecuencia ideal de estos filtros.



El rango de frecuencias transmitidas se conoce como pasabanda. El rango de frecuencias atenuadas se conoce como banda de rechazo. La frecuencia de corte, f_c , se conoce también como frecuencia 0.707, frecuencia de -3 dB, frecuencia de esquina o frecuencia de ruptura.

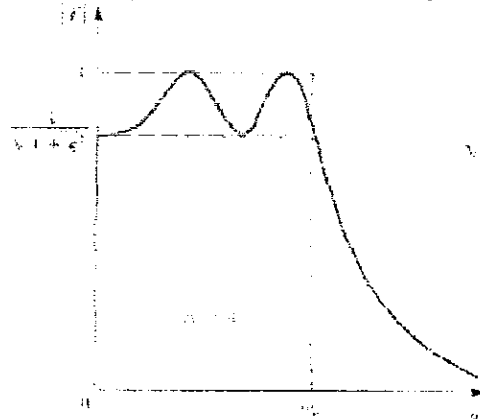
Los filtros son parte fundamental de los circuitos electrónicos y se utilizan en aplicaciones que van desde los circuitos de audio hasta los sistemas de procesamiento de señales digitales.

Filtro Butterworth: En diversas aplicaciones de los filtros se necesita que la ganancia en lazo cerrado se aproxime lo más posible a 1 dentro de la banda de paso. Para este tipo de aplicación lo mejor es el filtro Butterworth. A este tipo de filtro también se le conoce como filtro máximamente plano o plano-plano. A continuación se muestra una figura de la respuesta en frecuencia de este tipo de filtro.



Al igual que todos los demás filtros, pueden obtenerse filtros Butterworth de diferentes órdenes, conforme el orden va aumentando las atenuaciones del filtro se van volviendo más pronunciadas y el filtro se acerca más al filtro ideal.

Filtro Chebyshev: El filtro Chebyshev exhibe una respuesta igualmente ondulada en la banda pasante y una transmisión monótonamente decreciente en la banda suprimida. En la siguiente figura se observa que en estos filtros se producen espurios con valores máximos y mínimos. El número total de máximos y mínimos de banda pasante es igual al orden del filtro.

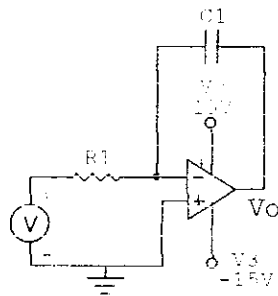


El filtro Chebyshev produce una aproximación más eficiente que el filtro Butterworth. Entonces para el mismo orden, y la misma ganancia máxima, el filtro Chebyshev produce mayor atenuación de banda suprimida que el filtro Butterworth. Alternativamente, para satisfacer especificaciones idénticas, se requiere un orden más bajo para el filtro Chebyshev que para el Butterworth.

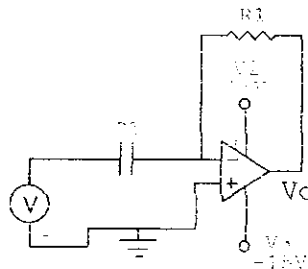
PRE-LABORATORIO

1. Considere los dos circuitos integrador y diferenciador que se muestran a continuación, en cada uno de ellos determine su función de transferencia, qué tipo de filtro es, y el orden del filtro.

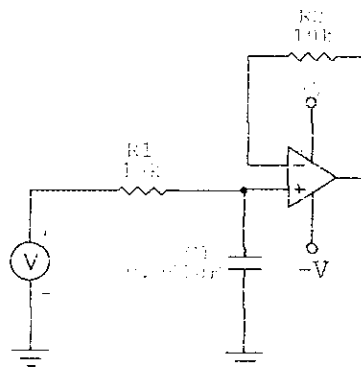
a)



b)



2. Determine la frecuencia de corte del filtro pasa bajos que se muestra a continuación:



RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. a) La función de transferencia del circuito integrador es: $\frac{V_o}{V_i} = -\frac{1}{j\omega CR} = -\frac{1}{sCR}$. Debido

a que la función de transferencia tiene sólo un polo, el circuito se comporta como un filtro pasa bajos. El orden del filtro es 1, por ser ese el mayor grado de la función.

- b) La función de transferencia del circuito diferenciador es: $\frac{V_o}{V_i} = -j\omega CR = -sCR$.

Debido a que la función de transferencia tiene sólo un cero, el circuito se comporta como un filtro pasa altos. El orden del filtro es 1, por ser ese el mayor grado de la función.

2. La frecuencia de corte se puede calcular mediante la ecuación

$$\omega_c = \frac{1}{RC} = \frac{1}{(10 \cdot 10^3)(0.001 \cdot 10^{-6})} = 100 \text{ krad/s, por lo tanto } f_c = \frac{\omega_c}{6.28} = \frac{100 \cdot 10^3}{6.28} = 15.9$$

kHz.

DESCRIPCIÓN BREVE

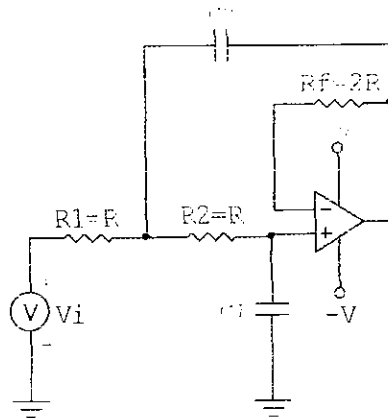
Se dan los pasos a seguir para que el alumno construya dos filtros pasa bajos, un Butterworth y un Chebyshev, y dos filtros pasa altos, Butterworth y Chebyshev. Posteriormente el alumno deberá analizar los datos realizando gráficas para comprobar el comportamiento que el filtro cumple con los requerimientos del diseño. Por último, el alumno deberá comparar la respuesta de un filtro Butterworth con un filtro Chebyshev.

MATERIALES

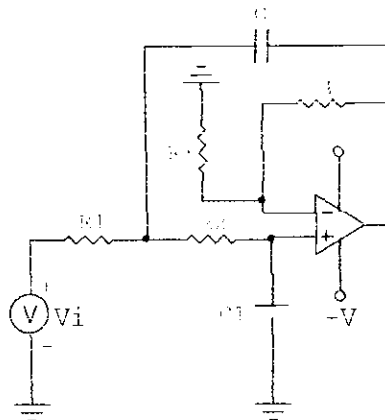
- un opamp 741 o equivalente
- capacitores con valores comprendidos entre 100 pF y 0.1 uF
- resistencias variadas según el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un filtro pasa bajos tipo Butterworth de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:
 - a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con ± 15 V.

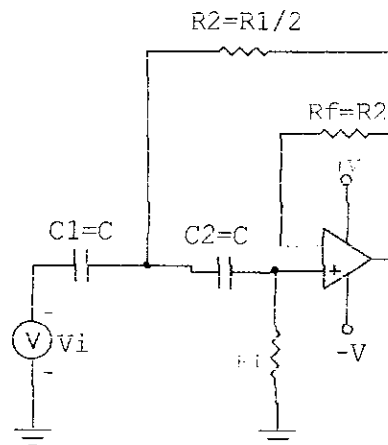


- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 10 \text{ kHz}$.
 - c) Defina C_1 ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 uF .
 - d) Defina $C_2 = 2C_1$.
 - e) Calcule: $R = \frac{0.707}{\omega_c * C_1}$, recuerde que $\omega_c = 2\pi f_c$.
 - f) Defina $R_f = 2R$.
 - g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V .
 - h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bajos en la frecuencia de corte que se definió.
2. Diseñe un filtro pasa bajos tipo Chebyshev de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:
- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con $\pm 15 \text{ V}$.

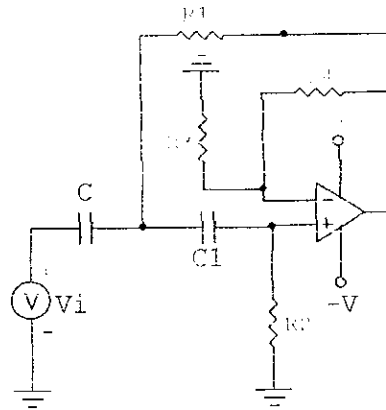


- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 10 \text{ kHz}$.
- c) Defina C ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 uF .
- d) Calcule $k = \frac{10^{-4}}{f_c * C}$.
- e) Defina $C_1 = kC$.

- f) Defina $R1 = k \cdot 1.98 \text{ k}\Omega$, $R2 = k \cdot 1.555 \text{ k}\Omega$, $R3 = k \cdot 7.069 \text{ k}\Omega$ y $R4 = k \cdot 7.069 \text{ k}\Omega$.
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
- h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bajos en la frecuencia de corte que se definió.
3. Diseñe un filtro pasa altos tipo Butterworth de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:
- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con $\pm 15 \text{ V}$.



- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 1 \text{ kHz}$.
- c) Defina $C1 = C2 = C$ y elija un valor adecuado.
- d) Calcule $R1$ mediante la expresión $R1 = \frac{1.414}{\omega_c \cdot C}$, recuerde que $\omega_c = 2\pi f_c$.
- e) Haga $R2 = \frac{1}{2} R1$.
- f) Defina $R_f = R2$.
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
- h) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa altos en la frecuencia de corte que se definió.
4. Diseñe un filtro pasa altos tipo Chebyshev de segundo orden siguiendo los siguientes pasos:
- a) Construya en su protoboard un circuito como el que se muestra a continuación y alimente al opamp con $\pm 15 \text{ V}$.



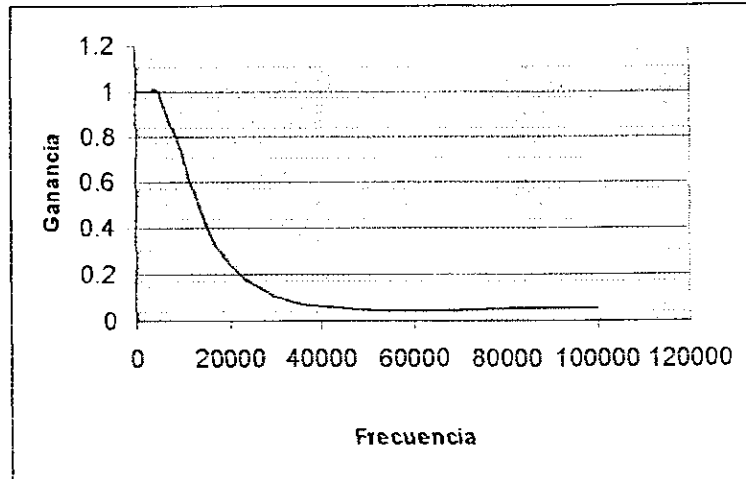
- b) Defina como frecuencia de corte, $f_c = 1 \text{ kHz}$.
- c) Defina C ; elija un valor adecuado, comprendido entre 100 pF y 0.1 uF .
- d) Calcule $k = \frac{10^{-4}}{f_c * C}$.
- e) Defina $C1 = kC$.
- f) Defina $R1 = k * 1.98 \text{ k}\Omega$, $R2 = k * 1.555 \text{ k}\Omega$, $R3 = k * 7.069 \text{ k}\Omega$ y $R4 = k * 7.069 \text{ k}\Omega$.
- g) Coloque como señal V_i , el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_c$, $0.1f_c$, $0.25f_c$, $0.5f_c$, f_c , $2f_c$, $4f_c$, $10f_c$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V .
- h) Realice una gráfica de ganancia vs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa altos en la frecuencia de corte que se definió.
5. Mencione las diferencias que observó entre la respuesta de un filtro Butterworth y la de un filtro Chebyshev.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1. c) Defina $C1 = 1 \text{ nF}$.
- d) $C2 = 2 \text{ nF}$.
- e) $R = \frac{0.707}{2\pi * 10 \text{ kHz} * 1 \text{ nF}} = 11.2 \text{ k}\Omega$.
- f) $R_f = 2 * 11.2 \text{ k}\Omega = 22.4 \text{ k}\Omega$.
- g)

Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
100	1
1000	1
2500	1
5000	1
10000	0.71
20000	0.24
40000	0.06
100000	0.05

h)



En la gráfica se puede observar que para 0.707 V/V de ganancia la frecuencia es aproximadamente 10 kHz, como lo requería el diseño.

2. c) Se define $C = 10 \text{ nF}$.

d) Se calcula $k = \frac{10^{-4}}{10 \text{ kHz} * 10 \text{ nF}} = 1$.

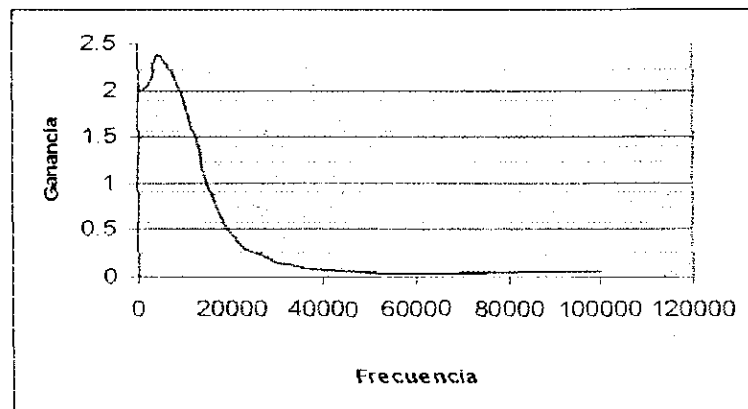
e) Se define $C_1 = C = 10 \text{ nF}$.

f) Se define $R_1 = 1.98 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 1.555 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 7.069 \text{ k}\Omega$ y $R_4 = 7.069 \text{ k}\Omega$.

g)

Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
100	2
1000	2
2500	2.1
5000	2.38
10000	1.89
20000	0.46
40000	0.07
100000	0.05

h)



Se puede observar que el filtro funciona como un pasa bajos para 10 kHz aunque en esa frecuencia la ganancia es un poco mayor que 1.414 V/V.

3. c) Defina $C_1=C_2=C= 10 \text{ nF}$.

d) Se calcula R_1 con $R_1 = \frac{1.414}{2\pi \text{kHz} * 10 \text{nF}} = 22.5 \text{ k}\Omega$.

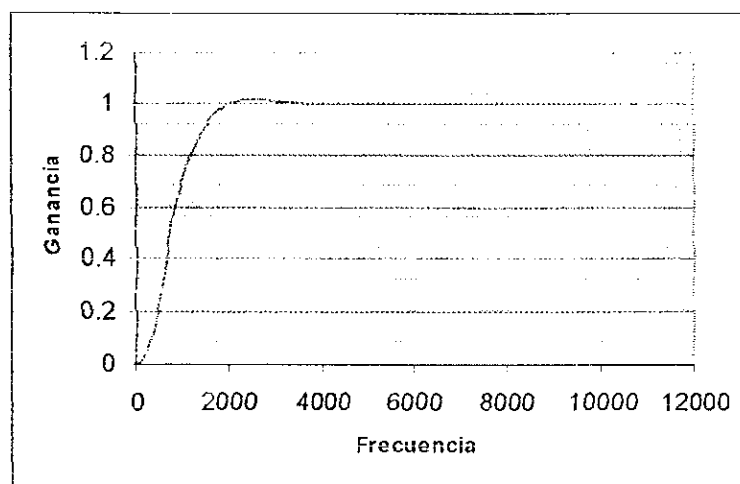
e) Se define $R_2 = 0.5 * R_1 = 11.25 \text{ k}\Omega$.

f) $R_f = R_2 = 11.25 \text{ k}\Omega$.

g)

Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
10	0.00008
100	0.009
250	0.06
500	0.24
1000	0.706
2000	1
4000	1
10000	1

h)



Se puede observar que el filtro se comporta como un pasa altos y que en efecto a 1 kHz la ganancia es aproximadamente 0.707 V/V.

4. c) Se define $C = 10 \text{ nF}$.

d) Se calcula $k = \frac{10^{-4}}{1 \text{kHz} * 10 \text{nF}} = 10$.

e) Se define $C_1 = kC = 100 \text{ nF}$.

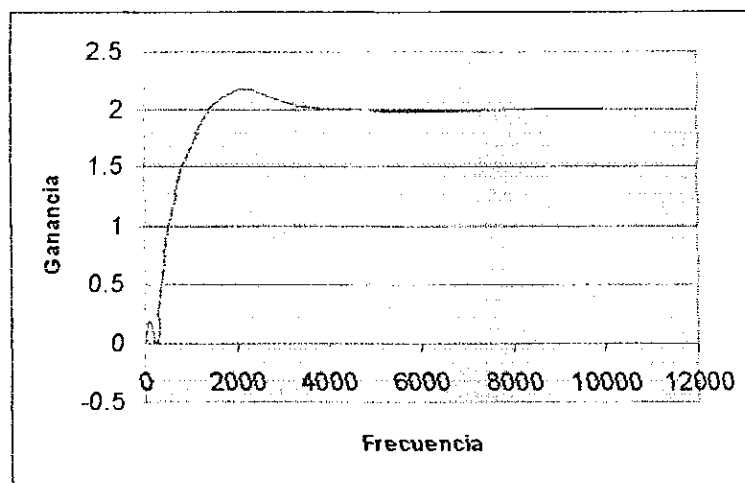
f) Se define $R_1 = 19.8 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 15.55 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 70.69 \text{ k}\Omega$ y $R_4 = 70.69 \text{ k}\Omega$.

g)

Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
10	0.00019
100	0.18

250	0.02
500	0.88
1000	1.68
2000	2.18
4000	2
10000	2

h)



En la gráfica se puede observar que el filtro se comporta como un pasa altos, aunque en la frecuencia de corte de 1 kHz la ganancia es un poco mayor a 1.414.

5. En los circuitos diseñados los filtros Chebyshev tuvieron una ganancia de 2 V/V, mientras que los filtros Butterworth presentaron una ganancia unitaria, esto no significa que ambos puedan ajustarse para tener ganancia unitaria o ganancia de 2 V/V. Se observa que los filtros Chebyshev tiene una pendiente mayor que los filtros Butterworth, es decir que se acercan más al filtro ideal; sin embargo, los filtros Chebyshev presentan espurios que para algunas aplicaciones podrían ser indeseados. Una ventaja de los filtros Butterworth que se observó es que estos, a diferencia de los Chebyshev, presentan una ganancia casi exacta de 0.707 V/V en la frecuencia de corte.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

FILTROS PASA BANDA Y EL FACTOR DE CALIDAD PRÁCTICA #7

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir filtros activos pasa bandas de banda ancha y banda angosta, y comprobar que se alcanzan los requerimientos del diseño mediante mediciones y gráficas.
- Calcular el factor de calidad experimental para los filtros que se construirán.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los filtros pasa banda son selectores de frecuencia. Permiten a uno elegir o pasar sólo una determinada banda de frecuencias de entre todas las frecuencias que puede haber en un circuito. Este tipo de filtros tiene una ganancia máxima en la frecuencia resonante, f_r . Sólo existe una frecuencia inferior a f_r en cuyo caso la ganancia disminuye hasta 0.707. Se trata de la frecuencia de corte inferior, f_l . En el caso de la frecuencia de corte superior, f_h , la ganancia también es 0.707. Al rango de frecuencias comprendidas entre f_l y f_h se le conoce como ancho de banda, es decir $B = f_h - f_l$. El ancho de banda no siempre se encuentra centrado justamente en la frecuencia resonante. Si se conocen los valores de f_l y de f_h , la frecuencia resonante se calcula mediante la expresión $f_r = (f_l * f_h)^{1/2}$.

Factor de calidad: El factor de Calidad, Q , se define como la relación entre la frecuencia resonante y el ancho de banda, es decir, $Q = \frac{f_r}{B}$. Q es la medida de la selectividad del filtro pasa banda. Un valor elevado de Q indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más reducidas, es decir, es más selectivo.

Filtros de banda angosta y de banda ancha: Los filtros de banda ancha tienen un ancho de banda cuyo valor es dos o más veces la frecuencia resonante. Es decir, $Q \leq 0.5$ en el caso de los filtros de banda ancha. En general, los filtros de banda ancha se construyen conectando en cascada el circuito de un filtro pasa bajos con un circuito pasa altos. Por lo general, el filtro de banda angosta ($Q > 0.5$) se construye en una sola etapa.

PRE-LABORATORIO

1. Un filtro de voz pasa banda tiene frecuencias de corte inferior y superior de 300 y 3000 Hz. Calcule el ancho de banda y la frecuencia resonante.
2. Calcule el factor de calidad Q , del filtro de voz que se menciona en el inciso 1.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir un filtro de banda ancha conectando en cascada un filtro pasa bajos con un filtro pasa altos y comprobar que se alcanzan los requerimientos del diseño analizando una gráfica de ganancia vrs. frecuencia que deberá realizar. Posteriormente deberá diseñar y construir un filtro de banda angosta siguiendo los pasos que se indican en el procedimiento, y deberá comprobar los resultados esperados analizando también una gráfica de ganancia vrs. frecuencia que deberá realizar. Por último, se deberán calcular los factores de calidad experimentales para cada uno de los filtros diseñados y comparar estos valores con los del diseño.

MATERIALES

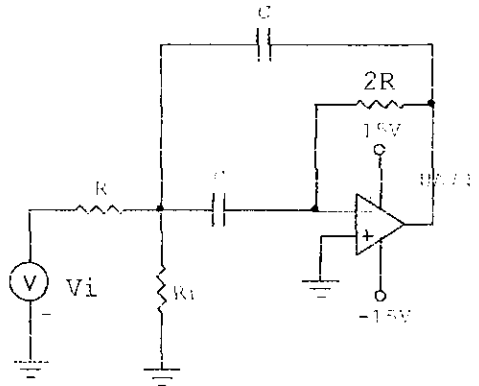
- dos opamps 741 o equivalentes
- capacitores menores de 1 μF variados según el diseño
- resistencias variadas según el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. En general, para construir un filtro de banda ancha se conecta en cascada un filtro pasa bajos y un filtro pasa altos. Es importante que las frecuencias de las secciones pasa bajos y pasa altos no se traslapen, y que ambas tengan la misma ganancia en banda de paso. Además, la frecuencia de corte del filtro pasa bajos debe ser de 10 ó más veces la frecuencia de corte del filtro pasa altos. Diseñe y construya un filtro de banda ancha para voz que tenga como frecuencia de corte inferior 300 Hz y como frecuencia de corte superior 3 kHz, siguiendo los siguientes pasos.
 - a) Diseñe y construya un filtro pasa bajos de segundo orden, que tenga una frecuencia de corte de 3 kHz.
 - b) Diseñe y construya un filtro pasa altos de segundo orden, que tenga una frecuencia de corte de 300 Hz.
 - c) Conecte en cascada los dos filtros anteriores, colocando primero el pasa bajos y luego el pasa altos.
 - d) Calcule el valor de la frecuencia resonante del filtro.
 - e) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fr, 0.1fr, 0.25fr, 0.5fr, fr, 2fr, 4fr, 10fr. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
 - f) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda ancha, y aproxime los valores de f_l , f_h y f_r experimentales.
 - g) Vuelva a conectar en cascada los filtros, sólo que esta vez colocando primero el pasa altos y luego el pasa bajos.
 - h) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fr, 0.1fr, 0.25fr, 0.5fr, fr, 2fr, 4fr, 10fr. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.

- i) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda ancha, y aproxime los valores de f_l , f_h y f_r experimentales.
- j) Determine si es indistinto conectar el pasa altos con el pasa bajos, o viceversa; o si existen diferencias en los dos casos.

2. Para la construcción de filtros de banda angosta se utiliza sólo un amplificador operacional, como se observa en la siguiente figura.



La resistencia R es la que define la resistencia de entrada del filtro. Si la resistencia de retroalimentación ($2R$) tiene un valor del doble de la resistencia de entrada R , la ganancia máxima del filtro será de 1 ó 0 cuando la frecuencia sea la resonante, f_r . Ajustando R_r se modifica (o ajusta con exactitud) la frecuencia resonante sin cambiar el ancho de banda ni la ganancia. Diseñe un filtro de banda angosta de ganancia unitaria que tenga $f_r = 1000\text{Hz}$ y tenga un factor de calidad $Q = 2$, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Encuentre el valor del ancho de banda.
 - b) Defina un valor adecuado para C , y calcule R con $R = \frac{0.1591}{BC}$.
 - c) Defina la resistencia de retroalimentación como $2R$.
 - d) Calcule la resistencia R_r mediante la ecuación $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$.
 - e) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_r$, $0.1f_r$, $0.25f_r$, $0.5f_r$, f_r , $2f_r$, $4f_r$, $10f_r$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
 - f) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda angosta, y aproxime los valores de f_l , f_h y f_r experimentales.
3. Calcule el factor de calidad Q experimental de los filtros pasa banda de banda ancha y banda angosta de los incisos 1 y 2.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.

FILTROS PASA BANDA Y EL FACTOR DE CALIDAD

PRÁCTICA #7 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir filtros pasa bandas de banda ancha y banda angosta, y compruebe que se alcanzan los requerimientos del diseño mediante mediciones y gráficas.
- Calcular el factor de calidad experimental para los filtros que se construirán.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Los filtros pasa banda son selectores de frecuencia. Permiten a uno elegir o pasar sólo una determinada banda de frecuencias de entre todas las frecuencias que puede haber en un circuito. Este tipo de filtros tiene una ganancia máxima en la frecuencia resonante, f_r . Sólo existe una frecuencia inferior a f_r en cuyo caso la ganancia disminuye hasta 0.707. Se trata de la frecuencia de corte inferior, f_i . En el caso de la frecuencia de corte superior, f_h , la ganancia también es 0.707. Al rango de frecuencias comprendidas entre f_i y f_h se le conoce como ancho de banda, es decir $B = f_h - f_i$. El ancho de banda no siempre se encuentra centrado justamente en la frecuencia resonante. Si se conocen los valores de f_i y de f_h , la frecuencia resonante se calcula mediante la expresión $f_r = (f_i * f_h)^{1/2}$.

Factor de calidad: El factor de Calidad, Q , se define como la relación entre la frecuencia resonante y el ancho de banda, es decir, $Q = \frac{f_r}{B}$. Q es la medida de la

selectividad del filtro pasa banda. Un valor elevado de Q indica que el filtro selecciona una banda de frecuencias más reducidas, es decir, es más selectivo.

Filtros de banda angosta y de banda ancha: Los filtros de banda ancha tienen un ancho de banda cuyo valor es dos o más veces la frecuencia resonante. Es decir, $Q \leq 0.5$ en el caso de los filtros de banda ancha. En general, los filtros de banda ancha se construyen conectando en cascada el circuito de un filtro pasa bajos con un circuito pasa altos. Por lo general, el filtro de banda angosta ($Q > 0.5$) se construye en una sola etapa.

PRE-LABORATORIO

1. Un filtro de voz pasa banda tiene frecuencias de corte inferior y superior de 300 y 3000 Hz. Calcule el ancho de banda y la frecuencia resonante.
2. Calcule el factor de calidad Q , del filtro de voz que se menciona en el inciso 1.

RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. El ancho de banda es igual a $B = f_h - f_l = 3000 - 300 = 2700$ Hz. La frecuencia resonante se calcula con $f_r = (f_l * f_h)^{1/2} = (300 * 3000)^{1/2} = 948.7$ Hz.
2. El factor de calidad se calcula con $Q = \frac{f_r}{B} = \frac{948.7}{2700} = 0.35$.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá construir un filtro de banda ancha conectando en cascada un filtro pasa bajos con un filtro pasa altos y comprobar que se alcanzan los requerimientos del diseño analizando una gráfica de ganancia vrs. frecuencia que deberá realizar. Posteriormente deberá diseñar y construir un filtro de banda angosta siguiendo los pasos que se indican en el procedimiento, y deberá comprobar los resultados esperados analizando también una gráfica de ganancia vrs. frecuencia que deberá realizar. Por último se deberán calcular los factores de calidad experimentales para cada uno de los filtros diseñados y comparar estos valores con los del diseño.

MATERIALES

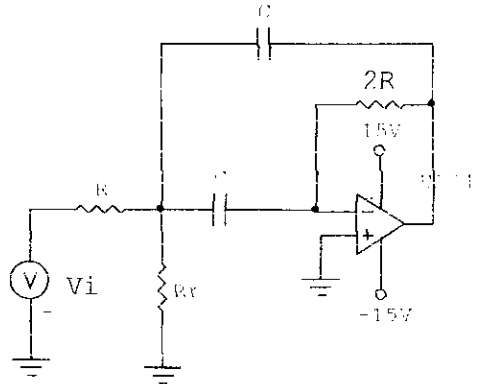
- dos opamps 741 o equivalentes
- capacitores menores de 1 uF variados según el diseño
- resistencias variadas según el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. En general, para construir un filtro de banda ancha se conecta en cascada un filtro pasa bajos y un filtro pasa altos. Es importante que las frecuencias de las secciones pasa bajos y pasa altos no se traslapen, y que ambas tengan la misma ganancia en banda de paso. Además, la frecuencia de corte del filtro pasa bajos debe ser 10 ó más veces la frecuencia de corte del filtro pasa altos. Diseñe y construya un filtro de banda ancha para voz que tenga como frecuencia de corte inferior 300 Hz y como frecuencia de corte superior 3 kHz, siguiendo los siguientes pasos.
 - a) Diseñe y construya un filtro pasa bajos de segundo orden, que tenga una frecuencia de corte de 3 kHz.
 - b) Diseñe y construya un filtro pasa altos de segundo orden, que tenga una frecuencia de corte de 300 Hz.
 - c) Conecte en cascada los dos filtros anteriores, colocando primero el pasa bajos y luego el pasa altos.
 - d) Calcule el valor de la frecuencia resonante del filtro.
 - e) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores $0.01f_r$, $0.1f_r$, $0.25f_r$, $0.5f_r$, f_r , $2f_r$, $4f_r$, $10f_r$. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
 - f) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el

inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda ancha, y aproxime los valores de f_i , f_h y f_r experimentales.

- g) Vuelva a conectar en cascada los filtros, sólo que esta vez colocando primero el pasa altos y luego el pasa bajos.
 - h) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fr, 0.1fr, 0.25fr, 0.5fr, fr, 2fr, 4fr, 10fr. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
 - i) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda ancha, y aproxime los valores de f_i , f_h y f_r experimentales.
 - j) Determine si es indistinto conectar el pasa altos con el pasa bajos, o viceversa; o si existen diferencias en los dos casos.
2. Para la construcción de filtros de banda angosta se utiliza sólo un amplificador operacional, como se observa en la siguiente figura.



La resistencia R es la que define la resistencia de entrada del filtro. Si la resistencia de retroalimentación ($2R$) tiene un valor del doble de la resistencia de entrada R , la ganancia máxima del filtro será de 1 ó 0 cuando la frecuencia sea la resonante, f_r . Ajustando R_r se modifica (o ajusta con exactitud) la frecuencia resonante sin cambiar el ancho de banda ni la ganancia. Diseñe un filtro de banda angosta de ganancia unitaria que tenga $f_r = 1000\text{Hz}$ y tenga un factor de calidad $Q = 2$, siguiendo los siguientes pasos:

- a) Encuentre el valor del ancho de banda.
- b) Defina un valor adecuado para C , y calcule R con $R = \frac{0.1591}{BC}$.
- c) Defina la resistencia de retroalimentación como $2R$.
- d) Calcule la resistencia R_r mediante la ecuación $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1}$.
- e) Coloque como señal de entrada el generador de funciones con una amplitud de 5 V constante y varíe la frecuencia a valores 0.01fr, 0.1fr, 0.25fr, 0.5fr, fr, 2fr, 4fr, 10fr. Para cada frecuencia determine la ganancia del circuito en V/V.
- f) Realice una gráfica de ganancia vrs frecuencia con los datos que obtuvo en el inciso anterior y compruebe que el circuito se comporta como un filtro pasa bandas de banda angosta, y aproxime los valores de f_i , f_h y f_r experimentales.

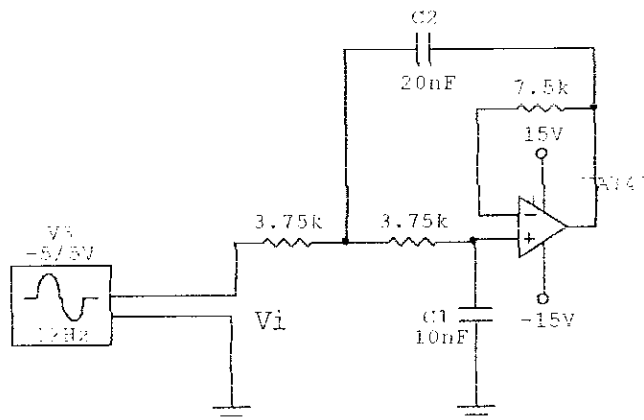
3. Calcule el factor de calidad Q experimental de los filtros pasa banda de banda ancha y banda angosta de los incisos 1 y 2.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

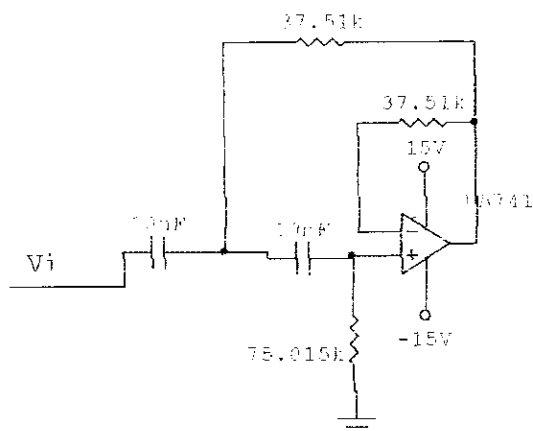
1.

- a) Se diseñará un filtro pasa bajos tipo Butterworth de segundo orden. Primero se define $C_1 = 10 \text{ nF}$, por lo tanto $C_2 = 20 \text{ nF}$. R se define como $R =$

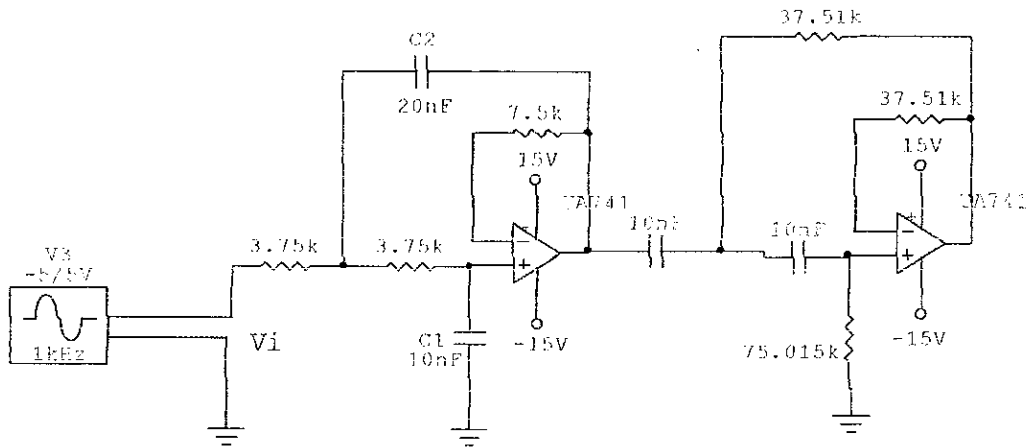
$\frac{0.707}{2\pi * 3\text{kHz} * 10\text{nF}} = 3.75 \text{ k}\Omega$ y $R_f = 2 * R = 7.5 \text{ k}\Omega$. Entonces el circuito queda de la siguiente forma:



- b) Se diseñará un filtro pasa altos tipo Butterworth de segundo orden. Primero se define $C_1 = C_2 = C = 10 \text{ nF}$. Se calcula R_1 con $R_1 = \frac{1.414}{2\pi * 300\text{Hz} * 10\text{nF}} = 75.015 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 0.5R_1 = 37.51 \text{ k}\Omega$. Entonces $R_f = R_2 = 37.51 \text{ k}\Omega$. A continuación se muestra el circuito del filtro resultante:



c)

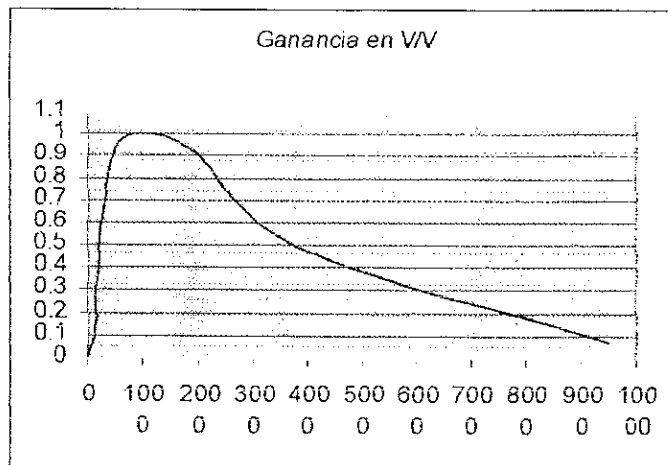


d) Para calcular el valor de la frecuencia resonante se utiliza $f_r = (300 \cdot 3000)^{1/2} = 948.68 \text{ Hz}$.

e)

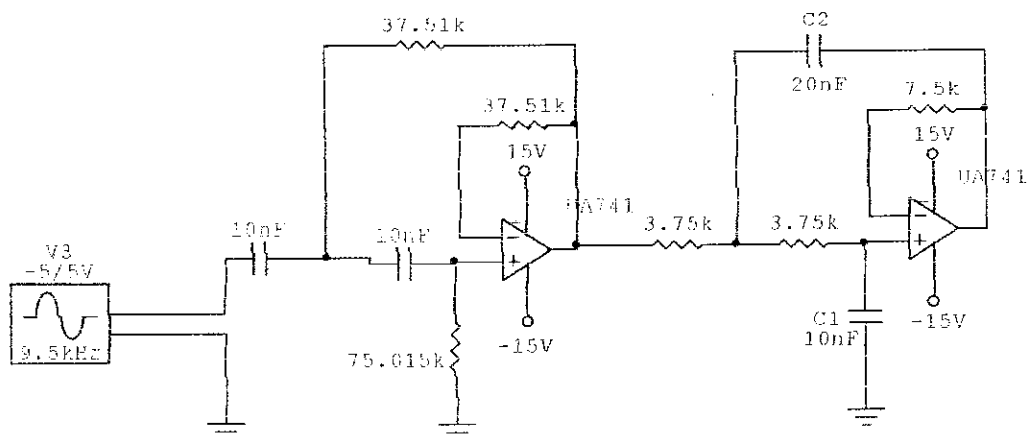
Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
9.5	0.0004
95	0.098
237.5	0.528
475	0.926
950	1
1900	0.922
3800	0.49
9500	0.07

f)



El circuito sí se comporta como un filtro de banda ancha y los valores aproximados son $f_l = 400 \text{ Hz}$, $f_h = 2800 \text{ Hz}$ y $f_r = 950$.

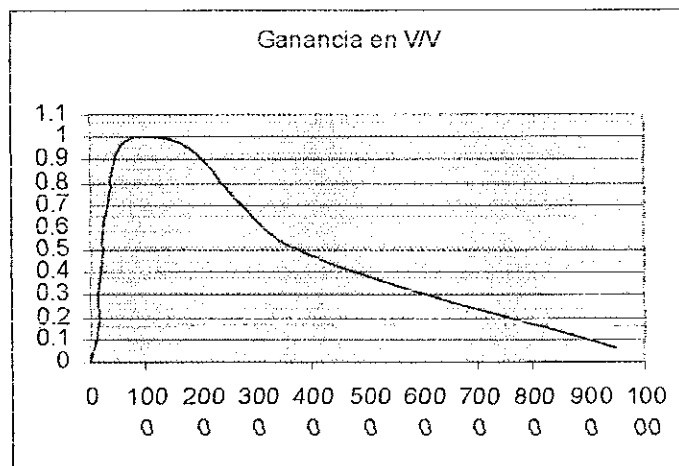
g)



h)

Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
9.5	0.0004
95	0.099
237.5	0.53
475	0.924
950	1
1900	0.926
3800	0.49
9500	0.067

i)



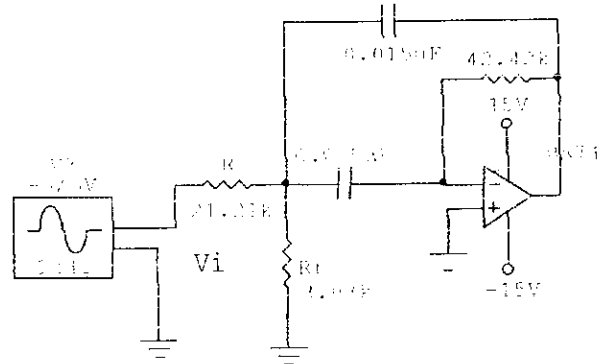
El circuito sí se comporta como un filtro de banda ancha y los valores aproximados son $f_l = 400$ Hz, $f_h = 2800$ Hz y $f_r = 950$.

j) Con las observaciones anteriores se puede determinar que no importa el orden en que se conecten las etapas.

2.

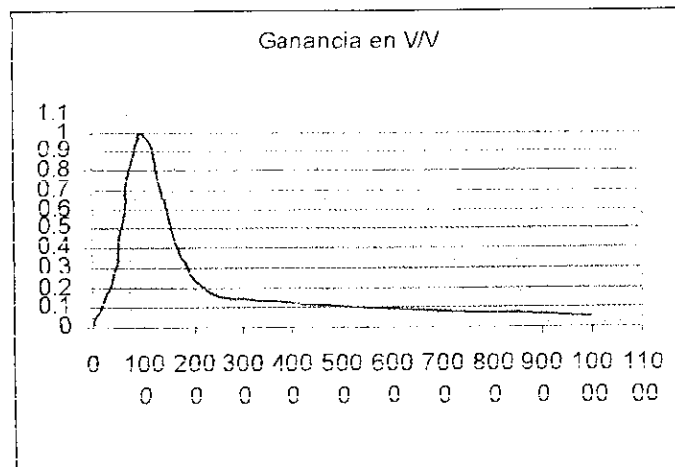
a) El ancho de banda se calcula con $B = \frac{f_r}{Q} = \frac{1000}{2} = 500$ Hz.

- b) Se escoge $C = 0.015 \mu F$, y se calcula $R = \frac{0.1591}{BC} = \frac{0.1591}{500Hz * 0.015 \mu F} = 21.21 k\Omega$.
- c) $R_f = 2R = 42.42 k\Omega$.
- d) Se calcula $R_r = \frac{R}{2Q^2 - 1} = \frac{21.21 k\Omega}{2(2)^2 - 1} = 3.03 k\Omega$.
- e) El circuito del filtro resultante queda de la siguiente manera:



Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V
10	0.006
100	0.05
250	0.133
500	0.316
1000	1
2000	0.236
4000	0.128
10000	0.047

f)



El circuito sí se comporta como un filtro de banda angosta y los valores aproximados son $f_l = 600 \text{ Hz}$, $f_h = 1500 \text{ Hz}$ y $f_r = 1000 \text{ Hz}$.

3. En el caso del filtro de banda ancha el factor de calidad experimental es $Q = \frac{f_r}{B} = \frac{950}{2800 - 400} = 0.396$, como este valor es menor que 0.5 se comprueba que el filtro es un filtro de banda ancha. En el caso del filtro de banda angosta $Q =$

$\frac{f_r}{B} = \frac{1000}{1500 - 600} = 1.11$ lo que comprueba que es un filtro de banda angosta por ser mayor que 0.5; sin embargo, se puede concluir que existen errores en la implementación del diseño, ya que se esperaba que el valor de Q fuera de 2 como lo exigía el diseño.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.

EL DIAGRAMA DE BODE

PRÁCTICA #8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

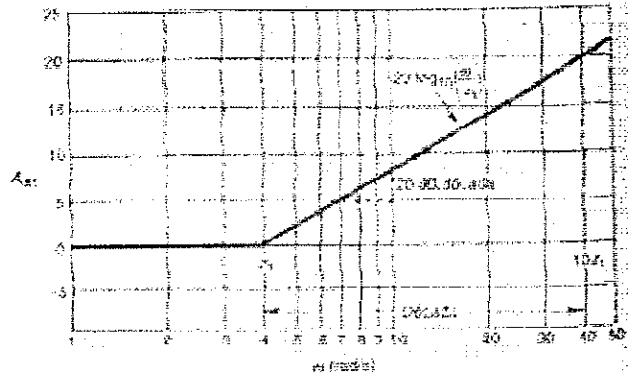
- Analizar la función de transferencia de varios circuitos y graficar el diagrama de Bode correspondiente de amplitud y fase basado en los resultados que obtuvo del análisis.
- Hacer las mediciones necesarias en los circuitos para determinar el diagrama de Bode de amplitud experimental del circuito.
- Comparar el diagrama de Bode experimental y el teórico.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

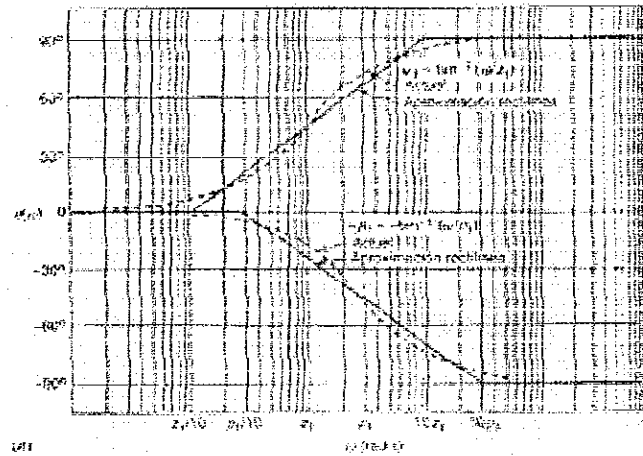
El comportamiento de la función de transferencia al variar la frecuencia de la señal de entrada es una característica importante de un circuito. Una manera efectiva de describir la variación de la amplitud y el ángulo de fase es por medio de gráficos, y la forma más eficiente de generar y representar gráficamente los datos de la amplitud y fase es utilizando una computadora. Sin embargo, en algunos casos emplear bosquejos preliminares con diagramas o gráficos de Bode puede facilitar el uso de la computadora. Un diagrama de Bode es una técnica gráfica que presenta una muy buena aproximación de la respuesta en frecuencia de un circuito. Estos diagramas son muy útiles en los circuitos donde los polos y los ceros de la función de transferencia $G(s)$ están bastante separados.

Un diagrama de Bode consiste en dos gráficos separados: uno muestra cómo varía la amplitud $G(s)$ con la frecuencia, y el segundo exhibe cómo varía el ángulo de fase de $G(s)$ con la frecuencia. Ambos gráficos se realizan en papel semilogarítmico. La frecuencia se representa en la escala logarítmica horizontal, y la amplitud y el ángulo de fase se representan en la escala lineal vertical. Estos diagramas de amplitud y fase se denominan diagramas de Bode en reconocimiento al trabajo pionero efectuado en esta área por H. W. Bode.

El gráfico de la amplitud implica multiplicar y dividir por los factores asociados a los polos y ceros de la función de transferencia. Esta multiplicación y división se reduce a suma y resta si se expresa la amplitud de $G(s)$ en términos de un valor logarítmico: el decibel (dB). La amplitud de $G(s)$ en decibeles es $A_{dB} = 20 \log_{10}|G(s)|$. A continuación se muestra el diagrama de Bode de la amplitud de un cero de primer orden.

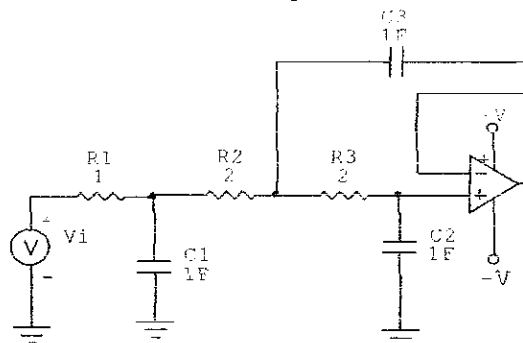


Para el gráfico de ángulos de fase se debe tomar en cuenta lo siguiente: el ángulo de fase para una constante K es cero, y el ángulo de fase para un cero o polo de primer orden en el origen es una constante de $\pm 90^\circ$. Para un cero o polo que no está en el origen el ángulo de fase es 0 para frecuencias menores a un décimo de la frecuencia de esquina (valor de cero o polo) y $\pm 90^\circ$ para frecuencias mayores que diez veces la frecuencia de esquina. Entre estos dos puntos, el gráfico del ángulo de fase es una línea recta que pasa por 0° a un décimo de la frecuencia esquina, $\pm 45^\circ$ a la frecuencia esquina y $\pm 90^\circ$ a diez veces la frecuencia esquina. En todos los casos, el signo positivo se aplica al cero de primer orden y el signo negativo al polo de primer orden. A continuación se muestra el diagrama de Bode de fase para un cero y un polo de primer orden.



PRE-LABORATORIO

1. Encuentre la función de transferencia del siguiente circuito.



DESCRIPCIÓN BREVE

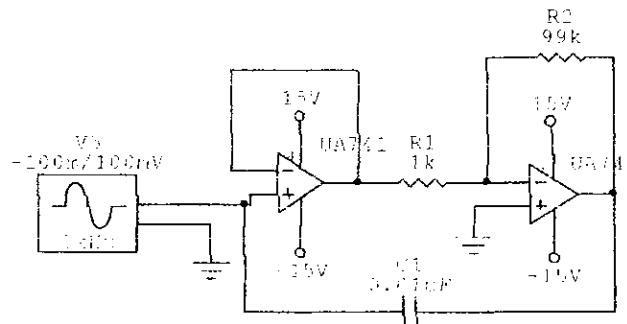
El alumno deberá analizar dos circuitos para determinar su función de transferencia en términos de s . Con esta función de transferencia se deberá graficar el diagrama de Bode teórico de amplitud y fase. Luego, el alumno deberá construir el circuito y hacer las mediciones correspondientes para llenar una tabla con datos de ganancia y frecuencia, con estos datos se deberá realizar el diagrama de Bode experimental. Se pide una comparación de los resultados de estos circuitos y también una comparación con el diagrama de Bode obtenido en la simulación.

MATERIALES

- dos opamps 741 o equivalentes
- dos capacitores de $0.01 \mu\text{F}$
- resistencias de $1 \text{ k}\Omega$, $10 \text{ k}\Omega$ y $99 \text{ k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

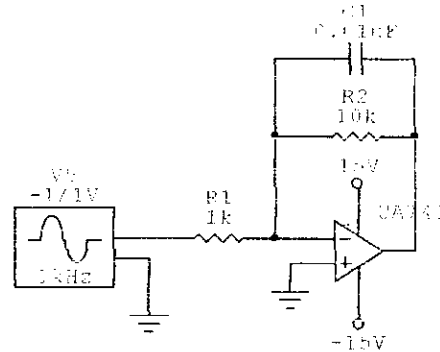
1. Considere el siguiente circuito:



- Determine analíticamente la función de transferencia en términos de s , del circuito anterior.
- Dibuje los diagramas de bode de amplitud y fase teóricos del circuito a partir de la función de transferencia obtenida en el inciso anterior.
- Construya el circuito en su protoboard y complete la tabla siguiente midiendo la ganancia del circuito en las diferentes frecuencias mencionadas.

Frecuencia	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1Hz		
10Hz		
100Hz		
1kHz		
10kHz		
100kHz		
1MHz		

- d) Haga una gráfica de ganancia en dB vrs frecuencia para obtener el diagrama de Bode de amplitud experimental. Recuerde que para la gráfica la escala en el eje x debe ser semilogarítmica.
- e) Observe la simulación #1 para esta práctica y compare los resultados del diagrama de Bode de la simulación con los del diagrama de bode de amplitud y fase teóricos y el de amplitud experimental.
2. Considere el siguiente circuito:



- a) Determine analíticamente la función de transferencia en términos de s , del circuito anterior.
- b) Dibuje los diagramas de Bode de amplitud y fase teóricos del circuito a partir de la función de transferencia obtenida en el inciso anterior.
- c) Construya el circuito en su protoboard y complete la tabla siguiente midiendo la ganancia del circuito en las diferentes frecuencias mencionadas.

Frecuencia	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1Hz		
10Hz		
100Hz		
1kHz		
10kHz		
100kHz		
1MHz		

- d) Haga una gráfica de ganancia en dB vrs frecuencia para obtener el diagrama de Bode de amplitud experimental. Recuerde que para la gráfica la escala en el eje x debe ser semilogarítmica.
- e) Observe la simulación #2 para esta práctica y compare los resultados del diagrama de Bode de la simulación con los del diagrama de bode de amplitud y fase teóricos y el de amplitud experimental.

REFERENCIAS

- Nilsson, James. 1995. *Circuitos Eléctricos*. 4ª ed. Delaware, Addison Wesley. 981 págs.
- <http://www.ctc-control.com/customer/elearning/servotut/bode.asp>
- <http://www.chemeng.ed.ac.uk/~igds/Control/module7/module7-2.html>

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

DEP. INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ELECTRÓNICA 3

EL DIAGRAMA DE BODE

PRÁCTICA #8 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

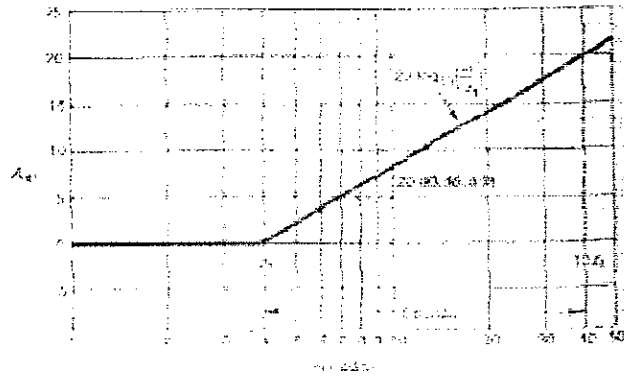
- Analizar la función de transferencia de varios circuitos y graficar el diagrama de Bode correspondiente de amplitud y fase basado en los resultados que obtuvo del análisis.
- Hacer las mediciones necesarias en los circuitos para determinar el diagrama de Bode de amplitud experimental del circuito.
- Comparar el diagrama de Bode experimental y el teórico.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

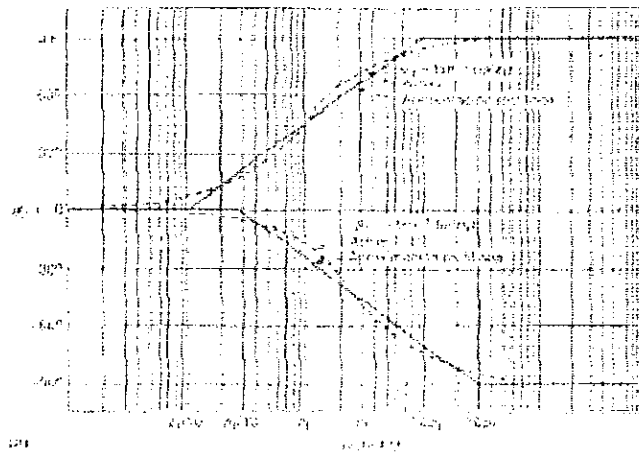
El comportamiento de la función de transferencia al variar la frecuencia de la señal de entrada es una característica importante de un circuito. Una manera efectiva de describir la variación de la amplitud y el ángulo de fase es por medio de gráficos, y la forma más eficiente de generar y representar gráficamente los datos de la amplitud y fase es utilizando una computadora. Sin embargo, en algunos casos emplear bosquejos preliminares con diagramas o gráficos de Bode puede facilitar el uso de la computadora. Un diagrama de Bode es una técnica gráfica que presenta una muy buena aproximación de la respuesta en frecuencia de un circuito. Estos diagramas son muy útiles en los circuitos donde los polos y los ceros de la función de transferencia $G(s)$ están bastante separados.

Un diagrama de Bode consiste en dos gráficos separados: uno muestra cómo varía la amplitud $G(s)$ con la frecuencia, y el segundo exhibe cómo varía el ángulo de fase de $G(s)$ con la frecuencia. Ambos gráficos se realizan en papel semilogarítmico. La frecuencia se representa en la escala logarítmica horizontal, y la amplitud y el ángulo de fase se representan en la escala lineal vertical. Estos diagramas de amplitud y fase se denominan diagramas de Bode en reconocimiento al trabajo pionero efectuado en esta área por H. W. Bode.

El gráfico de la amplitud implica multiplicar y dividir por los factores asociados a los polos y ceros de la función de transferencia. Esta multiplicación y división se reduce a suma y resta si se expresa la amplitud de $G(s)$ en términos de un valor logarítmico: el decibel (dB). La amplitud de $G(s)$ en decibeles es $A_{dB} = 20 \log_{10}|G(s)|$. A continuación se muestra el diagrama de Bode de la amplitud de un cero de primer orden.

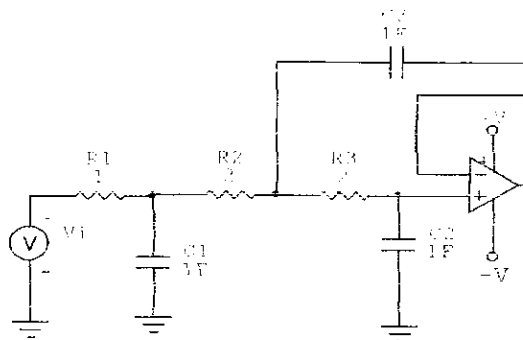


Para el gráfico de ángulos de fase se debe tomar en cuenta lo siguiente: el ángulo de fase para una constante K es cero, y el ángulo de fase para un cero o polo de primer orden en el origen es una constante de $\pm 90^\circ$. Para un cero o polo que no está en el origen el ángulo de fase es 0 para frecuencias menores a un décimo de la frecuencia de esquina (valor de cero o polo) y $\pm 90^\circ$ para frecuencias mayores que diez veces la frecuencia de esquina. Entre estos dos puntos el gráfico del ángulo de fase es una línea recta que pasa por 0° a un décimo de la frecuencia esquina, $\pm 45^\circ$ a la frecuencia esquina y $\pm 90^\circ$ a diez veces la frecuencia esquina. En todos los casos, el signo positivo se aplica al cero de primer orden y el signo negativo al polo de primer orden. A continuación se muestra el diagrama de Bode de fase para un celo y un polo de primer orden.



PRE-LABORATORIO

1. Encuentre la función de transferencia del siguiente circuito.



RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. Si se define la corriente I_1 como la que fluye por R_1 y C_1 , la corriente I_2 como la que fluye por C_1 , R_2 y R_3 , y la corriente I_3 como la que fluye por R_3 y C_3 . Entonces

$$V_i - I_1 - (I_1 - I_2) \frac{1}{s} = 0$$

$$-(I_2 - I_1) \frac{1}{s} - 2I_2 - 2(I_2 - I_3) - V_o = 0$$

$$-2(I_3 - I_2) - \frac{1}{s} I_3 = 0$$

$$V_o = (I_2 - I_3) \frac{1}{s}$$

$$I_1 = \frac{V_i + \frac{I_2}{s}}{1 + \frac{1}{s}} = \frac{sV_i + I_2}{s + 1}$$

$$I_3 = \frac{-I_2}{1 + 2s}$$

$$I_2 = \frac{s^2 V_i}{5s^2 + 6s + 2}$$

$$I_3 = \frac{-s^2 V_i}{(5s^2 + 6s + 2)(1 + 2s)}$$

$$G(s) = \frac{2s(1 + s)}{(5s^2 + 6s + 2)(1 + 2s)}$$

DESCRIPCIÓN BREVE

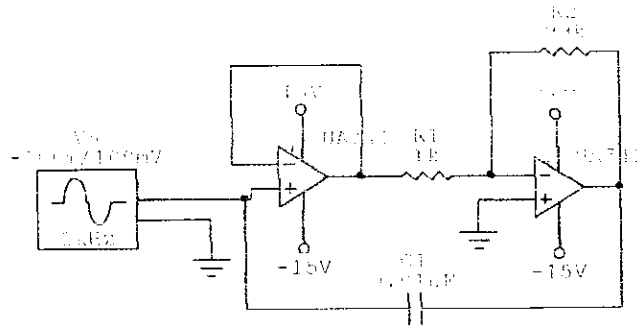
El alumno deberá analizar dos circuitos para determinar su función de transferencia en términos de s . Con esta función de transferencia se deberá graficar el diagrama de Bode teórico de amplitud y fase. Luego, el alumno deberá construir el circuito y hacer las mediciones correspondientes para llenar una tabla con datos de ganancia y frecuencia, con estos datos se deberá realizar el diagrama de Bode experimental. Se pide una comparación de los resultados de estos circuitos y también una comparación con el diagrama de Bode obtenido en la simulación.

MATERIALES

- dos opamps 741 o equivalentes
- dos capacitores de 0.01 μF
- resistencias de 1 $\text{k}\Omega$, 10 $\text{k}\Omega$ y 99 $\text{k}\Omega$

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

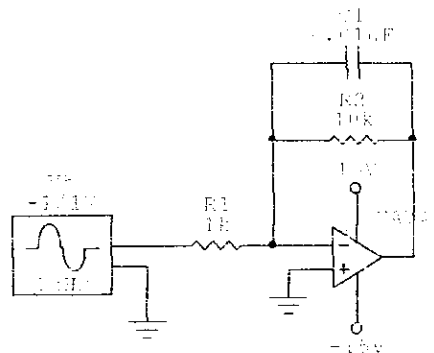
1. Considere el siguiente circuito:



- a) Determine analíticamente la función de transferencia en términos de s , del circuito anterior.
- b) Dibuje los diagramas de Bode de amplitud y fase teóricos del circuito a partir de la función de transferencia obtenida en el inciso anterior.
- c) Construya el circuito en su protoboard y complete la tabla siguiente midiendo la ganancia del circuito en las diferentes frecuencias mencionadas.

Frecuencia	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1Hz		
10Hz		
100Hz		
1kHz		
10kHz		
100kHz		
1MHz		

- d) Haga una gráfica de ganancia en dB vs frecuencia para obtener el diagrama de Bode de amplitud experimental. Recuerde que para la gráfica la escala en el eje x debe ser semilogarítmica.
 - e) Observe la simulación #1 para esta práctica y compare los resultados del diagrama de Bode de la simulación con los del diagrama de Bode de amplitud y fase teóricos y el de amplitud experimental.
2. Considere el siguiente circuito:



- a) Determine analíticamente la función de transferencia en términos de s , del circuito

anterior.

- b) Dibuje los diagramas de Bode de amplitud y fase teóricos del circuito a partir de la función de transferencia obtenida en el inciso anterior.
- c) Construya el circuito en su protoboard y complete la tabla siguiente midiendo la ganancia del circuito en las diferentes frecuencias mencionadas.

Frecuencia	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1Hz		
10Hz		
100Hz		
1kHz		
10kHz		
100kHz		
1MHz		

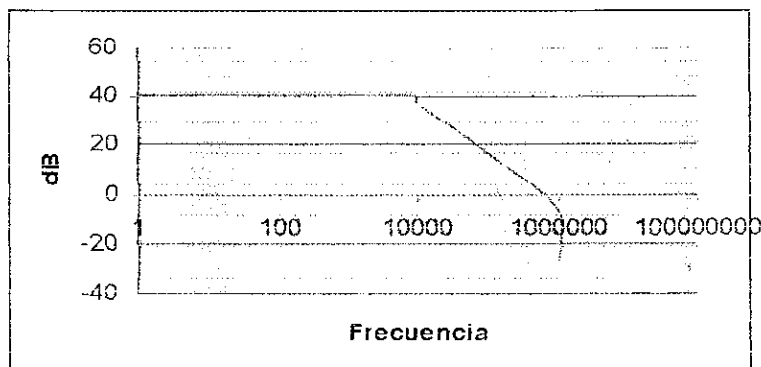
- d) Haga una gráfica de ganancia en dB vrs frecuencia para obtener el diagrama de Bode de amplitud experimental. Recuerde que para la gráfica la escala en el eje x debe ser *semilogarítmica*.
- e) Observe la simulación #2 para esta práctica y compare los resultados del diagrama de Bode de la simulación con los del diagrama de Bode de amplitud y fase teóricos y el de amplitud experimental.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

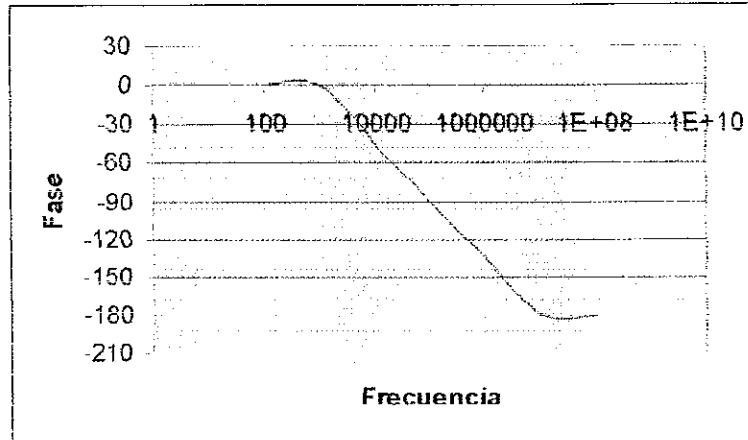
1.

- a) La función de transferencia del circuito es $G(s) = \frac{99}{\left(\frac{100}{\omega_0} s + 1\right) \left(\frac{s}{\omega_0} + 1\right)}$, como ω_0 es la ganancia a lazo abierto del opamp, y esta es igual a $2\pi \times 10^6$ entonces la función de transferencia queda de la siguiente manera: $G(s) = \frac{99}{(1.59E-7s + 1)(1.59E-7s + 1)}$.

- b) La contribución de la constante de la función para el diagrama de Bode es $20 \cdot \log 99 = 39.91$ dB, y la función tiene dos polos uno en $p_1 = 10009.74$ Hz y el otro en $p_2 = 1000974.48$ Hz. Por lo tanto, el diagrama de Bode de amplitud teórico queda de la siguiente forma:



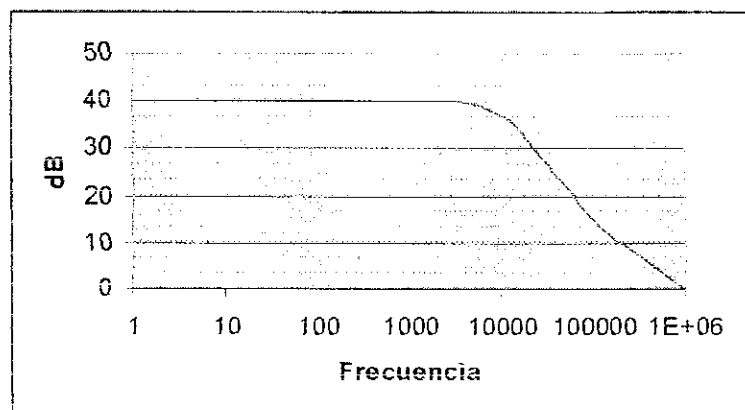
El diagrama de Bode de fase teórico queda de la siguiente forma:



c) La tabla con los datos experimentales queda de la siguiente forma:

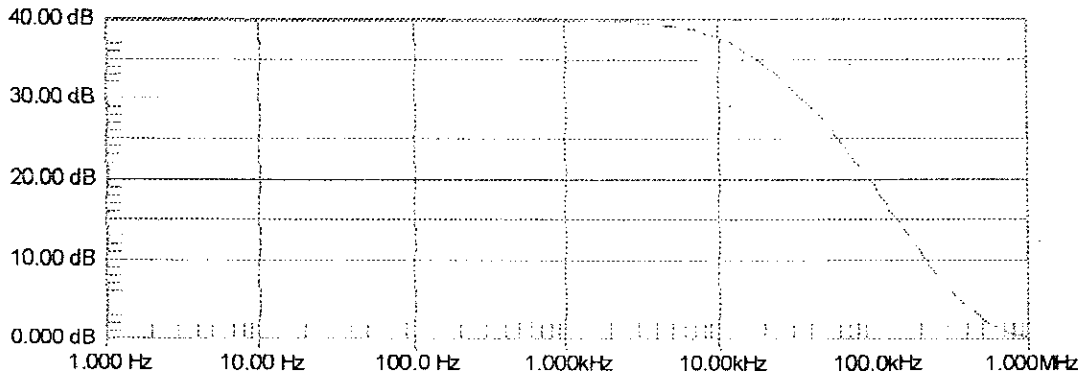
Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1	100	40
10	100	40
100	100	40
1000	100	40
10000	71.9	37.13
100000	5.33	14.53
1000000	1	0

d) La gráfica que representa al diagrama de Bode de amplitud experimental queda como sigue:

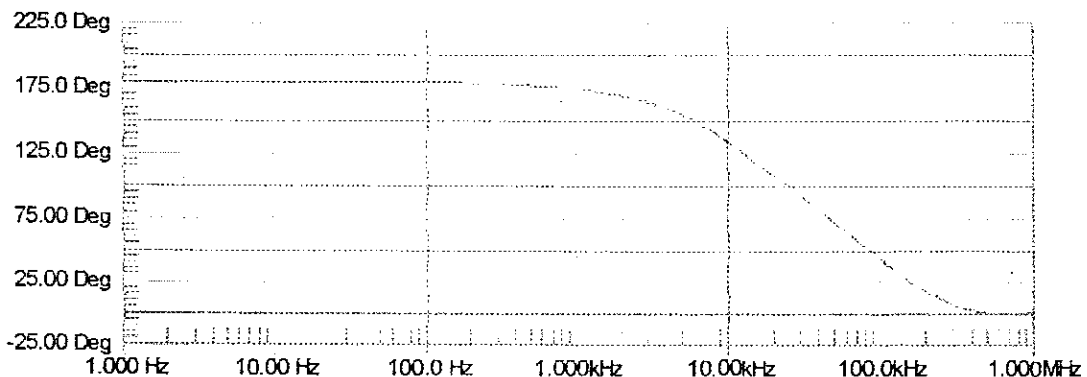


e) A continuación se muestran los diagramas de Bode de amplitud y fase obtenidos en la simulación:

A: c1_2



A: c1_2

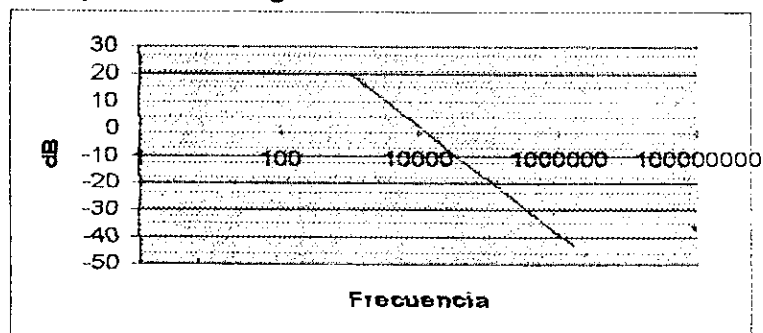


Se puede observar que las gráficas del diagrama de Bode de amplitud en los tres casos: teórico, experimental y simulación, se parecen, es decir, caen con la misma atenuación y tienen la frecuencia de corte aproximadamente en el mismo lugar. Con el diagrama de fase se observa que la simulación tuvo problemas para representar el diagrama de Bode ya que aunque si existe la atenuación de -180° , la gráfica inicia en 180° y no en 0° como el diagrama teórico lo indica.

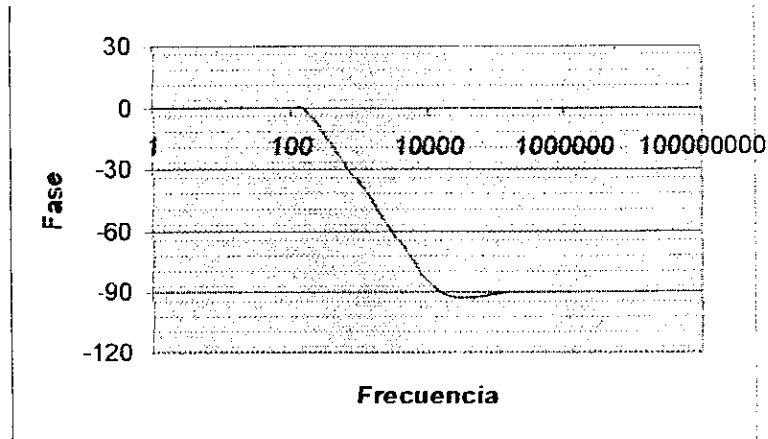
2.

a) La función de transferencia del circuito es $G(s) = \frac{10}{0.0001s + 1}$.

b) La contribución de la constante de la función para el diagrama de Bode es $20 \cdot \log 10 = 20$ dB, y la función tiene un polo en $p_1 = 1591.55$ Hz. Por lo tanto el diagrama de Bode de amplitud teórico queda de la siguiente forma:



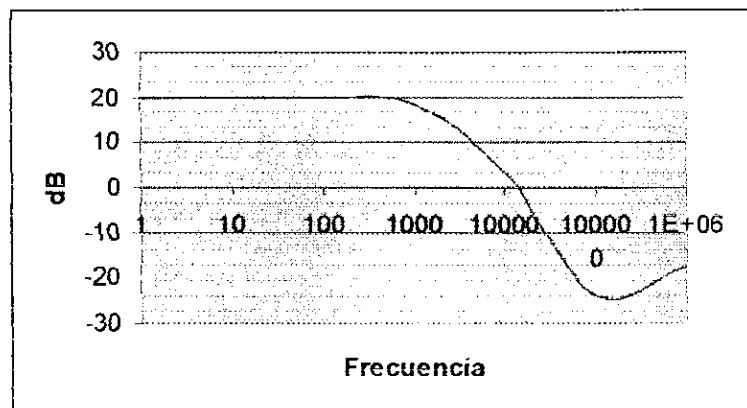
El diagrama de Bode de fase teórico queda de la siguiente forma:



c) La tabla con los datos experimentales queda de la siguiente forma:

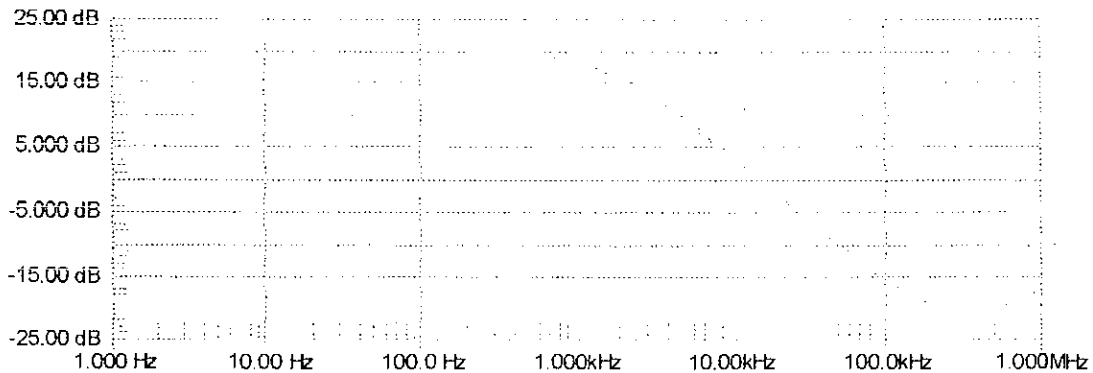
Frecuencia en Hz	Ganancia en V/V	Ganancia en dB
1	10	20
10	10	20
100	10	20
1000	8.4139	18.49994692
10000	1.4657	3.320901757
100000	0.065	-23.74173287
1000000	0.132	-17.58852138

d) La gráfica que representa al diagrama de Bode de amplitud experimental queda como sigue:

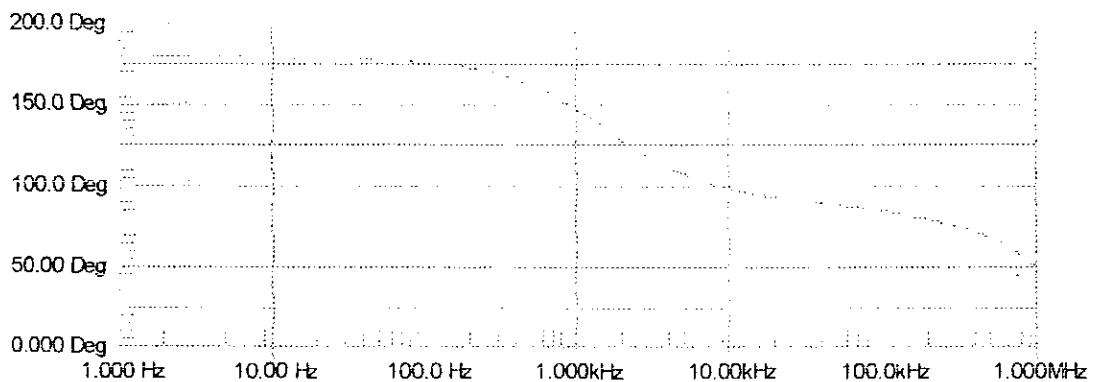


e) A continuación se muestran los diagramas de Bode de amplitud y fase obtenidos en la simulación:

A.11.2



A.11.3



Se puede observar que las gráficas del diagrama de Bode de amplitud en los tres casos: teórico, experimental y simulación, se parecen, es decir, caen con la misma atenuación y tienen la frecuencia de corte aproximadamente en el mismo lugar. Es más el diagrama de Bode experimental y de simulación son mucho más similares ya que se puede observar que en ambos se observa que aproximadamente después de los 120 kHz la amplitud vuelve a subir como comportándose como un filtro Chebyshev. Con el diagrama de fase se observa que la simulación tuvo problemas para representar el diagrama de Bode ya que aunque si existe la atenuación de -90° , la gráfica inicia en 180° y no en 0° como el diagrama teórico lo indica.

REFERENCIAS

- Nilsson, James. 1995. *Circuitos Eléctricos*. 4ª ed. Delaware, Addison Wesley. 981 págs.
- <http://www.ctc-control.com/customer/elearning/servotut/Bode.asp>
- <http://www.chemeng.ed.ac.uk/~igds/Control/module7/module7-2.html>

AMPLIFICADORES OPERACIONALES CON DIODOS Y TRANSISTORES

PRÁCTICA #9

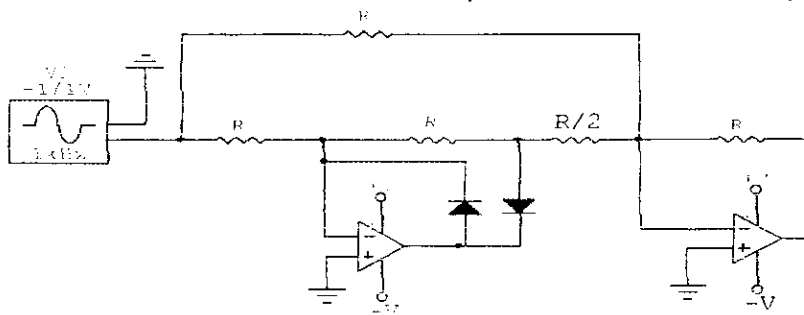
OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir varias aplicaciones de circuitos de amplificadores operacionales con diodos como el circuito rectificador de precisión, el circuito convertidor de AC a DC y el regulador de voltaje de precisión.
- Verificar que las aplicaciones de circuitos de amplificadores operacionales con diodos presentan mejoras a circuitos convencionales que realizan la misma función.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

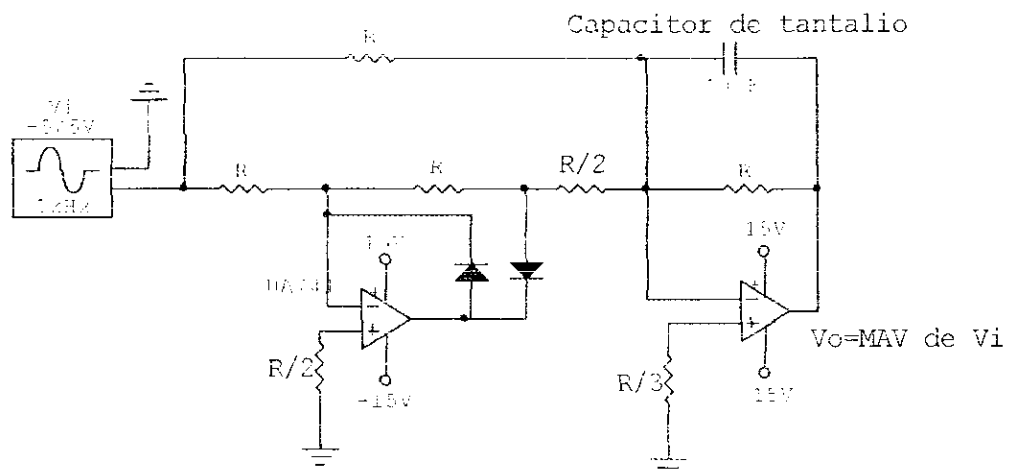
La limitación principal de los diodos de silicio comunes es que no son capaces de rectificar voltajes por debajo de 0.6 V. Entonces resulta la necesidad de un diodo ideal que siempre que haya voltajes de entrada positivos se produzca un voltaje de salida, aun cuando dichos voltajes estén por debajo de 0.6 V. Para diseñar un circuito que se comporte como diodo ideal se utiliza un amplificador operacional con diodos comunes, a esto se le conoce como el super diodo, se obtiene así un poderoso circuito capaz de actuar con señales de entrada, incluso de unos cuantos milivoltios. El bajo costo de este circuito, equivalente a un diodo ideal, permite utilizarlo de manera sistemática en diversas aplicaciones.

Circuito rectificador de precisión. El rectificador de onda completa de precisión transmite una polaridad de la señal de entrada e invierte la otra. Es decir, se transmiten los dos semiciclos de un voltaje alterno, pero convirtiéndolos a una sola polaridad de la salida del circuito. Con un rectificador de onda completa de precisión se rectifican voltajes de entrada con amplitudes del rango de los milivoltios. En el caso de un circuito rectificador de precisión la salida puede ser positiva o negativa, dependiendo de cómo estén instalados los diodos. A continuación se muestra un circuito rectificador de precisión de onda completa:



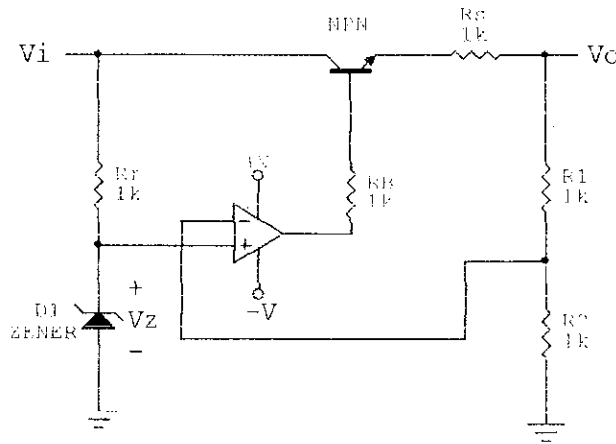
En este circuito para las entradas positivas, el primer opamp invierte la entrada del generador de funciones, V_i . El segundo opamp suma la salida del primero con V_i para dar una salida del circuito $V_o = V_i$. En el caso de las entradas negativas, el segundo opamp invierte $-V_i$ y la salida del circuito es $+V_i$. Por lo tanto, la salida del circuito V_o es positiva e igual al valor rectificado.

Convertidor de AC a DC. El circuito convertidor de AC a DC es un circuito que calcula el valor promedio de un voltaje alterno rectificado. Dado que el circuito rectificador de onda completa se conoce también como circuito de valor absoluto y dado que al valor promedio se le llama también valor medio, a este convertidor se le denomina circuito de valor medio absoluto (mean absolute value, MAV). El voltaje MAV de una onda de voltaje es aproximadamente igual a su valor rms. Por ello, en vez de utilizar un costoso circuito para cálculo del rms, se emplea un económico circuito MAV. Este circuito utiliza el circuito rectificador descrito anteriormente, y se le añade un capacitor de baja fuga y con un alto valor, por ejemplo un capacitor de 10 μ F de tantalio. A continuación se muestra el circuito resultante:



En este circuito el capacitor de tantalio se encarga de promediar la salida rectificada del amplificador operacional. Transcurren aproximadamente de 50 a 500 ciclos de voltaje de entrada antes de que el voltaje del capacitor se estabilice y sea igual al valor de su lectura final.

Regulador de voltaje de precisión. El regulador de voltaje normal que utiliza solamente un diodo zener es útil cuando la demanda de corriente es pequeña. Sin embargo, cuando la corriente crece el diodo zener puede cortarse y el regulador de voltaje dejaría de trabajar. Para solucionar este problema se utiliza una combinación de diodo zener con un amplificador operacional como se muestra en el siguiente circuito:

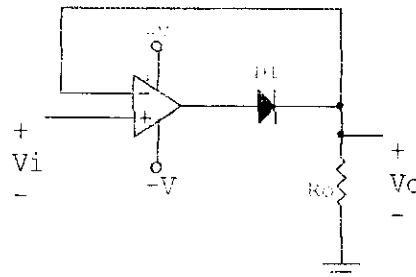


Para este circuito $V_o = \frac{V_Z}{K} \left(\frac{R_B}{\beta + 1} + R_S \right) I_o$, donde A es la ganancia a lazo abierto del opamp y

$K = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$. En la ecuación de V_o se observa que como AK es muy grande, se necesitaría un valor demasiado grande para I_o (corriente de salida) para poder afectar o variar el voltaje de salida regulado, esto significa que el voltaje regulado no depende de el voltaje de entrada V_i , y el voltaje regulado está determinado aproximadamente por $V_o = \frac{V_Z}{K}$. Por lo tanto, el voltaje regulado puede fijarse variando R_1 y R_2 .

PRE-LABORATORIO

1. A continuación se muestra el circuito del super diodo. Analice este circuito para obtener una expresión de V_o en términos de V_i .



DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar y construir el circuito rectificador de precisión y el convertidor de corriente alterna a directa para comprobar las características teóricas de los circuitos. También deberá construir una configuración convencional de un regulador de voltaje con diodo zener y un circuito regulador de voltaje como el que se muestra en los antecedentes teóricos para comprobar que el circuito de amplificadores operacionales con diodos es una mejora al circuito convencional de regulador de voltaje.

MATERIALES

- dos opamps 741 o equivalente
- dos diodos convencionales
- un capacitor de tantalio de 10 μF o un capacitor normal de 50 nF
- un transistor BJT tipo npn
- un diodo zener de 5.1 V
- resistencias variadas según los diseños

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1.

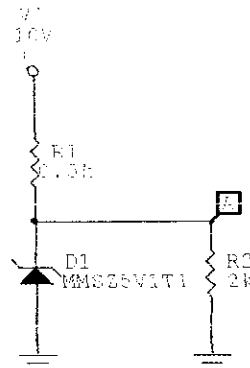
- Diseñe un circuito rectificador de precisión como el que se muestra en los antecedentes teóricos.
- Construya el circuito en su protoboard y compruebe que funciona como un rectificador utilizando una señal de entrada sinusoidal con amplitud de 5 V.
- Disminuya la amplitud de la señal de entrada a 0.7 V y verifique que el circuito sigue rectificando.
- Siga disminuyendo el valor de la amplitud de la señal de entrada para determinar hasta que valor todavía rectifica el circuito de precisión.

2.

- Construya el circuito convertidor de AC a DC que se muestra en los antecedentes teóricos utilizando el circuito rectificador de precisión que diseñó en el inciso 1.
- Compruebe que el circuito se comporta como un convertidor de AC a DC, analizando las señales de entrada y de salida del circuito. Utilice como señal de entrada una señal sinusoidal de con 5 V de amplitud.
- Verifique que el circuito sigue funcionando adecuadamente cuando la amplitud de la señal de entrada disminuye a valores menores de 0.7 V.
- Mida con un multímetro el valor de voltaje RMS de la señal de entrada con 5 V de amplitud y compare este valor con el voltaje DC obtenido en la salida del circuito convertidor. ¿Qué puede concluir de lo observado?

3.

- Construya el siguiente circuito utilizando un diodo zener de 5.1 V.



Varié el valor de la resistencia R2 y haga las mediciones de voltaje correspondientes en el punto A, para poder completar la siguiente tabla.

R2 en ohms	Voltaje de Salida
2000	
1000	
800	
500	
300	
100	
50	

- b) Suponga que se necesita utilizar el diodo zener en la configuración estudiada en el inciso a, para alimentar un circuito integrado que necesita una fuente constante de 5 V, ¿Es esa configuración apropiada? ¿Por qué?
- c) Diseñe un circuito regulador de voltaje como el mostrado en los antecedentes teóricos que proporcione un voltaje de salida regulado de aproximadamente 5 V.
- d) Construya el circuito con una resistencia de carga en la salida. Varíe esta resistencia y haga las mediciones correspondientes de voltaje en la salida del circuito regulador para poder completar la siguiente tabla.

R de carga en ohms	Voltaje de Salida
2000	
1000	
800	
500	
300	
100	
50	

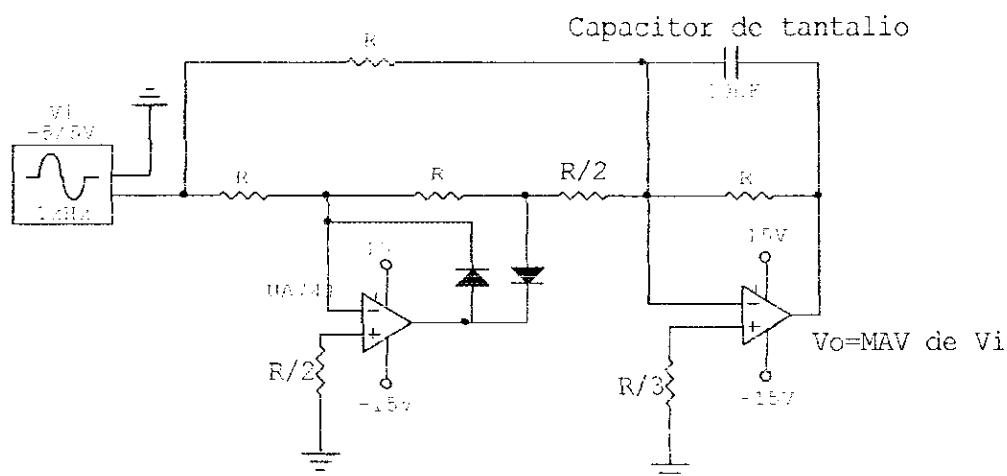
- e) Este circuito, ¿soluciona el problema de alimentación del circuito integrado planteado en el inciso b? ¿Por qué?

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

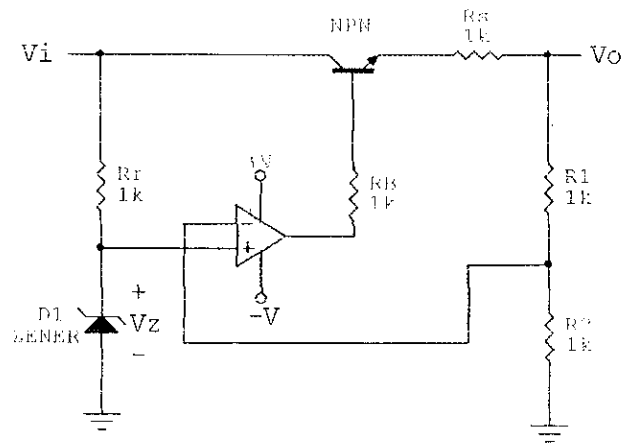
En este circuito para las entradas positivas, el primer opamp invierte la entrada del generador de funciones, V_i . El segundo opamp suma la salida del primero con V_i para dar una salida del circuito $V_o = V_i$. En el caso de las entradas negativas, el segundo opamp invierte $-V_i$ y la salida del circuito es $+V_i$. Por lo tanto, la salida del circuito V_o es positiva e igual al valor rectificado.

Convertidor de AC a DC. El circuito convertidor de AC a DC es un circuito que calcula el valor promedio de un voltaje alterno rectificado. Dado que el circuito rectificador de onda completa se conoce también como circuito de valor absoluto y dado que al valor promedio se le llama también valor medio, a este convertidor se le denomina circuito de valor medio absoluto (*mean absolute value, MAV*). El voltaje MAV de una onda de voltaje es aproximadamente igual a su valor rms. Por ello, en vez de utilizar un costoso circuito para cálculo del rms, se emplea un económico circuito MAV. Este circuito utiliza el circuito rectificador descrito anteriormente, y se le añade un capacitor de baja fuga y con un alto valor, por ejemplo un capacitor de 10 μ F de tantalio. A continuación se muestra el circuito resultante:



En este circuito el capacitor de tantalio se encarga de promediar la salida rectificada del amplificador operacional. Transcurren aproximadamente de 50 a 500 ciclos de voltaje de entrada antes de que el voltaje del capacitor se estabilice y sea igual al valor de su lectura final.

Regulador de voltaje de precisión. El regulador de voltaje normal que utiliza solamente un diodo zener es útil cuando la demanda de corriente es pequeña. Sin embargo, cuando la corriente crece el diodo zener puede cortarse y el regulador de voltaje dejaría de trabajar. Para solucionar este problema se utiliza una combinación de diodo zener con un amplificador operacional como se muestra en el siguiente circuito:

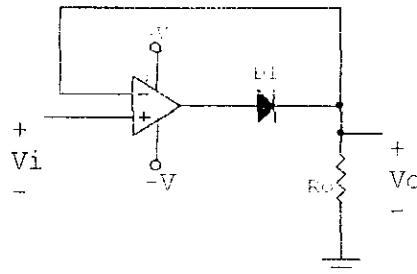


Para este circuito $V_o = \frac{V_z}{K} - \frac{\left(\frac{R_B}{\beta + 1} + R_s\right)}{AK} I_o$, donde A es la ganancia a lazo abierto del opamp y

$K = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$. En la ecuación de V_o se observa que como AK es muy grande, se necesitaría un valor demasiado grande para I_o (corriente de salida) para poder afectar o variar el voltaje de salida regulado, esto significa que el voltaje regulado no depende de el voltaje de entrada V_i , y el voltaje regulado está determinado aproximadamente por $V_o = \frac{V_z}{K}$. Por lo tanto el voltaje regulado puede fijarse variando R_1 y R_2 .

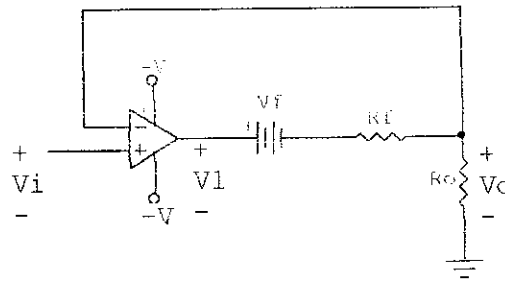
PRE-LABORATORIO

1. A continuación se muestra el circuito del super diodo. Analice este circuito para obtener una expresión de V_o en términos de V_i .



RESPUESTAS AL PRE-LABORATORIO

1. Debe modelarse el diodo con el modelo de batería más resistencia para obtener el siguiente circuito resultante:



Por lo tanto se pueden considerar las siguientes ecuaciones:

$$-V_1 + V_f + (R_o + R_f)I = 0$$

$\frac{V_1}{A} = \frac{V_f}{A} + \frac{(R_o + R_f)}{A} I$, donde A es la ganancia del opamp en lazo abierto.

$$V_o = \left(\frac{R_o}{R_o + \frac{R_o + R_f}{A}} \right) V_i - \left(\frac{R_o}{R_o + \frac{R_o + R_f}{A}} \right) \frac{V_f}{A}, \text{ y si se desprecia } \frac{R_o + R_f}{A} \text{ porque A est\u00e1 en}$$

el orden de 10^5 se obtiene: $V_o = V_i - \frac{V_f}{A}$. Por lo tanto este diodo empieza a conducir

no a 0.7 V como el diodo normal sino cuando V_i es mayor que V_f/A que es una cantidad muy peque\u00f1a cercana a cero. Se concluye de esto que el super diodo se comporta aproximadamente como un diodo ideal.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deber\u00e1 dise\u00f1ar y construir el circuito rectificador de precisi\u00f3n y el convertidor de corriente alterna a directa para comprobar las caracter\u00edsticas te\u00f3ricas de los circuitos. Tambi\u00e9n deber\u00e1 construir una configuraci\u00f3n convencional de un regulador de voltaje con diodo zener y un circuito regulador de voltaje como el que se muestra en los antecedentes te\u00f3ricos para comprobar que el circuito de amplificadores operacionales con diodos es una mejora al circuito convencional de regulador de voltaje.

MATERIALES

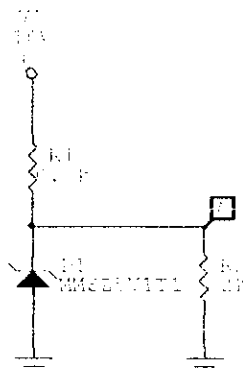
- dos opamps 741 o equivalente
- dos diodos convencionales
- un capacitor de tantalio de 10 μF o un capacitor normal de 50 nF
- un transistor BJT tipo npn
- un diodo zener de 5.1 V
- resistencias variadas seg\u00fan los dise\u00f1os

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1.

- a) Dise\u00f1e un circuito rectificador de precisi\u00f3n como el que se muestra en los antecedentes te\u00f3ricos.

- b) Construya el circuito en su protoboard y compruebe que funciona como un rectificador utilizando una señal de entrada sinusoidal con amplitud de 5 V.
 - c) Disminuya la amplitud de la señal de entrada a 0.7 V y verifique que el circuito sigue rectificando.
 - d) Siga disminuyendo el valor de la amplitud de la señal de entrada para determinar hasta que valor todavía rectifica el circuito de precisión.
- 2.
- a) Construya el circuito convertidor de AC a DC que se muestra en los antecedentes teóricos utilizando el circuito rectificador de precisión que diseñó en el inciso 1.
 - b) Compruebe que el circuito se comporta como un convertidor de AC a DC, analizando las señales de entrada y de salida del circuito. Utilice como señal de entrada una señal sinusoidal de con 5 V de amplitud.
 - c) Verifique que el circuito sigue funcionando adecuadamente cuando la amplitud de la señal de entrada disminuye a valores menores de 0.7 V.
 - d) Mida con un multímetro el valor de voltaje RMS de la señal de entrada con 5 V de amplitud y compare este valor con el voltaje DC obtenido en la salida del circuito convertidor. ¿Qué puede concluir de lo observado?
- 3.
- a) Construya el siguiente circuito utilizando un diodo zener de 5.1 V.



Varíe el valor de la resistencia R_2 y haga las mediciones de voltaje correspondientes en el punto A, para poder completar la siguiente tabla.

R_2 en ohms	Voltaje de Salida
2000	
1000	
800	
500	
300	
100	
50	

- b) Suponga que se necesita utilizar el diodo zener en la configuración estudiada en el inciso a, para alimentar un circuito integrado que necesita una fuente constante de 5 V, ¿Es esa configuración apropiada? ¿Por qué?
- c) Diseñe un circuito regulador de voltaje como el mostrado en los antecedentes teóricos que proporcione un voltaje de salida regulado de aproximadamente 5 V.

d) Construya el circuito con una resistencia de carga en la salida. Varíe esta resistencia y haga las mediciones correspondientes de voltaje en la salida del circuito regulador para poder completar la siguiente tabla.

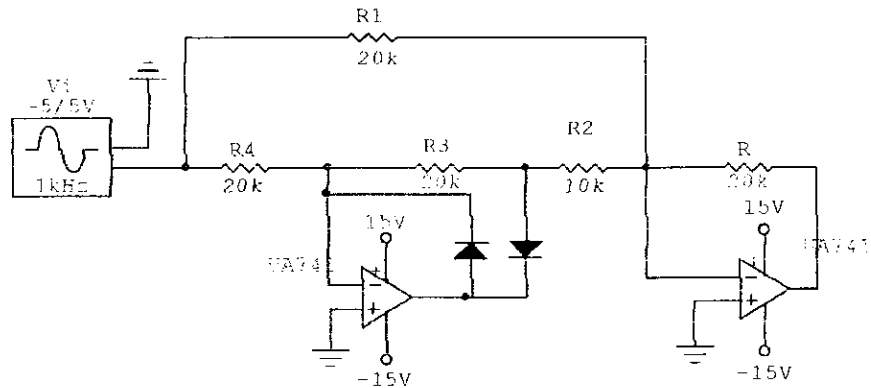
R de carga en ohms	Voltaje de Salida
2000	
1000	
800	
500	
300	
100	
50	

e) Este circuito, ¿soluciona el problema de alimentación del circuito integrado planteado en el inciso b)? ¿Por qué?

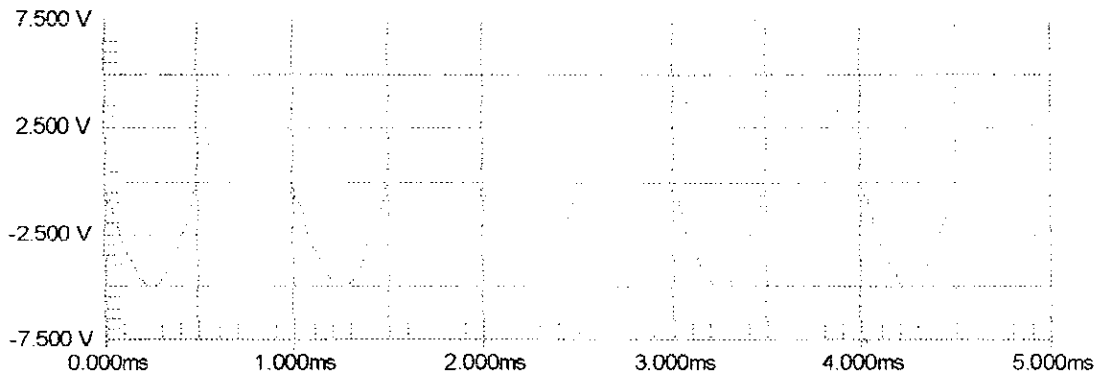
RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

1.

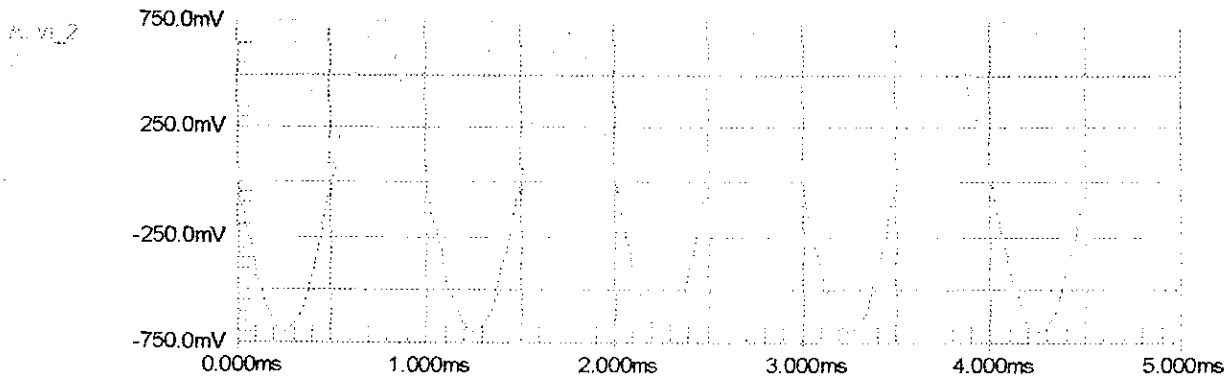
a) A continuación se muestra el circuito rectificador diseñado:



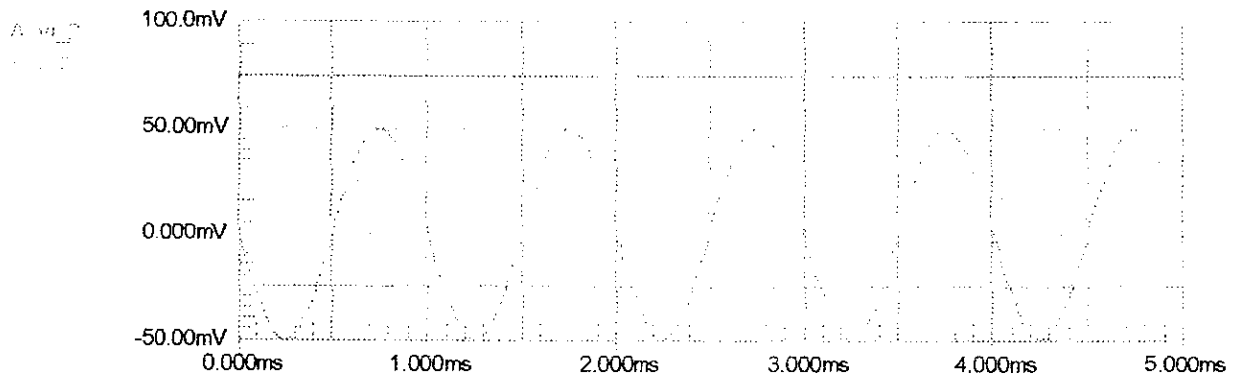
b) Se comprueba que el circuito funciona como un rectificador de onda completa al observar la gráfica siguiente que muestra las señales de entrada y salida del circuito según el simulador.



- c) Se comprueba que el circuito sigue funcionando como un rectificador de onda completa para una amplitud de 0.7 V, al observar la gráfica siguiente que muestra las señales de entrada y salida del circuito según el simulador.

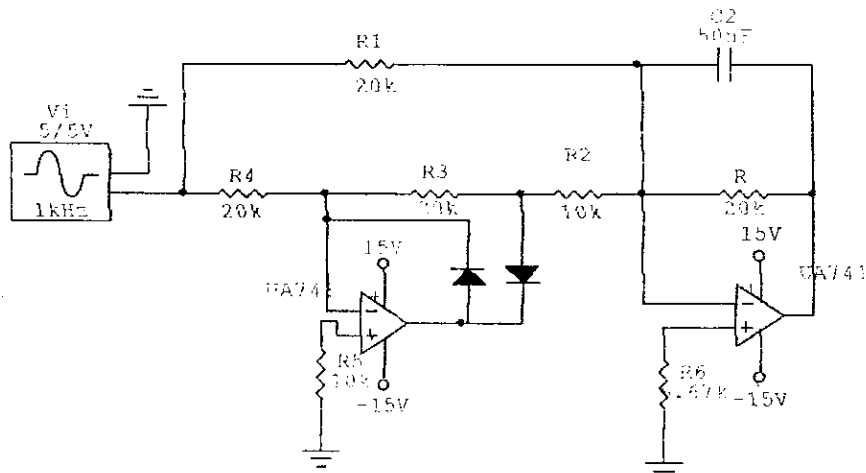


- d) Para 50 mV el circuito todavía sigue rectificando, sin embargo ya se empiezan a observar distorsiones en la señal de salida, las cuales al seguir disminuyendo la amplitud aumentan y el circuito deja de funcionar correctamente. A continuación se muestran las formas de onda para una amplitud de 50 mV.

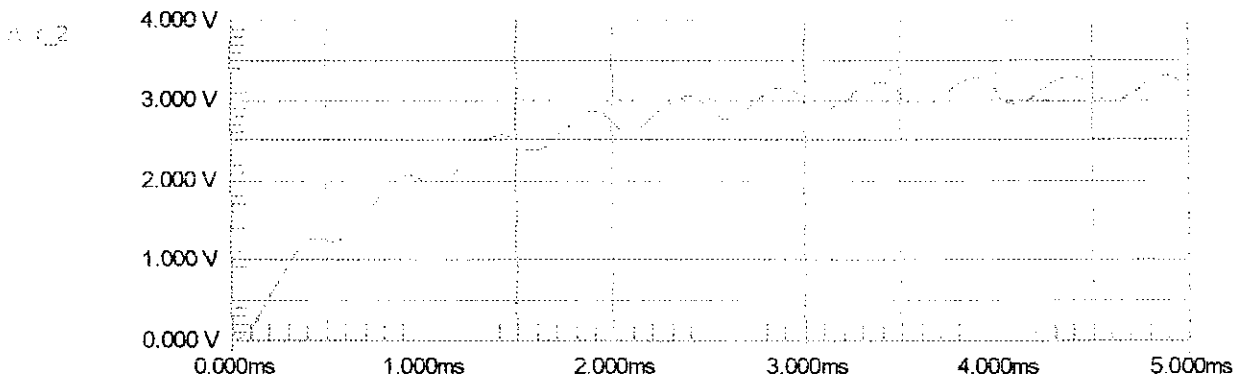


2.

- a) A continuación se muestra el circuito resultante diseñado:

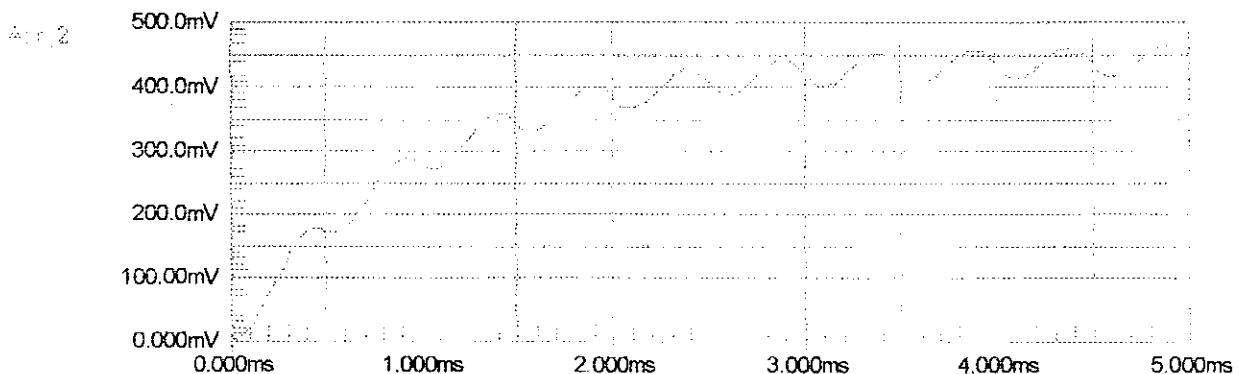


b) A continuación se muestra la señal de salida del circuito convertidor de AC a DC:



En este circuito se observa que, como lo menciona la teoría, existe un tiempo de latencia en lo que el capacitor se estabiliza y la lectura llega a su valor final. En la gráfica se observan oscilaciones sobre el valor final que en la práctica desaparecerán por los efectos del capacitor de tantalio. Sin embargo la señal oscila sobre un valor final DC de aproximadamente 3.33 V.

c) Para 0.7 V de amplitud y valores menores el circuito sigue funcionando correctamente. A continuación se muestra la forma de onda de la señal de salida del circuito a una amplitud de 0.7 V, el valor DC en este caso es de 0.43 V.



d) El valor rms de la señal de entrada AC a una amplitud de 5 V es de 3.535 V. Este valor se acerca bastante al valor DC obtenido en el inciso b, por tanto se comprueba que el valor DC de la salida del circuito será aproximadamente igual al valor rms AC de la señal de entrada.

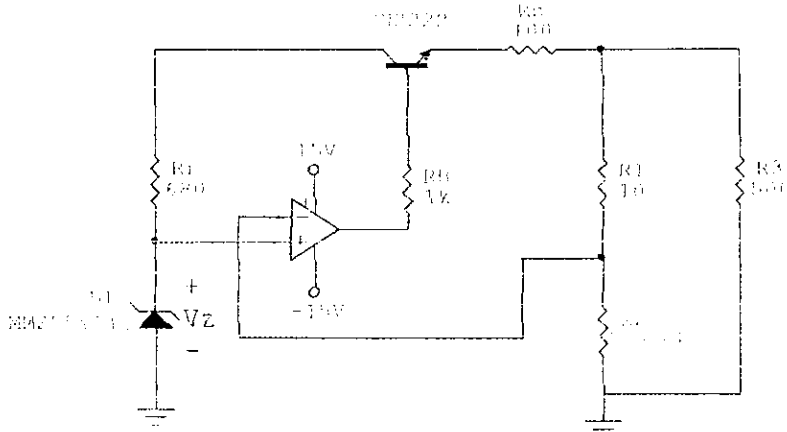
3.

a)

R2 en ohms	Voltaje de Salida
2000	5.201V
1000	5.085V
800	5.018V
500	4.751V
300	3.833V
100	1.705V

50	0.93V
----	-------

- b) No es una configuración apropiada ya que si la carga varía a valores de resistencia muy pequeños el voltaje no se mantiene en 5 V, sino disminuye drásticamente. Esto podría causar que el integrado en mención no funcione correctamente.
- c) A continuación se muestra el circuito diseñado para el regulador de voltaje de precisión:



Para este circuito $K = \frac{10M\Omega}{10M\Omega + 10\Omega} = 0.99$, por lo tanto $V_o = \frac{V_z}{K} = \frac{5.1V}{0.99} = 5.1 V$.

d) La tabla después de hacer las mediciones queda de la siguiente forma:

R de carga en ohms	Voltaje de Salida
2000	4.62V
1000	4.7V
800	4.73V
500	4.81V
300	4.92V
100	5.23V
50	5.5 V

e) El circuito sí soluciona el problema ya que mantiene el voltaje regulado cerca de 5 V que es lo que necesita el integrado para funcionar adecuadamente, a pesar de que la resistencia de carga disminuya considerablemente y la corriente de salida aumente.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

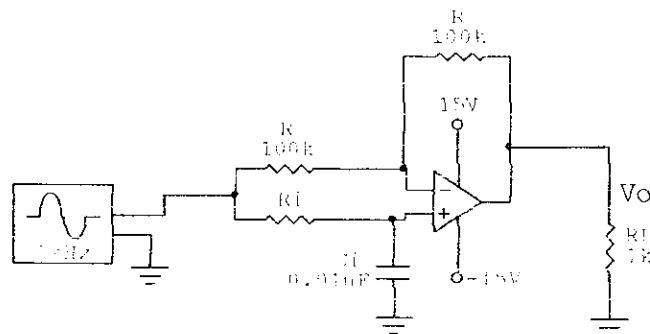
EL CIRCUITO DESFASADOR PRÁCTICA #10

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un circuito que, teniendo como entrada una señal sinusoidal, obtenga en la salida la misma señal con la misma amplitud, pero con un desfase de 30° .
- Diseñar y construir un circuito que, teniendo como entrada una señal sinusoidal, obtenga en la salida la misma señal con el doble de amplitud y un desfase de 60° .

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Circuito desfasador. Un circuito desfasador ideal debe ser capaz de transmitir una onda sin cambiar su amplitud, aunque sí modificando su ángulo de fase de acuerdo con una cantidad preestablecida. Para construir un circuito desfasador sólo se necesitan tres resistencias y un capacitor como se muestra en la figura siguiente.



En este circuito el ángulo de fase θ , sólo depende de R_i , de C_i y de la frecuencia de la fuente de entrada. La relación que guardan entre sí es: $\theta = 2 \arctan 2\pi \cdot F \cdot R_i \cdot C_i$, en la cual θ está expresada en grados, F en Hertz, R_i en ohms y C_i en farads. Si se conoce el ángulo de fase deseado, asigne un valor a C_i y resuelva la ecuación para R_i : $R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi \cdot F \cdot C_i}$.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar un circuito que logre desfasar en 30° una señal de entrada sinusoidal sin alterar su amplitud original, luego deberá diseñar un circuito que haga lo mismo sólo que esta vez el circuito deberá desfasar en 60° la señal original y deberá obtener en la señal de salida el doble de amplitud. En ambos casos el alumno deberá construir los circuitos y comprobar los resultados.

MATERIALES

- dos opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- un capacitor de 0.01 μ F
- resistencias de 1k Ω , 100k Ω y variadas según lo requiera el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Diseñe un circuito que teniendo como entrada $V_1 = \text{sen}(t)$, obtenga en la salida la misma señal de entrada sólo que con un desfase de 30° . Note que la señal de salida debe tener la misma amplitud que la de entrada. Construya el circuito en su protoboard y compruebe los resultados.
2. Diseñe un circuito que teniendo como entrada la señal $V_1 = \text{sen}(t)$, obtenga en la salida la misma señal de entrada con un desfase de 60° y con el doble de amplitud. Construya el circuito en su protoboard y compruebe los resultados.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

EL CIRCUITO DESFASADOR

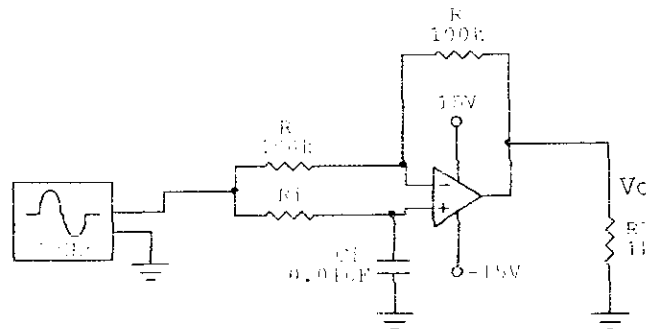
PRÁCTICA #10 GUIA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un circuito que, teniendo como entrada una señal sinusoidal, obtenga en la salida la misma señal con la misma amplitud pero con un desfase de 30°.
- Diseñar y construir un circuito que, teniendo como entrada una señal sinusoidal, obtenga en la salida la misma señal con el doble de amplitud y un desfase de 60°.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Circuito desfasador. Un circuito desfasador ideal debe ser capaz de transmitir una onda sin cambiar su amplitud, aunque sí modificando su ángulo de fase de acuerdo con una cantidad preestablecida. Para construir un circuito desfasador sólo se necesitan tres resistencias y un capacitor como se muestra en la figura siguiente.



En este circuito el ángulo de fase θ , sólo depende de R_i , de C_i y de la frecuencia de la fuente de entrada. La relación que guardan entre sí es: $\theta = 2 \arctan 2\pi \cdot F \cdot R_i \cdot C_i$, en la cual θ está expresada en grados, F en Hertz, R_i en ohms y C_i en farads. Si se conoce el ángulo de fase deseado, asigne un valor a C_i y resuelva la ecuación para R_i : $R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi \cdot C_i}$.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá diseñar un circuito que logre desfasar en 30° una señal de entrada sinusoidal sin alterar su amplitud original, luego deberá diseñar un circuito que haga lo mismo sólo que esta vez el circuito deberá desfasar en 60° la señal original y deberá obtener en la

señal de salida el doble de amplitud. En ambos casos el alumno deberá construir los circuitos y comprobar los resultados.

MATERIALES

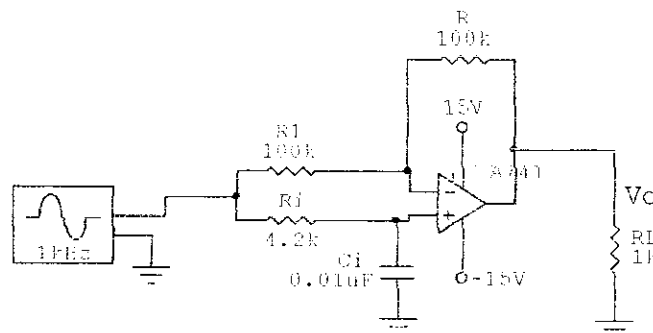
- dos opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- un capacitor de 0.01uF
- resistencias de 1kΩ, 100kΩ y variadas según lo requiera el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

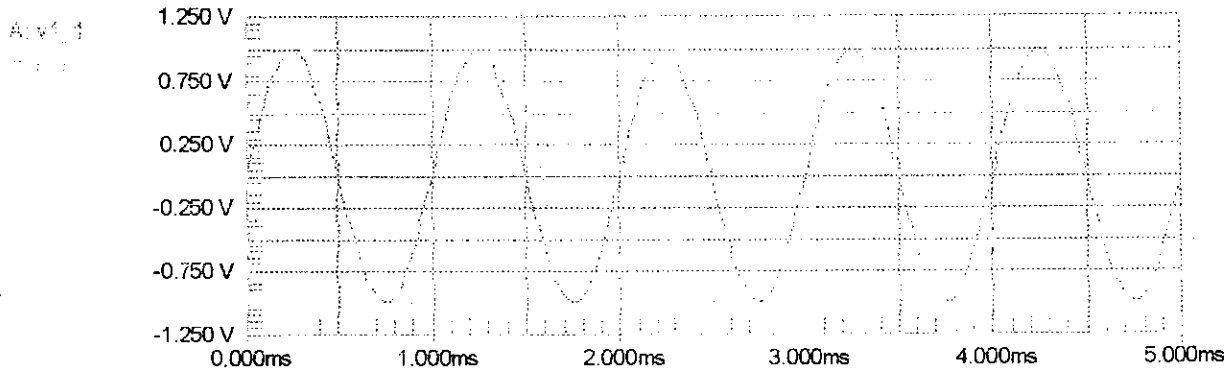
1. Diseñe un circuito que teniendo como entrada $V_1 = \sin(t)$, obtenga en la salida la misma señal de entrada sólo que con un desfase de 30° . Note que la señal de salida debe tener la misma amplitud que la de entrada. Construya el circuito en su protoboard y compruebe los resultados.
2. Diseñe un circuito que teniendo como entrada la señal $V_1 = \sin(t)$, obtenga en la salida la misma señal de entrada con un desfase de 60° y con el doble de amplitud. Construya el circuito en su protoboard y compruebe los resultados.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

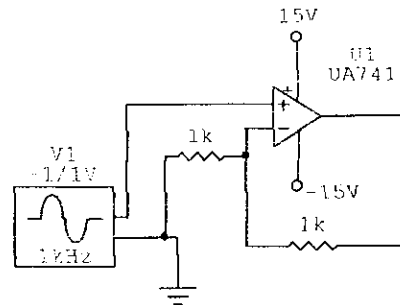
1. Para obtener un circuito que desfase la señal de entrada 30° , primero debe calcularse R_i para el circuito desfasador que se muestra en los antecedentes teóricos. $R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi f C_i} = \frac{\tan(30/2)}{2\pi * 1000 * 0.01 * 10^{-6}} = 4264.54 \Omega$. Por lo tanto se utilizará una resistencia de 4.2 kΩ como se muestra en el circuito siguiente.



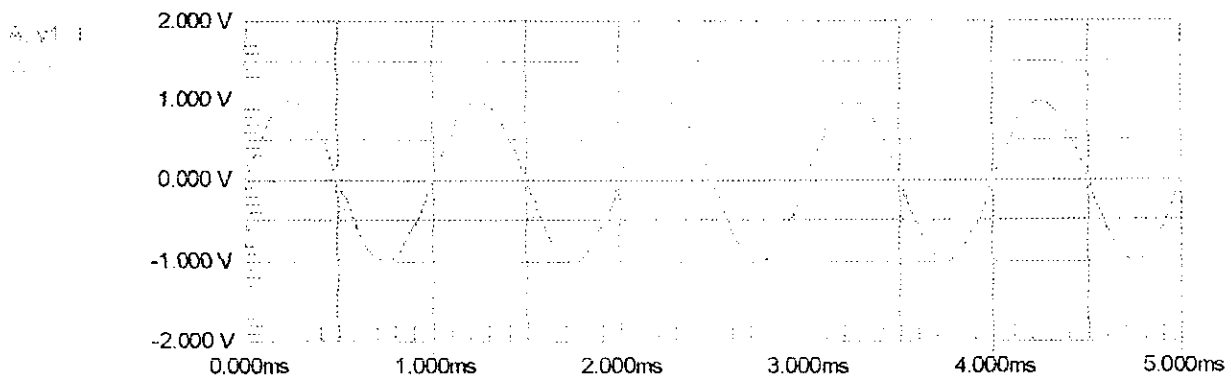
A continuación se muestran las formas de onda de las señales de entrada y salida, con la señal de salida desfasada 30° de la señal de entrada.



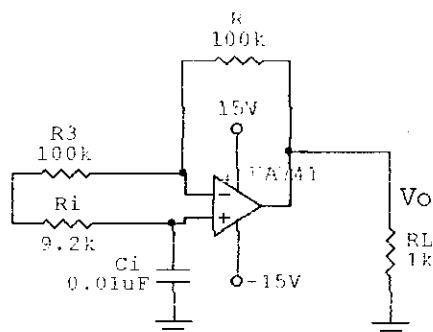
2. El primer paso para el diseño del circuito es diseñar el doblador de voltaje no inversor, para esto se utiliza el circuito amplificador no inversor que se mostró en la práctica #2 como el que se muestra a continuación:



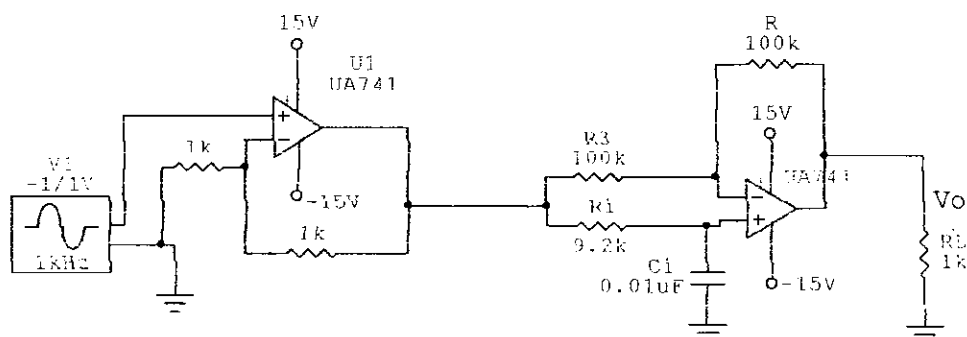
A continuación se muestran las señales de salida y de entrada simultáneamente, como se deben observar en el osciloscopio. (La señal de entrada se muestra en color verde y la de salida en color amarillo)



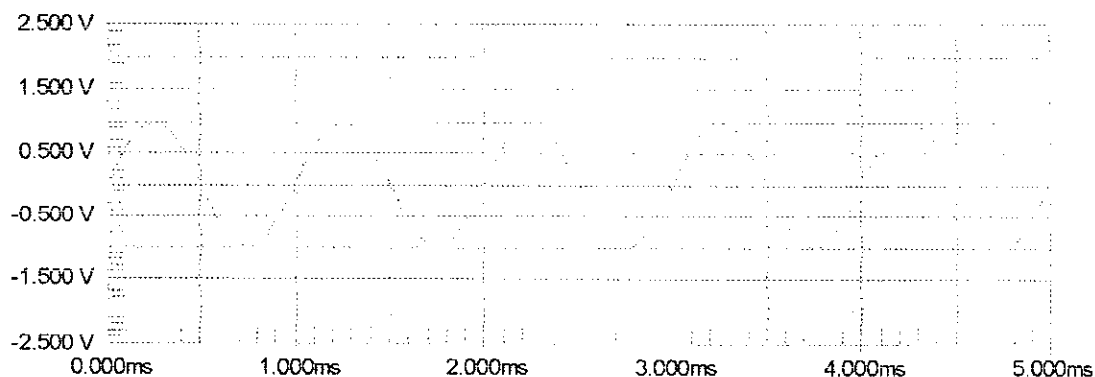
Posteriormente, debe diseñarse el circuito que desfase la señal de entrada 60° , primero debe calcularse R_i para el circuito desfaseador que se muestra en los antecedentes teóricos. $R_i = \frac{\tan(\theta/2)}{2\pi f C_i} = \frac{\tan(60/2)}{2\pi * 1000 * 0.01 * 10^{-6}} = 9188.81 \Omega$. Por lo tanto, se utilizará una resistencia de $9.2 \text{ k}\Omega$ como se muestra en el circuito siguiente.



Gracias a las características de los amplificadores operacionales, el acople de los dos circuitos puede realizarse sin problema alguno, para que el circuito final quede de la siguiente manera:



Y las señales de entrada y salida del circuito se observan de la siguiente forma:



Sería interesante que el alumno comprobara que las características del opamp permiten que el orden en el acople de los dos circuitos no importe, intercambiando el orden de acople en los dos circuitos y observando la misma señal de salida.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

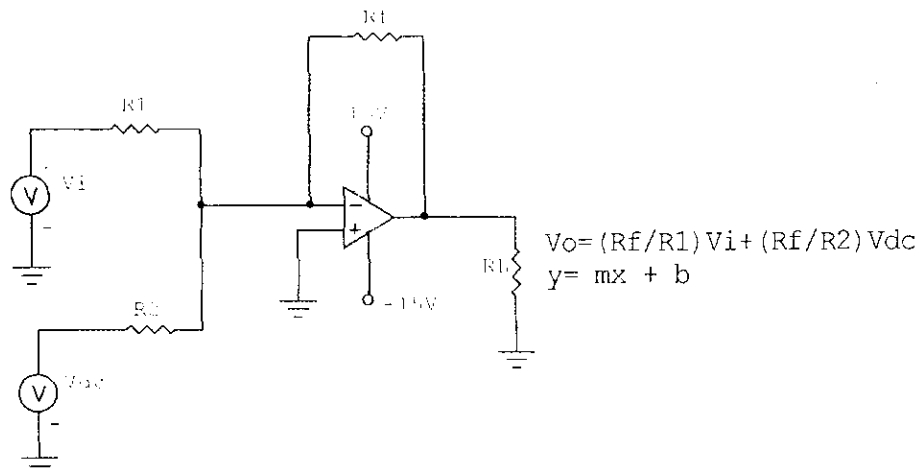
EL CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL PRÁCTICA #11

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar el circuito acondicionador de señal para resolver un problema de conexión entre un sensor y un convertidor análogo a digital.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Circuito acondicionador de señal. El circuito acondicionador de señal se comporta como de acuerdo con la ecuación de una línea recta, $y = mx + b$. A continuación se muestra un circuito acondicionador de señal.



Si se compara la ecuación $y = mx + b$, con el circuito de la figura anterior, se encuentra que y corresponde al voltaje de salida V_o , x es el voltaje de la señal de entrada V_i , m corresponde a la ganancia del circuito $-\frac{R_f}{R_1}$, y b es $-\frac{R_f}{R_2}$ veces V_{dc} . Por lo tanto, si en la aplicación que interesa se utiliza un sensor que produce una señal de entrada, medida respecto a la tierra, y que hay que amplificar y desviar, entonces lo que se puede utilizar es un acondicionador de señal similar al de la figura anterior. Para diseñar un circuito acondicionador de señal es necesario obtener la ecuación del circuito. Esta ecuación se obtiene tomando en cuenta lo que se recibe, las condiciones de salida del sensor, y después transformando lo anterior en lo que se desea, es decir, las condiciones de entrada de un dispositivo digital como un A/D o un microcontrolador.

DESCRIPCIÓN BREVE

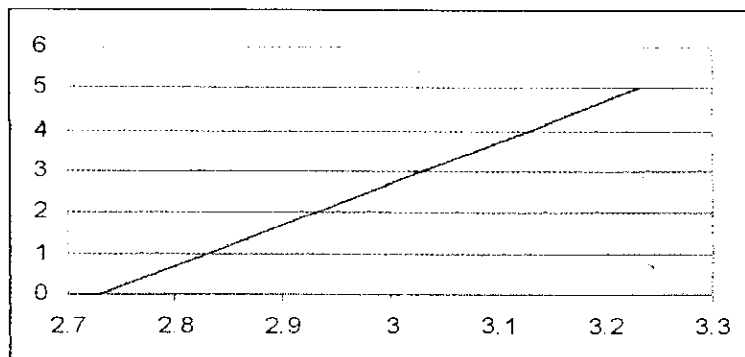
Para la aplicación del circuito acondicionador de señal se muestra un problema específico en el cual se requiere un acondicionador de señal para la solución, el alumno deberá diseñar, con ayuda de las explicaciones de la guía, paso a paso el circuito que solucione el problema propuesto. Para todas las aplicaciones se deberá utilizar el opamp UA741 o equivalente a menos de que se indique lo contrario.

MATERIALES

- cuatro opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- un capacitor de 0.01 μ F
- un potenciómetro de valor según el diseño
- resistencias de 1k Ω , 5k Ω , 10k Ω , 100k Ω y variadas según lo requiera el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Se desea diseñar un circuito acondicionador de señal que sirva para conectar un sensor de temperatura LM335 con un convertidor A/D de un microcontrolador. El rango de temperatura que se va a medir está comprendido entre 0° y 50°C; el rango de entrada que acepta el convertidor A/D está entre 0 y 5 V. La razón por la que se utilizará un circuito acondicionador de señal es que el sensor de temperatura posee una variación de voltaje con respecto a la temperatura de 10 mV/°C, y el voltaje de salida del sensor a 0°C es de 2.73 V y a 50°C es de 3.23 V; y se desea que la salida del acondicionador de señal sea lineal, es decir, que cuando la temperatura medida por el sensor sea 0°C, la salida del acondicionador sea de 0 V, cuando el sensor mide 10°C la salida del acondicionador sea de 1 V; y así sucesivamente hasta llegar a los 50°C, en cuyo caso la salida del acondicionador sea de 5 V. En el circuito que se construirá para esta práctica se simulará el sensor con una fuente de voltaje variable entre 2.73 V y 3.23 V.
 - a) A continuación se muestra una gráfica que muestra las características de entrada y salida del circuito acondicionador de señal. Los valores de salida del circuito acondicionador se grafican en el eje Y. Los valores de entrada se grafican en el eje X.



Con estos valores calcule la pendiente de la recta de la gráfica. Este valor es la ganancia por la que hay que multiplicar la señal de entrada al circuito acondicionador de señal, es decir el voltaje que se obtiene del sensor.

- b) Para obtener el valor del voltaje DC, V_{dc} , del circuito, se debe resolver la ecuación $y = mx + b$, para b sustituyendo un par de coordenadas en la ecuación.
- c) Con los datos obtenidos anteriormente (m y b), diseñe un circuito acondicionador de señal como el que se muestra en los antecedentes teóricos utilizando las fórmulas allí mencionadas. Utilice una resistencia de carga de $10\text{ k}\Omega$. Recuerde que V_i es el voltaje que proporciona el sensor, que para esta práctica se debe simular con una fuente de voltaje que varía entre 2.73 V y 3.23 V . Note que esta fuente de voltaje se puede construir con un divisor de voltaje y un potenciómetro adecuado para variar el voltaje; no olvide colocar un seguidor de voltaje o un amplificador unitario inversor después del divisor de voltaje para simular una fuente de voltaje ideal.
- Construya el circuito en su protoboard y compruebe que el circuito acondicionador si produce una señal de salida de 0 a 5 V lineal como se requiere para los valores de voltaje de entrada mencionados con anterioridad.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

EL CIRCUITO ACONDICIONADOR DE SEÑAL

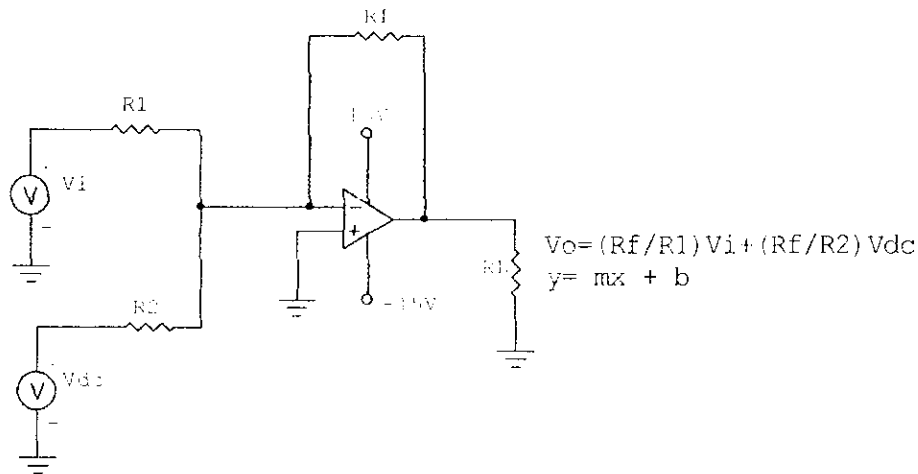
PRÁCTICA #11 GUÍA PARA EL AUXILIAR

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar el circuito acondicionador de señal para resolver un problema de conexión entre un sensor y un convertidor análogo a digital.

ANTECEDENTES TEÓRICOS

Circuito acondicionador de señal. El circuito acondicionador de señal se comporta como de acuerdo con la ecuación de una línea recta, $y = mx + b$. A continuación se muestra un circuito acondicionador de señal.



Si se compara la ecuación $y = mx + b$, con el circuito de la figura anterior, se encuentra que y corresponde al voltaje de salida V_o , x es el voltaje de la señal de entrada V_i , m corresponde a la ganancia del circuito $-\frac{R_f}{R_1}$, y b es $-\frac{R_f}{R_2}$ veces V_{dc} . Por lo tanto, si en la aplicación que interesa se utiliza un sensor que produce una señal de entrada, medida respecto a la tierra, y que hay que amplificar y desviar, entonces lo que se puede utilizar es un acondicionador de señal similar al de la figura anterior. Para diseñar un circuito acondicionador de señal es necesario obtener la ecuación del circuito. Esta ecuación se obtiene tomando en cuenta lo que se recibe, las condiciones de salida del sensor, y después transformando lo anterior en lo que se desea, es decir, las condiciones de entrada de un

transformando lo anterior en lo que se desea, es decir, las condiciones de entrada de un dispositivo digital como un A/D o un microcontrolador.

DESCRIPCIÓN BREVE

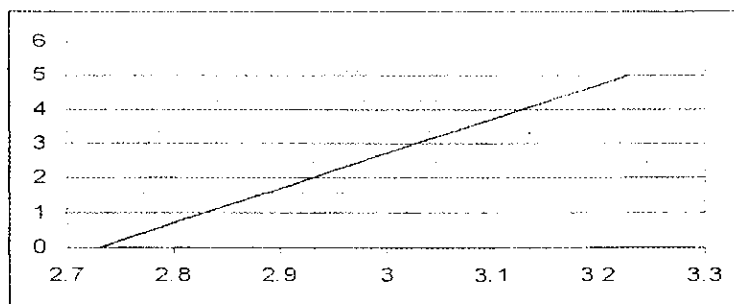
Para la aplicación del circuito acondicionador de señal se muestra un problema específico en el cual se requiere un acondicionador de señal para la solución, el alumno deberá diseñar, con ayuda de las explicaciones de la guía, paso a paso el circuito que solucione el problema propuesto. Para todas las aplicaciones se deberá utilizar el opamp UA741 o equivalente a menos de que se indique lo contrario.

MATERIALES

- cuatro opamps UA 741 que se alimenten con +15 V y -15 V. (Se puede utilizar el integrado LM348N que contiene 4 opamps UA741)
- un capacitor de 0.01uF
- un potenciómetro de valor según el diseño
- resistencias de 1k Ω , 5k Ω , 10k Ω , 100k Ω y variadas según lo requiera el diseño

PROCEDIMIENTO Y PREGUNTAS

1. Se desea diseñar un circuito acondicionador de señal que sirva para conectar un sensor de temperatura LM335 con un convertidor A/D de un microcontrolador. El rango de temperatura que se va a medir está comprendido entre 0° y 50°C; el rango de entrada que acepta el convertidor A/D está entre 0 y 5 V. La razón por la que se utilizará un circuito acondicionador de señal es que el sensor de temperatura posee una variación de voltaje con respecto a la temperatura de 10 mV/°C, y el voltaje de salida del sensor a 0°C es de 2.73 V y a 50°C es de 3.23 V; y se desea que la salida del acondicionador de señal sea lineal, es decir, que cuando la temperatura medida por el sensor sea 0°C, la salida del acondicionador sea de 0 V, cuando el sensor mide 10°C la salida del acondicionador sea de 1 V; y así sucesivamente hasta llegar a los 50°C, en cuyo caso la salida del acondicionador sea de 5 V. En el circuito que se construirá para esta práctica se simulará el sensor con una fuente de voltaje variable entre 2.73 V y 3.23 V.
 - a) A continuación se muestra una gráfica que muestra las características de entrada y salida del circuito acondicionador de señal. Los valores de salida del circuito acondicionador se grafican en el eje Y. Los valores de entrada se grafican en el eje X.



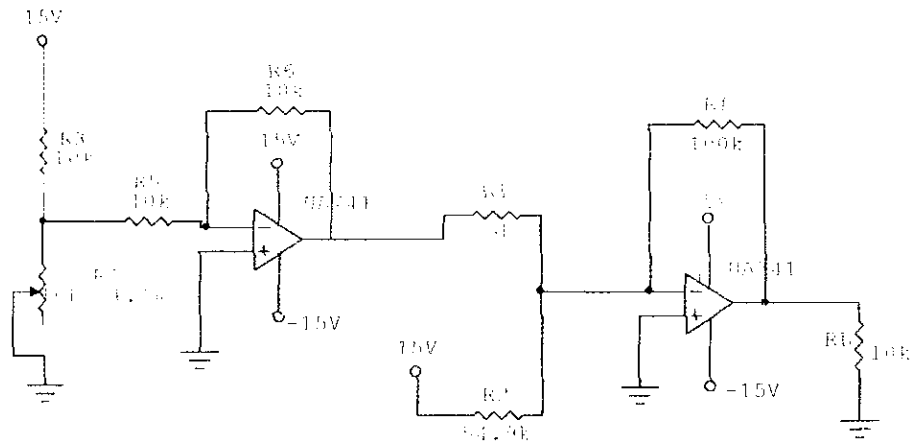
Con estos valores calcule la pendiente de la recta de la gráfica. Este valor es la ganancia por la que hay que multiplicar la señal de entrada al circuito acondicionador de señal, es decir el voltaje que se obtiene del sensor.

- b) Para obtener el valor del voltaje DC, V_{dc} , del circuito, se debe resolver la ecuación $y = mx + b$, para b sustituyendo un par de coordenadas en la ecuación.
- c) Con los datos obtenidos anteriormente (m y b), diseñe un circuito acondicionador de señal como el que se muestra en los antecedentes teóricos utilizando las fórmulas allí mencionadas. Utilice una resistencia de carga de $10\text{ k}\Omega$. Recuerde que V_i es el voltaje que proporciona el sensor, que para esta práctica se debe simular con una fuente de voltaje que varía entre 2.73 V y 3.23 V . Note que esta fuente de voltaje se puede construir con un divisor de voltaje y un potenciómetro adecuado para variar el voltaje; no olvide colocar un seguidor de voltaje o un amplificador unitario inversor después del divisor de voltaje para simular una fuente de voltaje ideal.
 Construya el circuito en su protoboard y compruebe que el circuito acondicionador si produce una señal de salida de 0 a 5 V lineal como se requiere para los valores de voltaje de entrada mencionados con anterioridad.

RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO Y RESPUESTAS

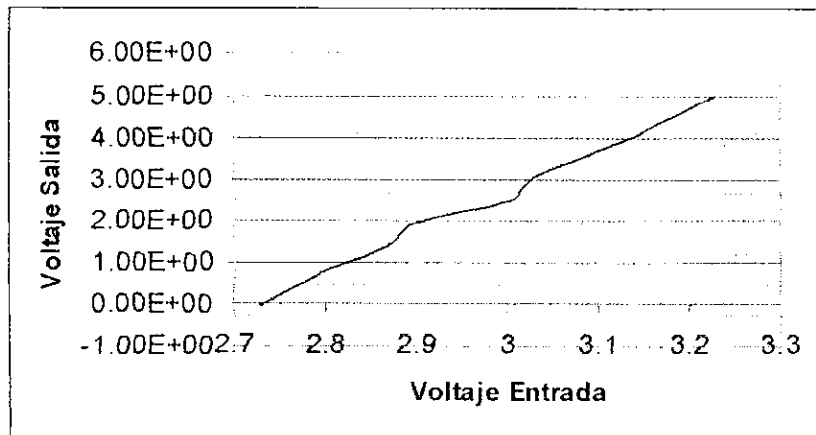
1.

- a) El valor de la pendiente es $m = \frac{5 - 0}{3.23 - 2.73} = 10$.
- b) Si se utiliza el par de coordenadas de la recta $(2.73, 0)$ se obtiene que $0 = (10)(2.73) + b$, por lo tanto $b = -27.3\text{ V}$.
- c) El circuito acondicionador que resuelve el problema es el siguiente.



En este circuito el potenciómetro simula el sensor que varía de voltaje y los resultados que se obtuvieron con el simulador fueron los siguientes:

Ventrada	Vsalida
2.73 V	-32.63mV
2.8 V	802.2mV
2.87 V	1.38 V
2.9 V	1.94 V
3 V	2.5 V
3.03 V	3.03 V
3.09 V	3.6 V
3.14 V	4.07 V
3.19 V	4.57 V
3.23 V	5.01 V



Como se observa en la gráfica el circuito acondicionador de señal produce una señal de salida entre 0 V y 5 V aproximadamente lineal como era requerido.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos Microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

APLICACIÓN DE UN CIRCUITO ACONDICIONADOR EN EL CONTROL DE TEMPERATURA PRÁCTICA #12

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar los conocimientos aprendidos hasta esta práctica sobre amplificadores operacionales para diseñar y construir un circuito de control de temperatura para una estufa pequeña utilizando el sensor LM335 como sensor de temperatura.

PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el sensor de temperatura LM335, que se encuentra la página web de las prácticas de laboratorio.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá realizar un diseño utilizando los conocimientos de opamps que posee, para controlar la temperatura de un beaker con agua apagando y encendiendo una estufa. Para la realización del circuito deberá utilizar circuitos acondicionadores de señal, seguidores de voltaje, circuitos comparadores (schmitt trigger), etc. El dispositivo de medición a utilizar será el sensor de temperatura LM335. Por último el alumno deberá construir el sistema con el circuito para comprobar que se alcanzan los resultados requeridos. **La práctica está diseñada para realizarse en dos semanas.**

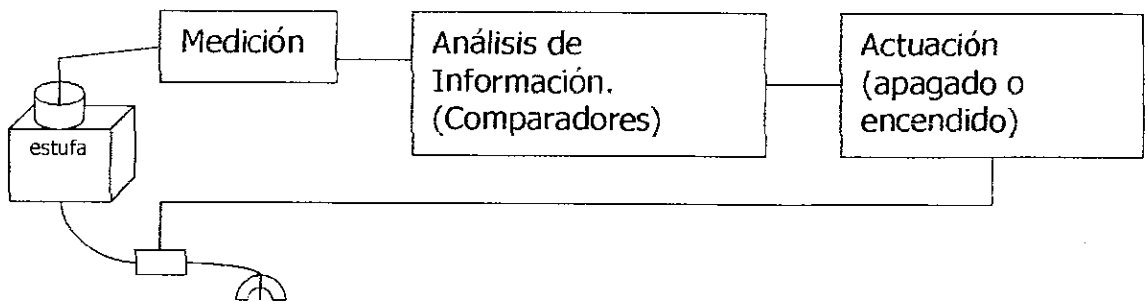
MATERIALES

- Opamps 741, los que se necesiten
- Sensor de temperatura LM335
- una estufa eléctrica pequeña
- un beaker de 250 ml
- un relay de voltaje y corriente apropiados
- potenciómetros, transistores y resistencias según lo requiera el diseño

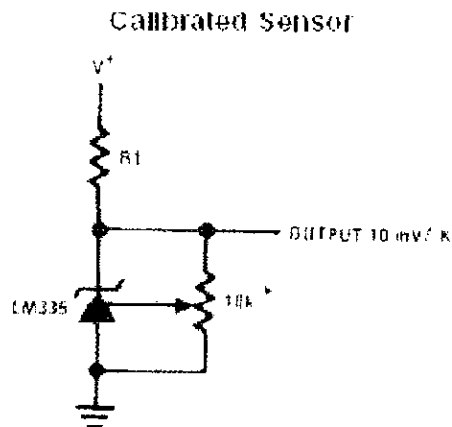
PROCEDIMIENTO

Diseñe un circuito que controle la temperatura de un beaker con agua calentado por una estufa eléctrica pequeña, utilizando un sensor de temperatura LM335. El agua en el beaker deberá mantenerse a una temperatura entre 28°C y 37°C. Para cumplir con este objetivo el circuito deberá encender y apagar automáticamente la estufa eléctrica cuando la temperatura del agua llegue a valores límites de temperatura determinados en el diseño, para que el agua en el beaker se conserve en el rango de temperatura que se indicó anteriormente.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del circuito.



La medición de la temperatura se puede realizar utilizando el sensor de temperatura LM335, buscando obtener un voltaje de salida proporcional a la temperatura, que servirá como entrada para la etapa de análisis de información (comparadores). El sensor LM335 utilizado deberá utilizarse en la siguiente configuración:



Esta configuración permite que el sensor sea calibrado de tal manera que actúe con mayor exactitud. Calibre el sensor moviendo el potenciómetro de 10 kΩ hasta obtener 2.982 V en la salida del divisor de voltaje cuando la temperatura sea de 25°C.

El sensor no debe ser introducido directamente dentro del agua para que no se provoque ningún corto en el circuito.

Debido a que el voltaje de salida del sensor LM335 varía solamente entre 2.73 V y 3.23 V aproximadamente para temperaturas entre 0°C y 50°C, puede utilizarse un circuito acondicionador de señal adecuado, como el que se mostró en prácticas anteriores, para que

la salida de la etapa de medición sea una señal de voltaje proporcional a la temperatura variable entre 0 V y 5 V. Revise la simulación #1 que se incluye para esta práctica, donde se muestra el circuito acondicionador de señal con un voltaje variable con potenciómetro y un seguidor de voltaje conectado en la entrada, que simula el voltaje de salida del sensor.

En la etapa de análisis de información debe utilizarse un comparador no inversor de nivel de voltaje con histéresis (Schmitt Trigger), como el que se mostró en la práctica de comparadores, diseñado con los límites adecuados para que cuando la temperatura del agua sea mayor a 37°C el voltaje de salida de la etapa de comparación sea el de saturación del opamp y cuando la temperatura esté por debajo de los 28°C la salida de la etapa de comparación sea el voltaje negativo de saturación del opamp.

Por último, este voltaje de salida de los comparadores se conectará a la etapa de actuación, que encenderá o apagará la estufa según la temperatura del agua en ese momento. Para que se realice esta acción, se deberá utilizar un relay el cual estará conectado al cable de corriente de la estufa, para abrirlo o cerrarlo según se requiera encender o apagar la estufa. Se puede utilizar un transistor como acople entre la señal de salida del comparador y el relay.

REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.

**APLICACIÓN DE UN CIRCUITO ACONDICIONADOR EN EL CONTROL DE
TEMPERATURA
PRÁCTICA #12
GUÍA PARA EL AUXILIAR**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Utilizar los conocimientos aprendidos hasta esta práctica sobre amplificadores operacionales para diseñar y construir un circuito de control para una estufa pequeña utilizando el sensor LM335 como sensor de temperatura.

PRE-LABORATORIO

1. Lea la hoja de datos para el sensor de temperatura LM335, que se encuentra la página web de las prácticas de laboratorio.

DESCRIPCIÓN BREVE

El alumno deberá realizar un diseño utilizando los conocimientos de opamps que posee, para controlar la temperatura de un beaker con agua apagando y encendiendo una estufa. Para la realización del circuito deberá utilizar circuitos acondicionadores de señal, seguidores de voltaje, circuitos comparadores (schmitt trigger), etc. El dispositivo de medición a utilizar será el sensor de temperatura LM335. Por último el alumno deberá construir el sistema con el circuito para comprobar que se alcanzan los resultados requeridos. **La práctica está diseñada para realizarse en dos semanas.**

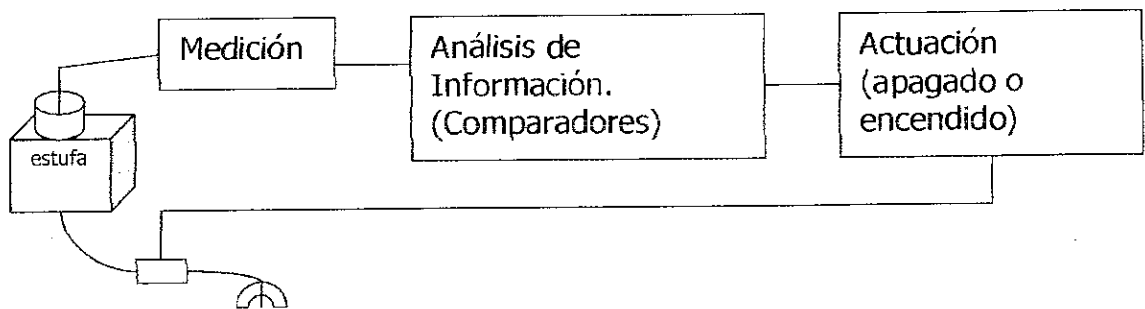
MATERIALES

- Opamps 741, los que se necesiten
- Sensor de temperatura LM335
- una estufa eléctrica pequeña
- un beaker de 250 ml
- un relay de voltaje y corriente apropiados
- potenciómetros, transistores y resistencias según lo requiera el diseño

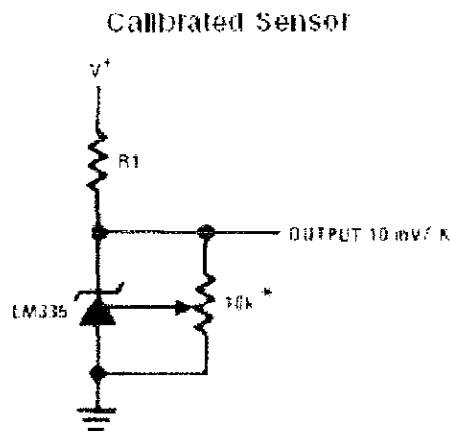
PROCEDIMIENTO

Diseñe un circuito que controle la temperatura de un beaker con agua calentado por una estufa eléctrica pequeña, utilizando un sensor de temperatura LM335. El agua en el beaker deberá mantenerse a una temperatura entre 28°C y 37°C. Para cumplir con este objetivo el circuito deberá encender y apagar automáticamente la estufa eléctrica cuando la temperatura del agua llegue a valores límites de temperatura determinados en el diseño, para que el agua en el beaker se conserve en el rango de temperatura que se indicó anteriormente.

A continuación se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del circuito.



La medición de la temperatura se puede realizar utilizando el sensor de temperatura LM335, buscando obtener un voltaje de salida proporcional a la temperatura, que servirá como entrada para la etapa de análisis de información (comparadores). El sensor LM335 utilizado deberá utilizarse en la siguiente configuración:



Esta configuración permite que el sensor sea calibrado de tal manera que actúe con mayor exactitud. Calibre el sensor moviendo el potenciómetro de 10 kΩ hasta obtener 2.982 V en la salida del divisor de voltaje cuando la temperatura sea de 25°C.

El sensor no debe ser introducido directamente dentro del agua para que no se provoque ningún corto en el circuito.

Debido a que el voltaje de salida del sensor LM335 varía solamente entre 2.73 V y 3.23 V aproximadamente para temperaturas entre 0°C y 50°C, puede utilizarse un circuito acondicionador de señal adecuado, como el que se mostró en prácticas anteriores, para que

la salida de la etapa de medición sea una señal de voltaje proporcional a la temperatura variable entre 0 V y 5 V. Revise la simulación #1 que se incluye para esta práctica, donde se muestra el circuito acondicionador de señal con un voltaje variable con potenciómetro y un seguidor de voltaje conectado en la entrada, que simula el voltaje de salida del sensor.

En la etapa de análisis de información debe utilizarse un comparador no inversor de nivel de voltaje con histéresis (Schmitt Trigger), como el que se mostró en la práctica de comparadores, diseñado con los límites adecuados para que cuando la temperatura del agua sea mayor a 37°C el voltaje de salida de la etapa de comparación sea el de saturación del opamp y cuando la temperatura esté por debajo de los 28°C la salida de la etapa de comparación sea el voltaje negativo de saturación del opamp.

Por último, este voltaje de salida de los comparadores se conectará a la etapa de actuación, que encenderá o apagará la estufa según la temperatura del agua en ese momento. Para que se realice esta acción, se deberá utilizar un relay el cual estará conectado al cable de corriente de la estufa, para abrirlo o cerrarlo según se requiera encender o apagar la estufa. Se puede utilizar un transistor como acople entre la señal de salida del comparador y el relay.

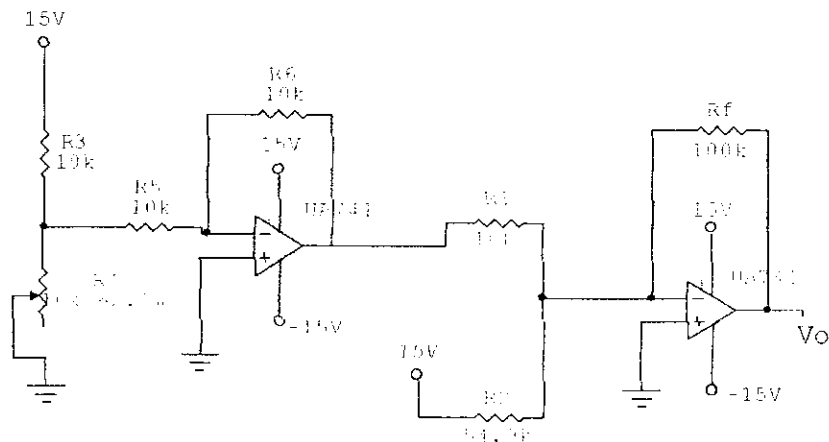
RESOLUCIÓN AL PROCEDIMIENTO

A continuación se muestra una tabla que describe el comportamiento del sensor donde se incluyen los valores de temperatura y voltaje correspondientes.

Temperatura°C	Voltaje en V
0	2.73
1	2.74
2	2.75
3	2.76
4	2.77
5	2.78
6	2.79
7	2.8
8	2.81
9	2.82
10	2.83
11	2.84
12	2.85
13	2.86
14	2.87
15	2.88
16	2.89
17	2.9
18	2.91
19	2.92
20	2.93
21	2.94
22	2.95

23	2.96
24	2.97
25	2.98
26	2.99
27	3
28	3.01
29	3.02
30	3.03
31	3.04
32	3.05
33	3.06
34	3.07
35	3.08
36	3.09
37	3.1
38	3.11
39	3.12
40	3.13
41	3.14
42	3.15
43	3.16
44	3.17
45	3.18
46	3.19
47	3.2
48	3.21
49	3.22
50	3.23

Para que el circuito responda de una manera adecuada se utilizará el acondicionador de señal que se utilizó en la práctica #3, en la cual se diseñó un acondicionador de señal para este tipo de sensor de temperatura (simulado con un potenciómetro de 10 k Ω) y se obtuvo una salida aproximadamente lineal. A continuación se muestra el circuito utilizado junto con una tabla de valores de entrada al circuito acondicionador (salida del sensor) y de salida del circuito acondicionador.



Voltaje en V del sensor	Salida del Acondicionador en V
2.73	0
2.74	0.1
2.75	0.2
2.76	0.3
2.77	0.4
2.78	0.5
2.79	0.6
2.8	0.7
2.81	0.8
2.82	0.9
2.83	1
2.84	1.1
2.85	1.2
2.86	1.3
2.87	1.4
2.88	1.5
2.89	1.6
2.9	1.7
2.91	1.8
2.92	1.9
2.93	2
2.94	2.1
2.95	2.2
2.96	2.3
2.97	2.4
2.98	2.5
2.99	2.6
3	2.7
3.01	2.8
3.02	2.9
3.03	3
3.04	3.1
3.05	3.2
3.06	3.3
3.07	3.4
3.08	3.5
3.09	3.6
3.1	3.7
3.11	3.8
3.12	3.9
3.13	4
3.14	4.1
3.15	4.2
3.16	4.3
3.17	4.4
3.18	4.5
3.19	4.6

3.2	4.7
3.21	4.8
3.22	4.9
3.23	5

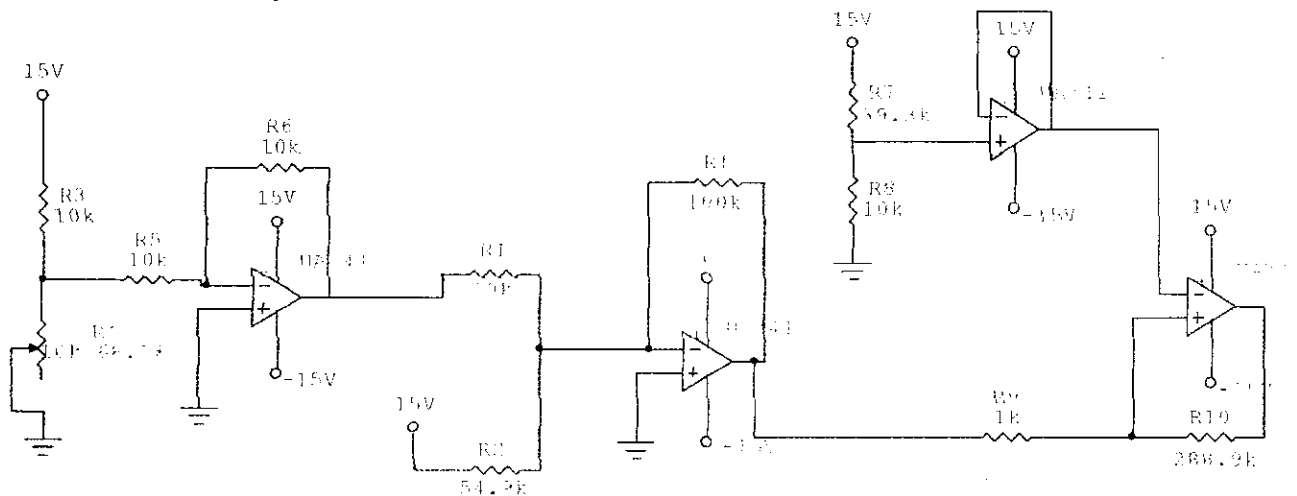
Hasta este punto la parte de la medición está resuelta, ahora para resolver la parte de la comparación se debe diseñar un detector no inversor de nivel de voltaje con histéresis (Schmitt Trigger) que tenga como límites $V_{UT} = 3.1$ V, que según la primera tabla mostrada corresponde a 37°C . Con esto en mente se define $V_{LT} = 3.01$ V que corresponde a 28°C de temperatura según la tabla. El diseño del circuito detector se muestra a continuación. Se

calcula V_H y V_{ctr} de la siguiente manera: $V_H = 3.1 - 3.01 = 0.09$ V y $V_{ctr} = \frac{3.1 + 3.01}{2} = \frac{6.11}{2} = 3.055$

V. Por lo tanto n se calcula con $n = \frac{+V_{sat} - (-V_{sat})}{V_H} = \frac{13 + 13}{0.09} = 288.89$ y V_{ref} se calcula con

$V_{ref} = \frac{V_{ctr}}{1 + 1/n} = \frac{3.055}{1 + 1/288.89} = 3.04$ V. Si se define $R = 1$ k Ω , entonces se tendrá $nR = 288.89$ k Ω .

Por lo tanto resultará el siguiente circuito comparador conectado ya a la etapa de acondicionamiento que se mostró anteriormente.

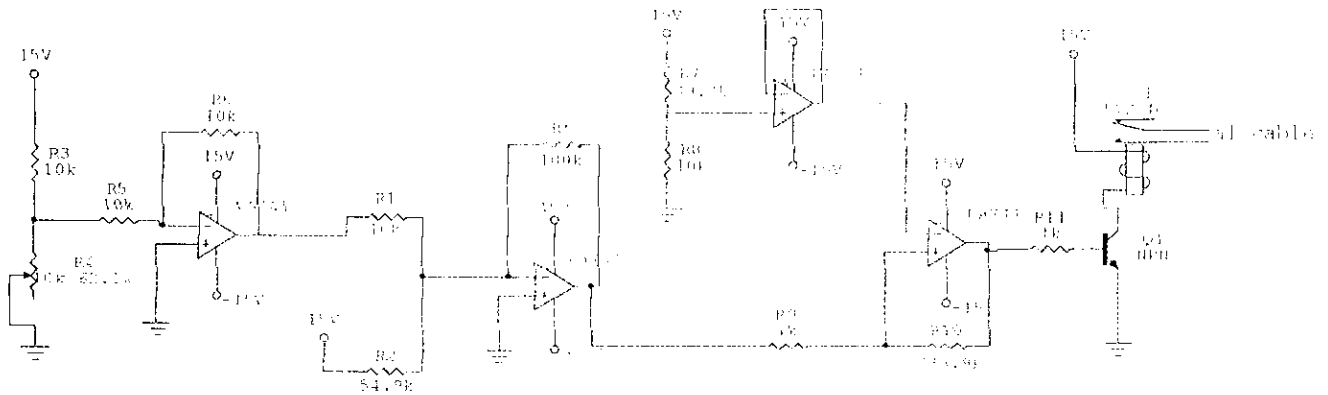


Para este circuito la salida estará en $+V_{sat} = 13$ V cuando la señal de salida del circuito acondicionador se encuentre por arriba de 3.1 V, y estará en $-V_{sat} = -13$ V cuando la señal de salida del circuito acondicionador se encuentre por debajo de 3.01 V.

Ahora se desea que cuando la señal de salida del circuito acondicionador que, representa la señal de salida del sensor, sobrepase los 3.1 V, es decir, que la temperatura sea mayor a 37°C , entonces que el circuito apague la estufa; y se desea que cuando la señal de salida del circuito acondicionador, que representa la señal de salida del sensor, disminuya de 3.01 V, es decir que la temperatura sea menor que 28°C , entonces que el circuito encienda la estufa.

Para realizar esto se utilizará un transistor npn como interruptor y un relay normalmente cerrado que se active con 15 V y soporte la corriente que consume la estufa. El relay se conectará entre dos terminales del cable del enchufe de la estufa cerrando y abriendo el cable para apagar y encender la pequeña estufa según se requiera. El transistor funcionando como interruptor entregará 0 V al relay para que se cierre cuando detecte en su entrada que

hay $-13\text{ V} = -V_{\text{sat}}$, y entregará 15 V al relay para que se abra cuando detecte en su entrada que hay $13\text{ V} = +V_{\text{sat}}$. El circuito final se muestra a continuación.



REFERENCIAS

- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.

IV. PEQUEÑO MANUAL PARA ADMINISTRACIÓN DE LOS ARCHIVOS DE LOS LABORATORIOS DE ELECTRÓNICA 1 Y ELECTRÓNICA 3 EN INTERNET

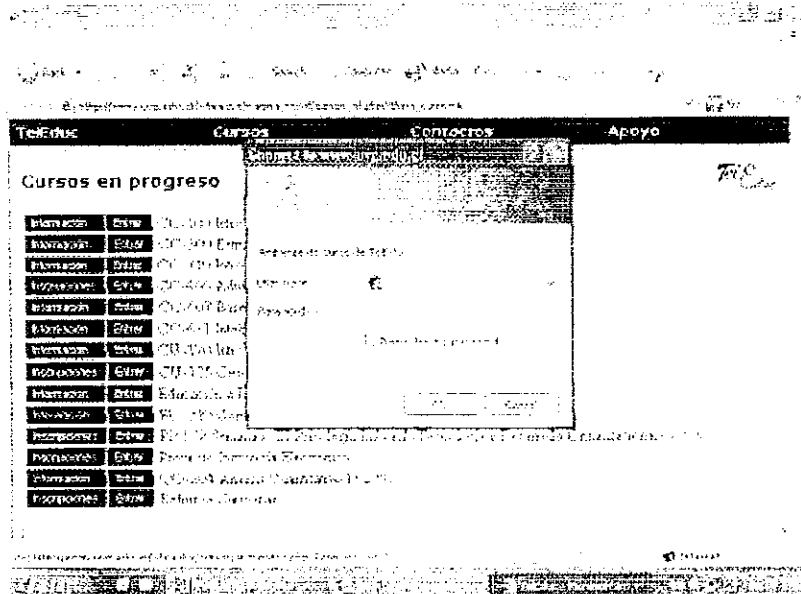
Los archivos de los laboratorios de Electrónica 1 y Amplificadores Operacionales están expuestos en Internet con la idea de facilitar el acceso a los mismos, a los profesores, instructores y alumnos. Para la exposición de los archivos en Internet se utilizó el sistema que proporciona la Universidad del Valle de Guatemala para apoyo a la educación a distancia: el TelEduc.

El ambiente de TelEduc ha sido diseñado para que la persona que quiera acceder a él pase primero por un proceso de autenticación requiriendo un nombre de usuario y una contraseña que proporciona el ambiente cuando algún profesor añade un alumno o un profesor al sistema.

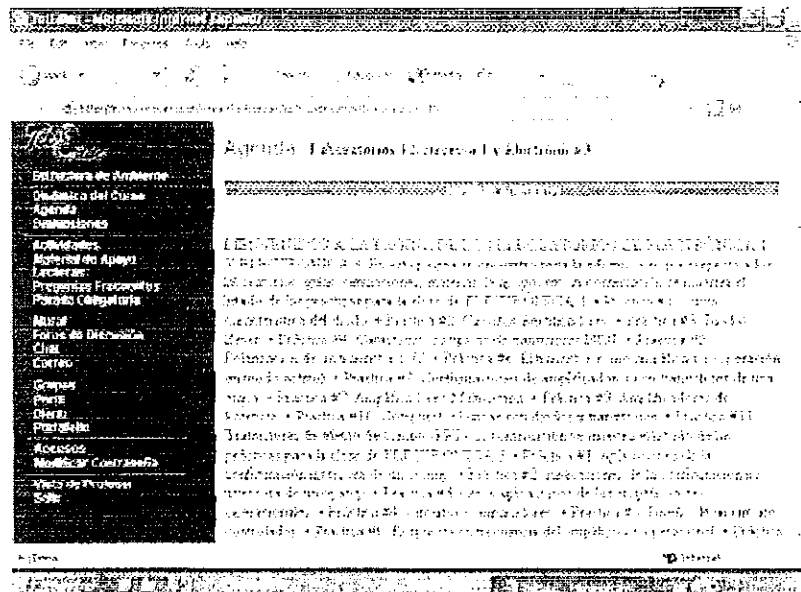
Todo el ambiente y los archivos que se encuentran en él pueden ser modificados, borrados o incluso se pueden añadir nuevos archivos por el profesor o el instructor de la cátedra. De esta manera un profesor o instructor puede cambiar todas las variables con las que cuenta el ambiente y un alumno sólo puede visualizar el ambiente, abrir o descargar los archivos a su computadora y cambiar su contraseña si lo desea.

El ambiente consta de varias aplicaciones para utilizarse, pero para este caso sólo se utilizan los siguientes campos: Dinámica del curso, en donde se encuentra el resumen de cada uno de los laboratorios contenidos en el ambiente; Agenda, es la página inicial del ambiente en donde se encuentra la bienvenida al ambiente, las instrucciones para utilizarlo y la lista de las prácticas para cada laboratorio; Actividades, aquí se encuentran los archivos que se utilizarán en cada práctica como guías y simulaciones; Material de apoyo, en donde se encuentran las hojas de datos de algunos dispositivos que se utilizan en las prácticas. Además de estas aplicaciones se encuentran muchas otras como evaluaciones, lecturas, preguntas frecuentes, parada obligatoria, mural, foros de discusión, chat, correo, etc. que el profesor, instructor o alumno podrán utilizar durante el progreso del curso si así lo desean.

A. Instrucciones Para el Alumno. Para entrar al ambiente deberá ingresar la siguiente dirección en su browser de Internet: www.uvg.edu.gt~teleduc. Luego deberá pasar a la ventana de cursos y entrar a la ventana de cursos en progreso. Allí encontrará un listado de cursos en donde deberá seleccionar el llamado "Proyecto Ingeniería Electrónica". Entonces deberá anotar el nombre del usuario y su contraseña para poder entrar al sistema.



Al ingresar, lo primero que se desplegará será la Agenda que contiene la bienvenida al ambiente y las instrucciones a seguir.

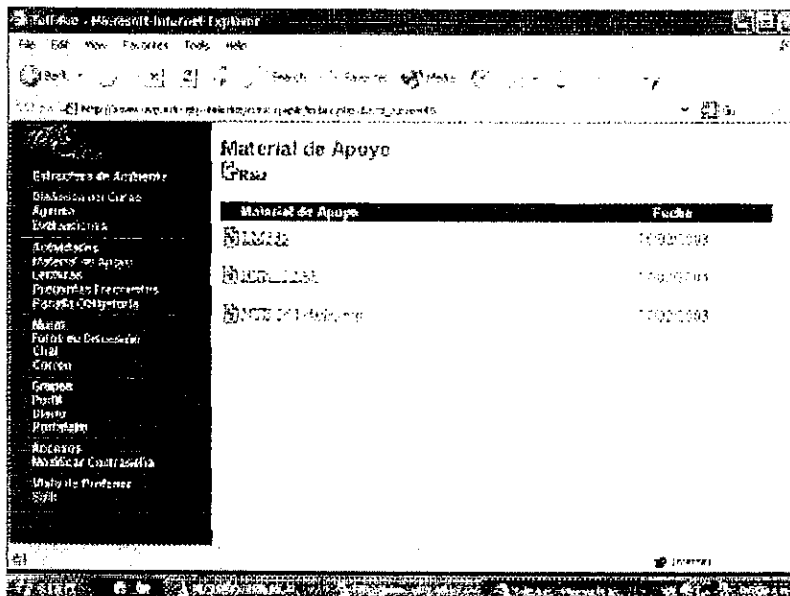


Para obtener una guía de una práctica. El alumno deberá ingresar a la aplicación de actividades, allí encontrará dos fólderes uno de Electrónica 1 y otro de Amplificadores

Operacionales, entonces deberá seleccionar el correspondiente al laboratorio del curso que le interesa. Allí encontrará el listado de todas las prácticas, para ingresar a una simplemente deberá seleccionarla y se desplegarán los archivos para esa práctica. Tendrá que seleccionar el archivo con terminación .doc, el cual está en formato Word. El alumno puede escoger entre abrir la guía y observarla en línea desde el ambiente, o descargarla para guardarla en su disco duro.

Para obtener una simulación de una práctica. En este caso deberá seguir los mismos pasos para obtener una guía de la práctica, pero para este caso tendrá que seleccionar el o los archivos con terminación .ckt, los cuales se utilizan con el programa CircuitMaker 2000.

Para obtener una hoja de datos. El alumno deberá ingresar a la aplicación de Material de Apoyo. Allí encontrará el listado de todos los archivos de hojas de datos de dispositivos, para ingresar a una, tendrá que seleccionarla y se desplegará la hoja de datos seleccionada. Los archivos de las hojas de datos son tienen terminación .pdf y, por lo tanto, utilizan el programa Acrobat Reader para visualizarlas o guardarlas en el disco duro.



B. Instrucciones Para el Profesor/Instructor. Para entrar al ambiente deberá ingresar la siguiente dirección en su browser de Internet: www.uvg.edu.gt/~teleduc. Luego tendrá que ingresar a la ventana de cursos y entrar a la ventana de cursos en progreso. Allí encontrará un listado de cursos en donde debe seleccionar el llamado "Proyecto Ingeniería Electrónica". Entonces ingresará el nombre de usuario y su contraseña para poder entrar al sistema. Al ingresar lo primero que se desplegará será la Agenda que contiene la bienvenida al ambiente y las instrucciones a seguir.

Para obtener una guía de una práctica. El profesor/instructor deberá ingresar a la aplicación de actividades, allí encontrará dos fólderes uno de Electrónica 1 y otro de Amplificadores Operacionales, entonces tendrá que seleccionar el correspondiente al laboratorio del curso que le interesa. Allí encontrará el listado de todas las prácticas. Para ingresar a una debe seleccionarla y se desplegarán los archivos para esa práctica. Tendrá que seleccionar el archivo con terminación .doc, el cual está en formato Word. El profesor/instructor puede escoger entre abrir la guía y observarla en línea desde el ambiente, o descargarla para guardarla en su disco duro.

Para obtener una simulación de una práctica. En este caso deberá seguir los mismos pasos que para obtener una guía de la práctica, pero en este caso tendrá que seleccionar el o los archivos con terminación .ckt, los cuales deben utilizarse con el programa CircuitMaker 2000.

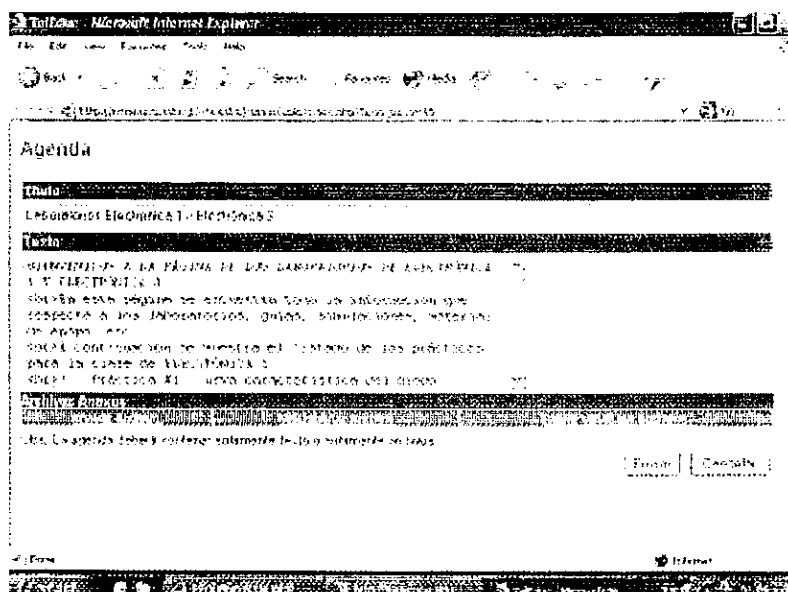
Para obtener una hoja de datos. El profesor/instructor deberá ingresar a la aplicación de Material de Apoyo. Allí encontrará el listado de todos los archivos de hojas de datos de dispositivos. Para ingresar a una deberá seleccionarla y se desplegará la hoja de datos seleccionada. Los archivos de las hojas de datos tienen terminación .pdf, por lo tanto, utilizan el programa Acrobat Reader para visualizarlas o guardarlas en el disco duro.

Para obtener una guía para auxiliar de una práctica. El profesor/instructor deberá ingresar a la aplicación de actividades, allí encontrará dos fólderes uno de Electrónica 1 para auxiliares y otro de Amplificadores Operacionales para auxiliares, entonces deberá seleccionar el correspondiente al laboratorio del curso que le interesa. Allí encontrará el listado de todas las prácticas, para ingresar a una tendrá que seleccionarla y se desplegarán los archivos para esa práctica. Debe seleccionar el archivo con terminación .doc, el cual está

en formato Word. El profesor/instructor puede escoger entre abrir la guía y observarla en línea desde el ambiente, o descargarla para guardarla en su disco duro.

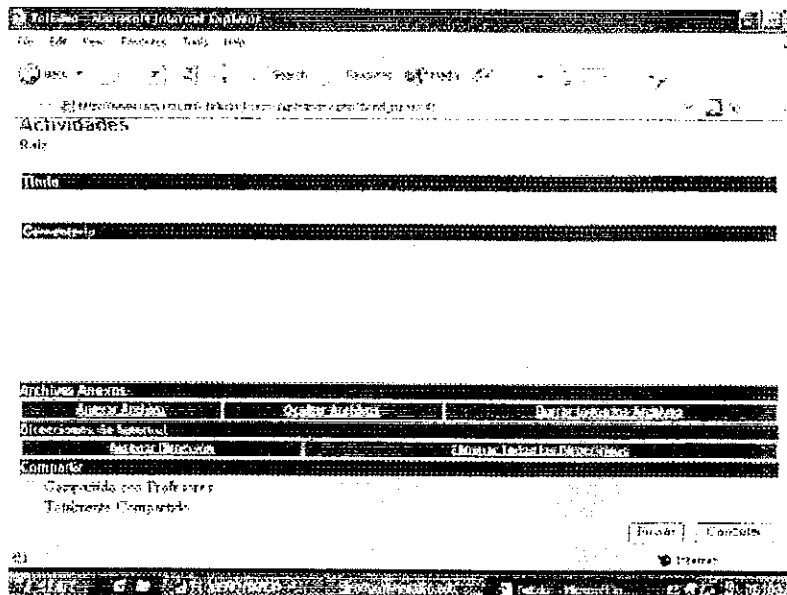
Para obtener una simulación para auxiliar de una práctica. En este caso deberá seguir los mismos pasos que para obtener una guía para auxiliar de la práctica, pero para este caso debe seleccionar el o los archivos con terminación .ckt, los cuales se usan con el programa CircuitMaker 2000.

Para editar la Agenda. El profesor/instructor deberá seleccionar la aplicación de Agenda y seleccionar la opción de Editar Agenda, allí podrá modificar el contenido de la agenda agregando, cambiando o modificando el texto.

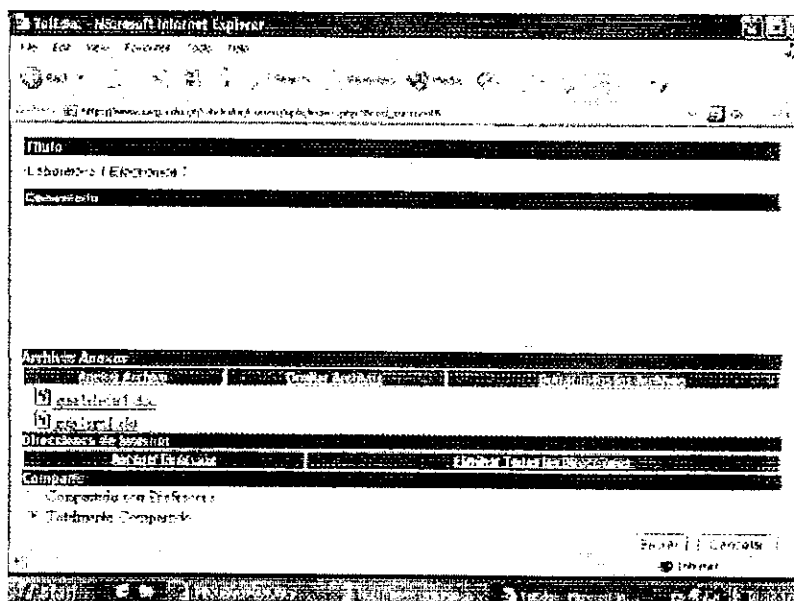


Para agregar un nuevo laboratorio. El profesor/instructor deberá seleccionar la aplicación de Actividades y seleccionar el folder al que corresponde el nuevo laboratorio, posteriormente, seleccionar la opción de Nueva Actividad, entonces se abrirá una nueva ventana donde deberá colocar el título del nuevo laboratorio, agregar el archivo de la guía o simulaciones seleccionando la opción de "Anexar archivo". En la ventana que se abrirá podrá buscar con el botón de "Browse" el archivo que desea agregar de su disco duro al laboratorio y, cuando lo haya encontrado, seleccionar "abrir" y luego "Ok". Posteriormente, se pregunta si desea agregar un nuevo archivo para lo cual deberá seguir los pasos anteriores nuevamente o si ya no se agrega ningún archivo regresará a la ventana de edición del nuevo

laboratorio. El último paso será el de pulsar sobre la opción de enviar y el laboratorio habrá sido creado exitosamente.



Para editar un laboratorio ya existente. Dentro de la aplicación de Actividades deberá seleccionar el folder donde se encuentra el laboratorio a editar y seleccionar el laboratorio correspondiente. Deberá pulsar la opción editar y allí se abrirá la ventana del laboratorio donde le podrá cambiar el título al laboratorio, agregar o borrar algún archivo o agregar algún texto al laboratorio.



Para borrar un laboratorio ya existente. Dentro de la aplicación de Actividades deberá seleccionar el folder donde se encuentra el laboratorio a borrar y posteriormente

seleccionar el laboratorio correspondiente, para borrarlo deberá pulsar la opción de borrar cuando seleccione el laboratorio correspondiente.

Para editar los materiales de apoyo. Deberá entrar a la aplicación de Material de Apoyo y allí seleccionar "Nuevo material de apoyo" para agregar uno nuevo, o seleccionar alguno para borrarlo o editarlo.

Para inscribir a un profesor, instructor o alumno. Deberá entrar a la aplicación de Administración y seleccionar la opción de "Inscribir profesor/instructor" o "Inscribir Alumnos" según sea el caso. Allí se abrirá una ventana donde se podrán ingresar las personas a inscribir, colocando el nombre, el correo electrónico y el nombre de usuario o login que utilizarán para entrar al ambiente. Por último, se deberá pulsar la opción de enviar y el sistema automáticamente enviará un correo electrónico al profesor, instructor o alumno inscrito notificándole de su inscripción y asignándole una contraseña para entrar al ambiente.

The screenshot shows a web browser window with the title "TelEduc - Microsoft Internet Explorer". The address bar contains a URL. The main content area is titled "Administración - Inscribir Profesores/Instructores". Below the title, there is a sub-header "Inscripción por correo electrónico para registrarse". The form consists of three columns: "Nombre", "E-mail", and "Login". There are five rows of input fields, numbered 1 through 5. Below the form, there is a note: "Se debe las contraseñas son del tipo: 123456 nombre, e-mail y login. Ubre edita las líneas por favor." At the bottom of the form, there is a "Enviar" button. On the left side, there is a navigation menu with the following items: Estructura de Ambiente, Diapositivas del Curso, Ayudas, Evaluaciones, Actividades, Material de apoyo, Lecturas, Prácticas, Preguntas, Foros de Discusión, Chat, Cursos de Discusión, Chat, Correo, Grupos, Perfil, Cursos, Exámenes, Alumnos, Modificar Contraseña, Mensajes Alumnos, Administración, Soporte, and Salir.

Cualquier duda adicional acerca de cómo utilizar el ambiente TelEduc se puede ingresar a la aplicación "Estructura de Ambiente" o a la aplicación de "Soporte" donde se puede contactar al "soporte" del ambiente a través de correo electrónico.

V. CONCLUSIONES

1. La planificación del calendario de las prácticas para cada laboratorio coordinado con el orden en que se van exponiendo los temas del curso en la clase teórica es de mucha importancia ya que esto permite que los alumnos realicen las prácticas de los laboratorios con el conocimiento de la teoría de los dispositivos y circuitos.
2. El uso de la herramienta TelEduc proporcionada por la Universidad del Valle, que permite la exposición de toda la información concerniente a los laboratorios, facilita el acceso a los recursos del laboratorio a profesores, instructores y alumnos, permite que el alumno y el instructor puedan prepararse de mejor manera antes de llegar al laboratorio a realizar la práctica, provee a los profesores e instructores de un ambiente flexible que puede ser modificado y editado cuando sea requerido por el curso, por lo tanto la herramienta TelEduc mejora la experiencia de los laboratorios tanto a los profesores/instructores como a los alumnos.
3. Las simulaciones realizadas para cada práctica utilizando el programa Circuit Maker 2000 facilitan al alumno el entendimiento de los resultados que debe obtener al concluir el procedimiento de cada práctica.
4. El apartado de Pre-Laboratorio incluido en las guías, que el alumno debe llevar completado correctamente al llegar al laboratorio, exige al alumno que haga una investigación de los temas de interés, antes de realizar la práctica en el laboratorio.
5. Las prácticas para el laboratorio de Electrónica 1 están diseñadas para dar a conocer las aplicaciones y características más importantes de los dispositivos y circuitos estudiados en la clase teórica, mostrando al alumno la forma en que deben ser implementados. Mientras que las prácticas para el laboratorio de Electrónica 3 prevén una mayor experiencia en la implementación de circuitos por parte del alumno, por lo que exigen mayor capacidad para diseñar aplicaciones que cumplan con requisitos propuestos en el procedimiento de cada guía.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Alley, Charles; K. Atwood. 1984. *Ingeniería electrónica*. 3ª ed. Madrid, Limusa. 566 págs.
- Boylestad, Robert. 1987. *Electrónica teoría de Circuitos*. México, Prentice Hall. 988 págs.
- Coughlin, Robert; F. Driscoll. 1999. *Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales*. 5ª ed. México, Prentice Hall. 244 págs.
- Nilsson, James. 1995. *Circuitos eléctricos*. 4ª ed. Delaware, Addison Wesley. 981 págs.
- Sedra, Adel; K. Smith. 1998. *Circuitos microelectrónicos*. 4ª ed. México, Oxford. 1232 págs.

Imprenta "GORA"
25 Av. 25-71, Zona 5
Telefax: 335-5733 - 218-7292