



MANUAL

DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Electrónica Analógica

Elaborado por:

M. en I. David Martínez Martínez

M. en I. José Francisco Martínez Lendeck

Fecha: Abril 2013

Revisado por:

Fecha:



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM



INDICE

	PÁG.
PRESENTACIÓN.....	5
PRÁCTICA 1	7
PRÁCTICA 2	21
PRÁCTICA 3	33
PRÁCTICA 4	39
PRÁCTICA 5	45
PRÁCTICA 6	53
PRÁCTICA 7	61
PRÁCTICA 8	69
PRÁCTICA 9	75
PRÁCTICA 10	81



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM



PRESENTACIÓN

El presente Manual de Prácticas pretende guiar el aprendizaje de la U.A. Electrónica Analógica, impartida en el Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacan.

Las prácticas inician con el uso de la instrumentación básica que debe conocer todo alumno que cursa unidades de aprendizaje de electrónica. Se centra la atención en los instrumentos básicos que son el multímetro y el osciloscopio.

Posteriormente se inicia el estudio del principio de operación de uno de los dispositivos electrónicos más utilizados, que es el diodo. Es importante en éste punto verificar la teoría vista en clase, ya que esto nos permitirá validar los distintos modelos teóricos del diodo, para así estar en condiciones de utilizar el modelo del diodo más apropiado de acuerdo a las circunstancias reales. Una vez validados estos modelos se podrán utilizar en diversas situaciones de forma confiable.

Una de las aplicaciones más conocidas de los diodos es el proceso conocido como rectificación, el cual consiste en convertir una señal de corriente alterna en una de corriente directa. Se tienen dos tipos principales de rectificación, la de media onda y la de onda completa. Se realizan prácticas de cada tipo rectificación para así estar en condiciones de usarlas en aplicaciones prácticas según las circunstancias.

Así mismo, los diodos son empleados en circuitos limitadores y sujetadores, los cuales pueden usarse para proteger diversas variedades de equipos electrónicos, de donde proviene la importancia de conocerlos.

Una vez conocida el principio de funcionamiento y aplicaciones del diodo, se inicia el estudio de uno de los dispositivos electrónicos más importantes y utilizados históricamente: el transistor.

Actualmente se tiene una gran variedad de transistores, no obstante uno de los primeros y más utilizados es el llamado *Transistor de Unión Bipolar (BJT por sus siglas en inglés – Bipolar Junction Trnsistor)*. Se dedican varias prácticas para analizar su principio de funcionamiento, así como algunas de sus aplicaciones más importantes como es la amplificación de señales. Se analizan diversos tipos de amplificadores con BJT.

Se espera que este material sea útil para el docente y los alumnos de la Unidad de Aprendizaje *Electrónica Analógica*.



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM



PRACTICA 1

Uso de la instrumentación básica



OBJETIVO:

Conocer el uso de los instrumentos básicos de medición empleados para el estudio de la electrónica analógica, entre los que se pueden mencionar el osciloscopio, el generador de funciones, la fuente de voltaje y el multímetro.



INTRODUCCIÓN:

El estudio de la electrónica analógica requiere el uso de equipo que permita medir parámetros y señales eléctricas, de modo que las lecturas de las mismas permitan determinar el correcto funcionamiento de un circuito electrónico.

Dentro del estudio de circuitos electrónicos se usa una gran variedad de equipos de medición, no obstante, para los objetivos del curso de Electrónica Analógica será suficiente con el uso del osciloscopio, el generador de funciones, el multímetro y la fuente de voltaje.

La presente práctica tiene como finalidad que el estudiante aprenda el uso de la instrumentación mencionada, ya que su uso ágil y apropiado facilitará el desarrollo de las prácticas subsecuentes.

Osciloscopio.

Un osciloscopio es un instrumento de medición electrónico para la representación gráfica de señales eléctricas que pueden variar en el tiempo. Es muy usado en electrónica de señal, frecuentemente junto a un analizador de espectro.

Presenta los valores de las señales eléctricas en forma de coordenadas en una pantalla, en la que normalmente el eje X (horizontal) representa tiempos y el eje Y (vertical) representa tensiones. La imagen así obtenida se denomina oscilograma. Suelen incluir otra entrada, llamada "eje THRASHER" o "Cilindro de Wehnelt" que controla la luminosidad del haz, permitiendo resaltar o apagar algunos segmentos de la traza.

Los osciloscopios, clasificados según su funcionamiento interno, pueden ser tanto analógicos como digitales, siendo el resultado mostrado idéntico en cualquiera de los dos casos, en teoría.



En un osciloscopio existen, básicamente, dos tipos de controles que son utilizados como reguladores que ajustan la señal de entrada y permiten, consecuentemente, medir en la pantalla y de esta manera se puede ver la forma de la señal medida por el osciloscopio, esto denominado en forma técnica se puede decir que el osciloscopio sirve para observar la señal que quiera medir.

Para medir se lo puede comparar con el plano cartesiano.

El primer control regula el eje X (horizontal) y aprecia fracciones de tiempo (segundos, milisegundos, microsegundos, etc., según la resolución del aparato). El segundo regula el eje Y (vertical) controlando la tensión de entrada (en Volts, milivolts, microvolts, etc., dependiendo de la resolución del aparato).

Estas regulaciones determinan el valor de la escala cuadricular que divide la pantalla, permitiendo saber cuánto representa cada cuadrado de ésta para, en consecuencia, conocer el valor de la señal a medir, tanto en tensión como en frecuencia (en realidad se mide el periodo de una onda de una señal, y luego se calcula la frecuencia).

Osciloscopio Analógico.

La tensión a medir se aplica a las placas de desviación vertical oscilante de un tubo de rayos catódicos (utilizando un amplificador con alta impedancia de entrada y ganancia ajustable) mientras que a las placas de desviación horizontal se aplica una tensión en diente de sierra (denominada así porque, de forma repetida, crece suavemente y luego cae de forma brusca). Esta tensión es producida mediante un circuito oscilador apropiado y su frecuencia puede ajustarse dentro de un amplio rango de valores, lo que permite adaptarse a la frecuencia de la señal a medir. Esto es lo que se denomina base de tiempos.

En la Figura 1 se puede ver una representación esquemática de un osciloscopio con indicación de las etapas mínimas fundamentales:

En el tubo de rayos catódicos el rayo de electrones generado por el cátodo y acelerado por el ánodo llega a la pantalla, recubierta interiormente de una capa fluorescente que se ilumina por el impacto de los electrones.

Si se aplica una diferencia de potencial a cualquiera de las dos parejas de placas de desviación, tiene lugar una desviación del haz de electrones debido al campo eléctrico creado por la tensión aplicada. De este modo, la tensión en diente de sierra, que se aplica a las placas de desviación horizontal, hace que el haz se mueva de izquierda a derecha y durante este tiempo, en ausencia de señal en las placas de desviación vertical, dibuje una línea recta horizontal en la pantalla y luego vuelva al punto de partida para iniciar un nuevo barrido. Este retorno no es percibido por el ojo humano debido a la velocidad a que

se realiza y a que, de forma adicional, durante el mismo se produce un apagado (borrado) parcial o una desviación del rayo.

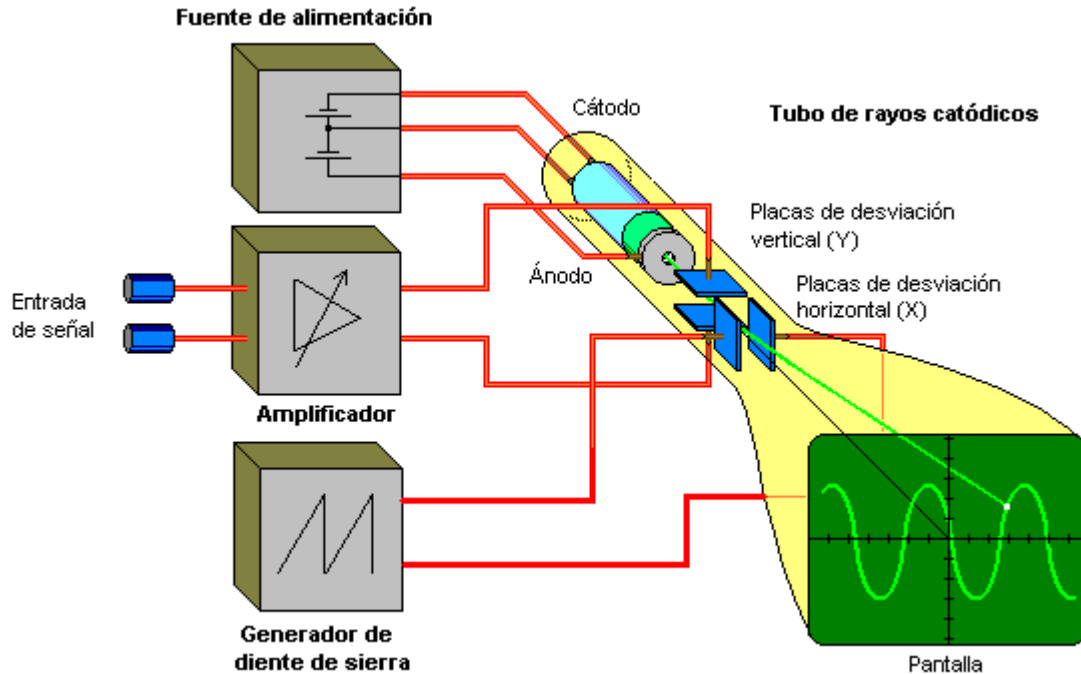


Figura 1. Representación esquemática de un osciloscopio.

Si en estas condiciones se aplica a las placas de desviación vertical la señal a medir (a través del amplificador de ganancia ajustable) el haz, además de moverse de izquierda a derecha, se moverá hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de la polaridad de la señal, y con mayor o menor amplitud dependiendo de la tensión aplicada.

Al estar los ejes de coordenadas divididos mediante marcas, es posible establecer una relación entre estas divisiones y el período del diente de sierra en lo que se refiere al eje X y al voltaje en lo referido al Y. Con ello a cada división horizontal corresponderá un tiempo concreto, del mismo modo que a cada división vertical corresponderá una tensión concreta. De esta forma en caso de señales periódicas se puede determinar tanto su período como su amplitud.

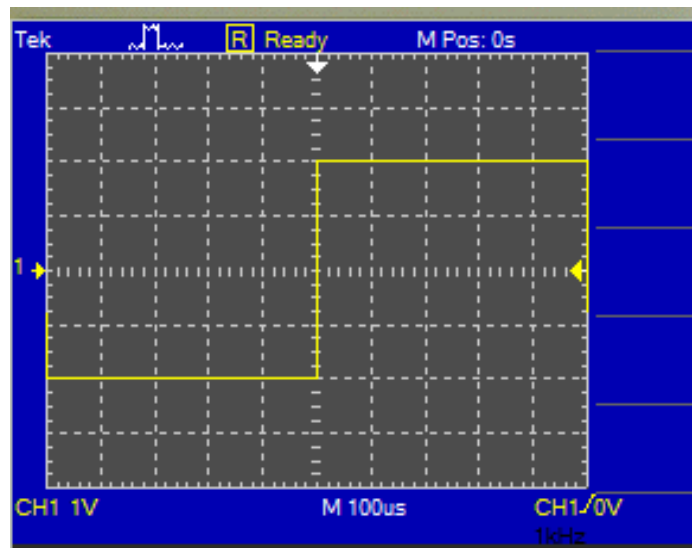
El margen de escalas típico, que varía de microvolts a unos pocos voltios y de microsegundos a varios segundos, hace que este instrumento sea muy versátil para el estudio de una gran variedad de señales.

Calibración del osciloscopio.

Con el uso, un osciloscopio analógico puede descalibrarse y arrojar mediciones erróneas, por lo que es conveniente calibrarlo a fin de asegurarse de la precisión de las mediciones realizadas.

Para su calibración, un osciloscopio genera una onda cuadrada cuando la sonda del mismo se conecta en la terminal de calibración. Esta señal cuadrada tiene una frecuencia de 1 KHz y un voltaje de 2 volts pico a pico.

El proceso de calibración consiste en ajustar, mediante los controles horizontal y vertical, la onda cuadrada de calibración a fin de que mida exactamente un período de 1/1000Hz, lo que equivale a 1 milisegundo y 2 volts de pico a pico.



A modo de ejemplo, en el osciloscopio mostrado en la figura anterior se puede observar la onda cuadrada de un milisegundo de período y dos volts de pico a pico.

El ajuste horizontal del osciloscopio se encuentra en 100 microsegundos por división y se puede observar que el período abarca 10 divisiones, por lo que el período de la señal mostrada será:

$$T = 100 \frac{\mu\text{seg}}{\text{división}} * 10 \text{ divisiones} = 1,000 \mu\text{seg} = 1 \text{ milisegundo}$$

De la misma forma, se observa que el ajuste vertical del osciloscopio es de 1 volt por división, abarcando la señal 4 divisiones de pico a pico, por lo tanto, el voltaje pico a pico será:

$$V = 0.5 \frac{\text{volt}}{\text{división}} * 4 \text{ divisiones} = 2 \text{ voltspicoapico}$$

Observamos que para los ajustes mencionados, la señal cuadrada debe abarcar cierto número de divisiones en forma horizontal y vertical, por lo que en caso de no abarcar el número de divisiones determinado se tendrá un osciloscopio descalibrado.

En caso de tener un osciloscopio descalibrado se deben usar los controles del osciloscopio para ajustar la señal a las divisiones exactas que ésta debe abarcar, proceso que se conoce como calibración del osciloscopio.

El generador de funciones o de señales.

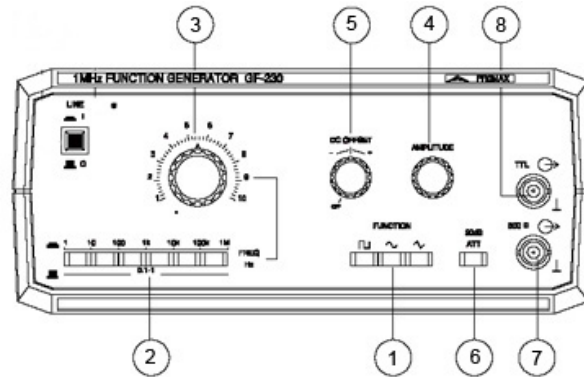
El generador de funciones es un equipo capaz de generar señales variables en el dominio del tiempo para ser aplicadas posteriormente sobre el circuito bajo prueba



Las formas de onda típicas son las triangulares, cuadradas y senoidales. También son muy utilizadas las señales TTL que pueden ser utilizadas como señal de prueba o referencia en circuitos digitales.

Otras aplicaciones del generador de funciones pueden ser las de calibración de equipos, rampas de alimentación de osciloscopios, etc.

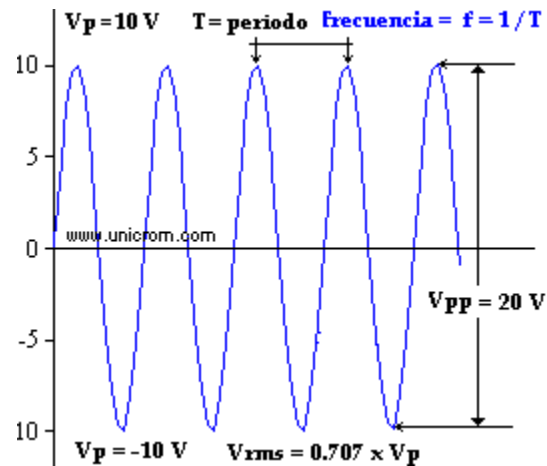
Aunque existen multitud de generadores de funciones de mayor o menor complejidad todos incorporan ciertas funciones y controles básicos que se describen a continuación.



1. Selector de funciones. Controla la forma de onda de la señal de salida. Como se ha mencionado, puede ser triangular, cuadrada o senoidal.
2. Selector de rango. Selecciona el rango o margen de frecuencias de trabajo de la señal de salida. Su valor va determinado en décadas, es decir, de 1 a 10 Hz, de 10 a 100, etc.
3. Control de frecuencia. Regula la frecuencia de salida dentro del margen seleccionado mediante el selector de rango.
4. Control de amplitud. Mando que regula la amplitud de la señal de salida.
5. DC offset. Regula la tensión continua de salida que se superpone a la señal variable en el tiempo de salida.
6. Atenuador de 20dB. Ofrece la posibilidad de atenuar la señal de salida 20 dB (100 veces) sobre la amplitud seleccionada con el control número 4.
7. Salida 600ohm. Conector de salida que entrega la señal elegida con una impedancia de 600 ohmios.
8. Salida TTL. Entrega una consecución de pulsos TTL (0 - 5V) con la misma frecuencia que la señal de salida.

Valores de una señal senoidal.

Una de las señales más usadas en circuitos eléctricos y electrónicos es la señal senoidal, la cual se caracteriza mediante ciertos valores importantes que se indican a continuación.



Valor pico (V_p):

Es el valor medido de la referencia horizontal al pico positivo o negativo.

Valor r.m.s. (V_{rms}):

Es el resultado de dividir el valor pico entre la raíz cuadrada de dos, es decir:

$$V_{rms} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} = 0.707 * V_{pico}$$

Es importante señalar que el valor r.m.s. de una onda senoidal es el valor medido por un medidor de voltaje como por ejemplo, un multímetro digital.

Valor pico a pico (V_{pp}):

Es el valor medio del pico positivo al pico negativo de la señal. De esta definición se determina que el valor pico a pico es el doble del valor pico.

Período:

Es el tiempo, en segundos, que tarda un ciclo de la señal senoidal en completarse.

Frecuencia:

Es el número de ciclos de la onda senoidal que se repiten en un segundo. También se puede determinar a partir del período mediante la relación:

$$f = \frac{1}{T}$$

Donde: f = frecuencia de la señal en Hertz
 T = período de la señal en segundos



Es importante tener bien presentes estos valores, ya que su determinación es muy frecuente para señales electrónicas.



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Osciloscopio
- Generador de funciones
- Sondas para osciloscopio y generador de funciones
- Puntas caimán
- Multímetro



DESARROLLO:

PARTE 1.

Calibre el osciloscopio que va a utilizar en el desarrollo de éstas prácticas.

PARTE 2.

1. Utilice el generador de funciones para generar una señal senoidal de 3 volts de pico a pico y una frecuencia de 1 kHz.
2. Ajuste los controles de *Volts/división* y *Time/división* del osciloscopio para hacer visible uno o dos ciclos de la señal senoidal.
3. En el siguiente esquema trace la señal visualizada en la pantalla del osciloscopio indicando además los ajustes del mismo.



CH1:		Volts/Div	CH2:		Volts/Div
Ajuste de tiempo:		seg/div			

4. Calcule el voltaje promedio o r.m.s. de la señal senoidal:

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} =$$

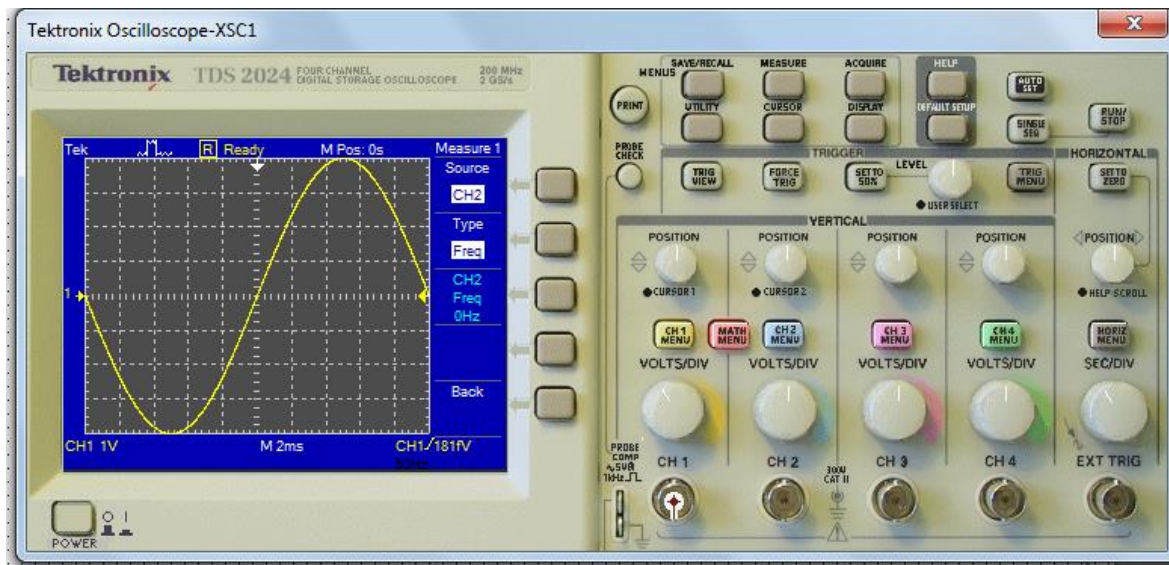
5. Mida con un multímetro el voltaje promedio de la señal senoidal, conectando sus terminales directamente a las terminales del generador de funciones. Reporte el valor medido:

$$V_{rms} =$$

6. Compare los valores obtenidos en los puntos (4) y (5). Explique:

PARTE 3.

1. El osciloscopio de la figura siguiente muestra una señal senoidal. Si el ajuste de tiempo se encuentra en 2 mseg/división y el ajuste de voltaje en 1 volt/división, determine lo siguiente:



a. El voltaje pico de la señal:

$$V_p =$$

b. El voltaje pico a pico de la señal:

$$V_{pp} =$$

c. El voltaje r.m.s. de la señal:

$$V_{rms} =$$

d. El período de la señal:

$$T =$$

e. La frecuencia de la señal:

$$f =$$



PARTE 4.

El voltaje en cierto punto de un circuito, medido con un multímetro digital, indica 1.87 volts. Mediante un osciloscopio se mide su período, indicando que es de 0.0167 segundos. Determine lo siguiente:

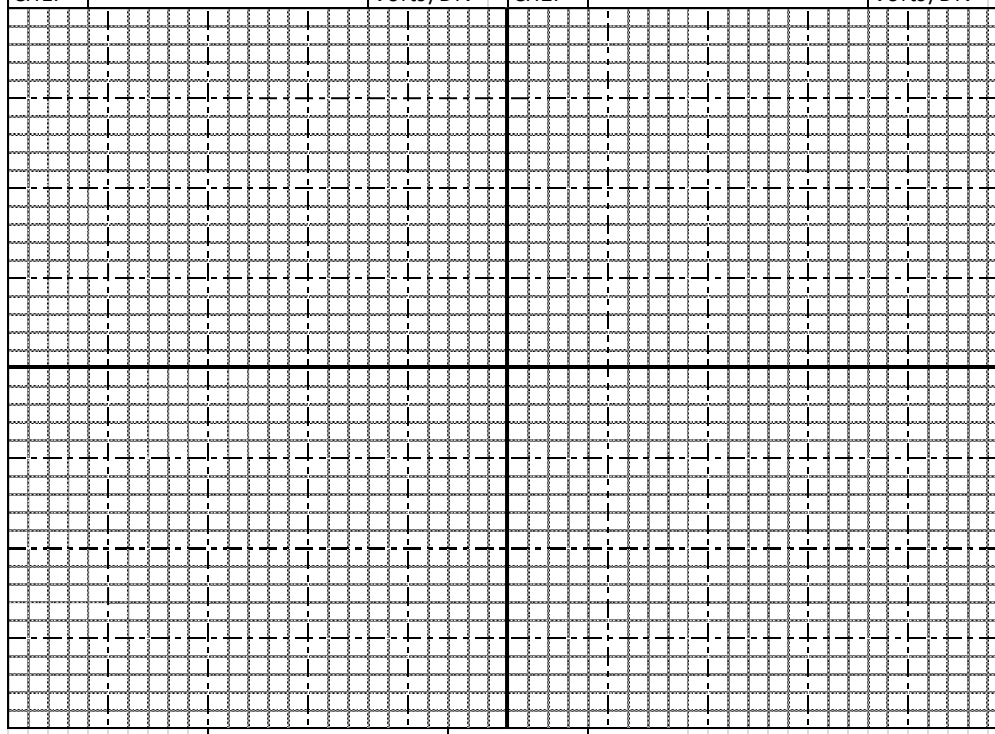
a. Voltaje pico de la señal

$$V_p =$$

b. Frecuencia de la señal:

$$f =$$

c. En el esquema siguiente trace la señal, indicando los ajustes correspondientes de tiempo por división (time/div) y volts por división (volts/div) que debe tener el osciloscopio para que la señal cubra las especificaciones mencionadas.

CH1:		Volts/Div	CH2:		Volts/Div
					
		Ajuste de tiempo:			seg/div



PARTE 5.

1. Use el generador de funciones para generar una señal senoidal con una frecuencia de 1 kHz y un voltaje pico de 3.5 volts.
2. Calcule el voltaje promedio o r.m.s. de la señal indicada.

$$V_{rms} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} =$$

3. Con un multímetro mida el voltaje r.m.s. de la señal y repórtelo a continuación:

$$V_{rms} =$$

4. Compare los valores obtenidos en los puntos (2) y (3). Explique:

5. Calcule el período de la señal:

$$T =$$

6. Ajuste los controles del osciloscopio para visualizar un ciclo completo de la señal, trazando la señal visualizada en el osciloscopio en el siguiente esquema, indicando además los ajustes de *volt/div* y *time/div*.



CH1:	Volts/Div	CH2:	Volts/Div
Ajuste de tiempo:		seg/div	



CUESTIONARIO:

1. Indique los pasos necesarios para calibrar un osciloscopio analógico.
2. Se tiene una señal senoidal con frecuencia de 450 Hz. ¿Cuál es el período de la señal?
3. ¿Cuál es la velocidad angular de la señal anterior?
4. Se tiene una señal senoidal con período de 2.222 mseg., ¿Cuál es la frecuencia de la señal?
5. ¿Cuál es la velocidad angular de la señal anterior?
6. Escriba la ecuación que relaciona el voltaje r.m.s. con el voltaje pico de una señal senoidal.
7. Se tiene una señal senoidal con voltaje pico de 3 volts. ¿Cuál es el voltaje r.m.s. de la señal?
8. Se tiene una señal senoidal con voltaje r.m.s. de 2.6 volts. ¿Cuál es el voltaje pico a pico de la señal?
9. Determine la frecuencia de una señal senoidal con velocidad angular de 628.32 rad/seg.
10. Determine el voltaje r.m.s. de una señal senoidal con voltaje pico a pico de 10 volts.



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. **Análisis y diseño de circuitos electrónicos.** McGrawHill.

PRACTICA 2

Diodos



OBJETIVO:

Conocer el principio de operación de los diodos, así como la forma correcta de polarizarlos para su aplicación en distintos tipos de circuitos electrónicos.



INTRODUCCIÓN:

Un diodo es un dispositivo electrónico formado a partir de la unión de dos regiones semiconductoras, una de tipo P y otra de tipo N. Este dispositivo tiene la característica de que conduce corriente eléctrica en una sola dirección. La unión PN es la característica que permite funcionar a diodos, ciertos transistores y otros dispositivos electrónicos.

Símbolo del diodo.

El símbolo del diodo se indica en la figura 2.1.



Figura 2.1. Símbolo eléctrico del diodo

Polarización del diodo.

Un diodo puede polarizarse de dos formas diferentes, a saber: polarización en directa y polarización en inversa.

Polarización en directa.

Para polarizar a un diodo se le aplica un voltaje de corriente directa en sus terminales. Polarización en directa es la condición que permite la circulación de corriente a través del diodo y se logra cuando se conecta la terminal positiva de la fuente de polarización al ánodo, a través de una resistencia limitadora que sirve para proteger al diodo de corrientes excesivas. La terminal negativa se conecta al cátodo. La corriente de polarización en directa (I_F) circula del ánodo al cátodo, como se muestra en la figura 2.2. Por su parte, la caída del voltaje de polarización en directa en las terminales del diodo (V_F) es de positivo en el ánodo, a negativo en el cátodo.

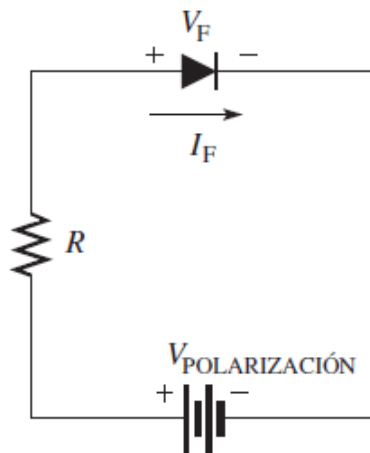


Figura 2.2. Polarización en directa de un diodo

Polarización en inversa.

Un diodo está polarizado en inversa cuando se conecta una fuente de voltaje como se indica en la figura 2.3.

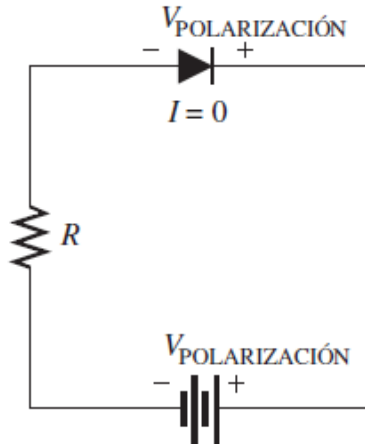


Figura 2.3. Polarización en inversa de un diodo.

En polarización en inversa, la terminal negativa de la fuente se conecta al ánodo del diodo y la positiva al cátodo. La corriente de polarización en inversa es extremadamente pequeña y para fines prácticos puede considerarse como cero.

Característica de Voltaje-Corriente de un diodo.

Como se ha mencionado anteriormente, la polarización en directa de un diodo produce circulación de corriente a través de él, mientras que la polarización en inversa evita esta circulación, excepto por una corriente en inversa despreciable.

Característica V-I en condición de polarización en directa.

Cuando se aplica un voltaje de polarización en directa a través de un diodo se produce corriente. Esta corriente se conoce como corriente de polarización en directa y se expresa como I_F . La figura 2.4. ilustra lo que sucede a medida que el voltaje de polarización en directa se incrementa positivamente desde 0 volts. Se utiliza una resistencia para limitar la corriente de polarización en directa a un valor que no sobrecaliente al diodo y pueda ocasionarle daños.

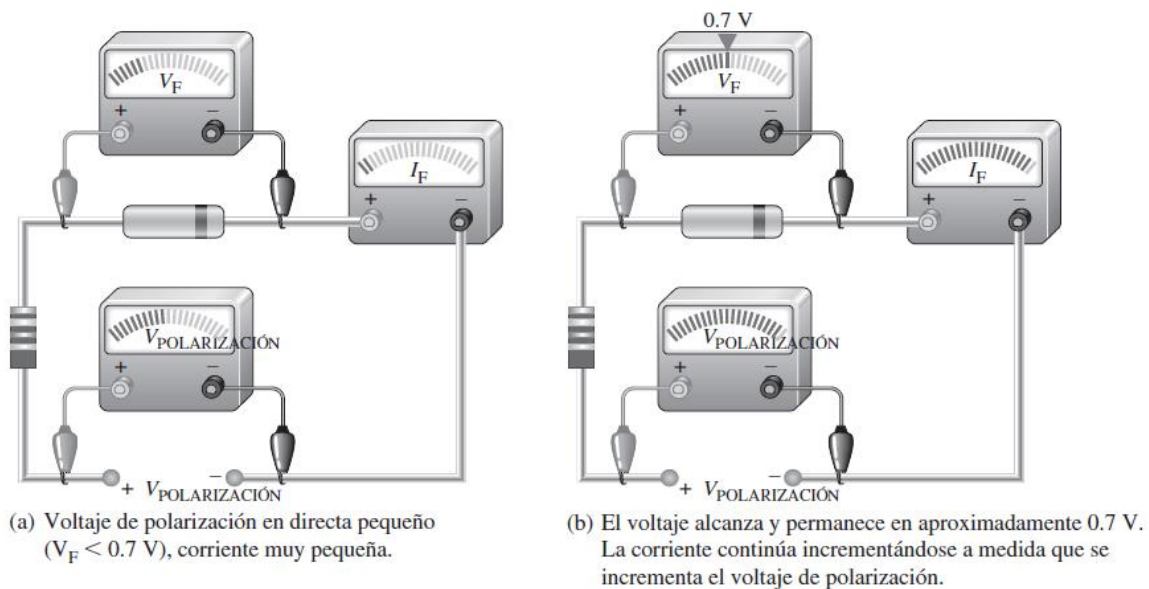


Figura 2.4. Las mediciones de polarización en directa muestran cambios generales en V_F e I_F a medida que se incrementa el voltaje de polarización.

Con cero volts a través del diodo, no se produce corriente de polarización en directa. A medida que se incrementa gradualmente el voltaje de polarización en directa, la corriente de polarización y el voltaje de polarización a través del diodo se incrementan gradualmente, como se muestra en la figura 2.4. (a). Una parte del voltaje de polarización en directa decae a través de la resistencia limitadora. Cuando el voltaje de polarización en directa se incrementa a un valor en el que el voltaje a través del diodo alcanza aproximadamente 0.7 volts, la corriente de polarización en directa comienza a incrementarse rápidamente, como se muestra en la figura 2.4 (b).

La figura 2.5 muestra una curva típica para un diodo polarizado en directa.

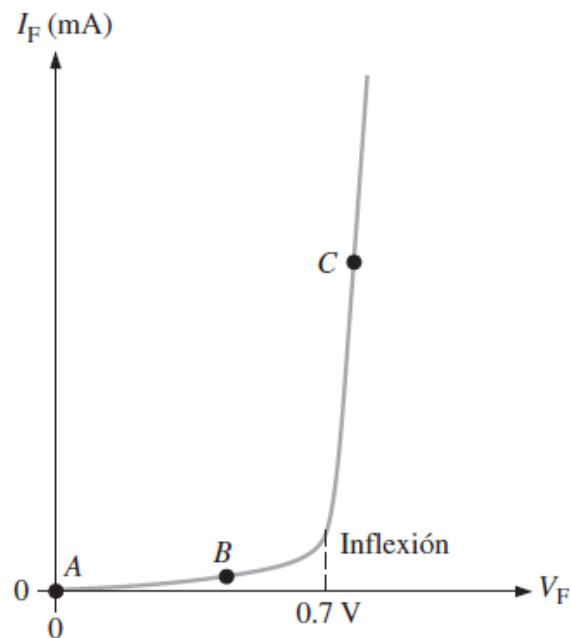


Figura 2.5. Curva característica V-I para polarización en directa.

Característica V-I en condición de polarización en inversa.

Cuando se aplica un voltaje de polarización en inversa a través de un diodo, existe solo una corriente en inversa extremadamente pequeña (I_R) a través de la unión PN. Con cero volts a través del diodo, no existe corriente en inversa. A medida que se incrementa gradualmente el voltaje de polarización en inversa, existe una corriente en inversa muy pequeña y el voltaje a través del diodo se incrementa. Cuando el voltaje de polarización aplicado se incrementa a un valor en el que el voltaje en inversa a través del diodo (V_R) alcanza el valor de ruptura, la corriente en inversa comienza a incrementarse con rapidez.

A medida que continua incrementándose el voltaje de polarización, la corriente continua incrementándose muy rápido, pero el voltaje a través del diodo se incrementa muy poco por encima del voltaje de ruptura (V_{BR}). La ruptura, con excepciones, no es un modo normal de operación en la mayoría de los dispositivos con unión PN.

La figura 2.6 muestra una curva característica V-I para polarización en inversa.

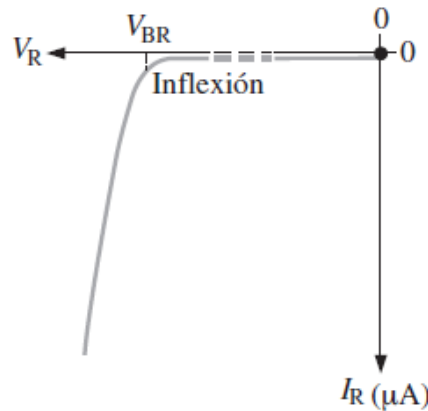


Figura 2.6. Curva característica para polarización en inversa.



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Fuente de voltaje
- Multímetro digital
- Un Diodo 1N4001
- Una resistencia de $330\ \Omega$, $\frac{1}{2}$ watt.
- Una hoja de papel milimétrico



DESARROLLO:

Polarización en directa de un diodo.

1. Arme en un protoboard el circuito mostrado en la figura 2.7, el cual consiste en un diodo polarizado en directa.

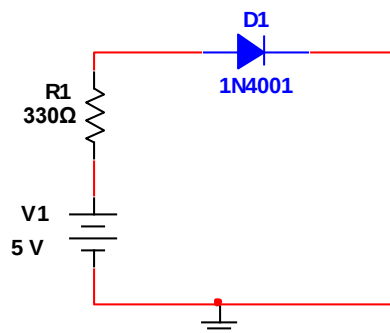


Figura 2.7. Diodo polarizado en directa.



2. Indique a continuación si debe haber corriente eléctrica circulando por el circuito. Explique su respuesta:

3. Sin usar el multímetro en función de Ampérmetro (medición indirecta de corriente), determine la corriente eléctrica que circula por el circuito. Recuerde que para calcular la corriente puede medir el voltaje en las terminales de la resistencia y, de acuerdo a la Ley de Ohm, al dividir este voltaje entre el valor de la misma resistencia, se obtendrá la corriente eléctrica. Eso se muestra en la figura 2.8.

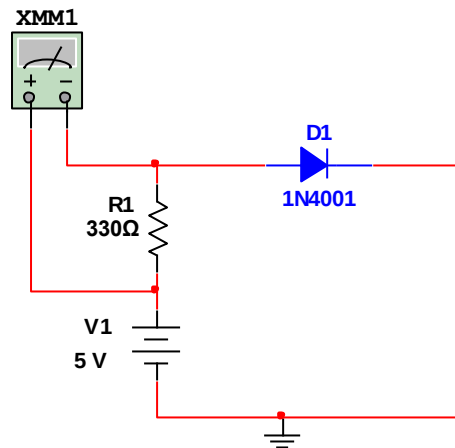


Figura 2.8. Medición necesaria para determinar la corriente eléctrica.

Anote sus mediciones y cálculos en la Tabla 2.1:

V_{XMM1} [Volts]	$R1$ [Ohms]	I [Amperes] = $V_{XMM1}/R1$

Tabla 2.1. Mediciones y cálculos para polarización en directa.

4. Indique si hay corriente eléctrica circulando en el circuito. Explique:

Polarización en inversa de un diodo.

1. Arme en un protoboard el circuito mostrado en la figura 2.9, el cual consiste en un diodo polarizado en inversa.

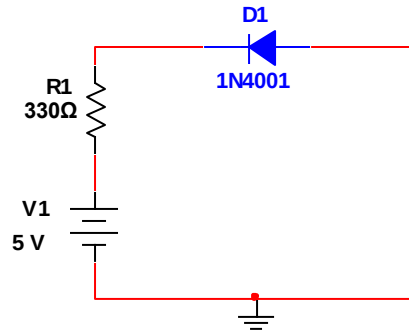


Figura 2.9. Diodo polarizado en inversa.

2. Indique a continuación si debe haber corriente eléctrica circulando por el circuito. Explique su respuesta:

3. Sin usar el multímetro en función de Ampérmetro, determine la corriente eléctrica que circula por el circuito. Recuerde que para calcular la corriente puede medir el voltaje en las terminales de la resistencia y, de acuerdo a la Ley de Ohm, al dividir este voltaje entre el valor de la misma resistencia, se obtendrá la corriente eléctrica. Eso se muestra en la figura 2.10.

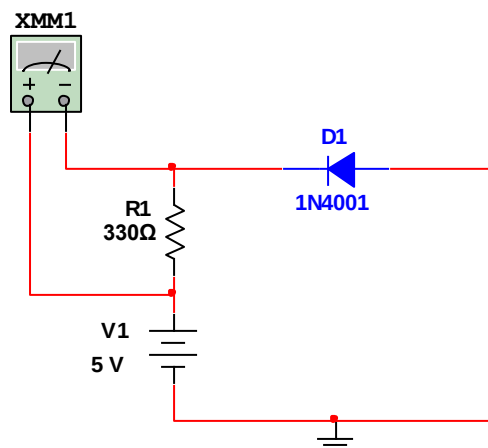


Figura 2.10. Medición necesaria para determinar la corriente eléctrica.



Anote sus mediciones y cálculos en la siguiente Tabla 2.2.:

V_{XMM1} [Volts]	$R1$ [Ohms]	I [Amperes] = $V_{XMM1}/R1$

Tabla 2.2. Mediciones y cálculos para polarización en inversa.

4. Indique si hay corriente eléctrica circulando en el circuito. Explique:

Obtención de la curva V-I característica de un diodo polarizado en directa.

1. Arme en un protoboard el circuito mostrado en la figura 2.11

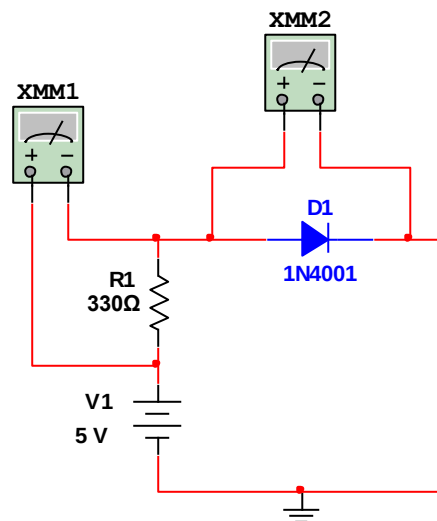


Figura 2.11. Circuito para determinar la curva V-I característica de un diodo polarizado en directa.

Se debe recordar que la curva V-I característica se traza graficando el voltaje en las terminales del diodo (V_{XMM2}) sobre el eje x, contra la corriente circulante en el circuito (I_F). Recuerde además que la corriente circulante en el circuito se puede calcular como:

$$I_F = \frac{V_{XMM1}}{R_1}$$



2. Fije el valor de la fuente V1 en cero volts.
3. Comience a incrementar el voltaje V1 en pequeños pasos, llenando la Tabla 2.3 con los datos medidos y calculados:

V1	V_{XMM1}	V_{XMM2}	R1	I_F

Tabla 2.3. Mediciones y cálculos para determinar la curva característica V-I de polarización en directa.

4. Dibuje en papel milimétrico la gráfica de V-I, donde el eje x corresponde a los valores de V_{XMM2} y el eje y a los valores de I_F .

Obtención de la curva V-I característica de un diodo polarizado en inversa.

1. Arme en un protoboard el circuito mostrado en la figura 2.11

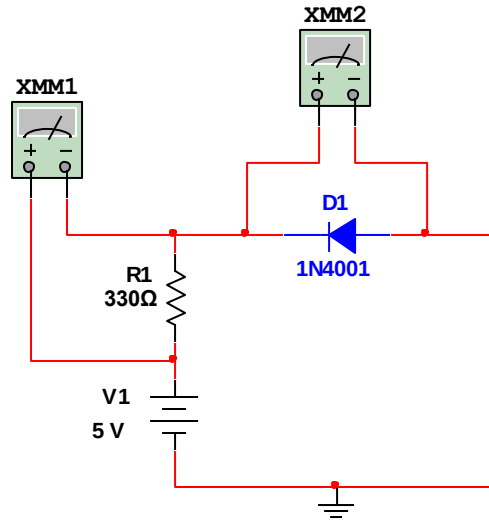


Figura 2.12. Circuito para determinar la curva V-I característica de un diodo polarizado en inversa.

Se debe recordar que la curva V-I característica se traza graficando el voltaje en las terminales del diodo (V_{XMM2}) sobre el eje x, contra la corriente circulante en el circuito (I_R). Recuerde además que la corriente circulante en el circuito se puede calcular como:

$$I_R = \frac{V_{XMM1}}{R_1}$$

2. Fije el valor de la fuente V1 en cero volts.
3. Comience a incrementar el voltaje V1 en pequeños pasos, llenando la Tabla 2.4 con los datos medidos y calculados:

V1	V_{XMM1}	V_{XMM2}	R1	I_R



Tabla 2.4. Mediciones y cálculos para determinar la curva característica V-I de polarización en inversa.

4. Dibuje en el papel milimétrico la gráfica de V-I, donde el eje x corresponde a los valores de V_{XMM2} y el eje y a los valores de I_R . Recuerde además que la gráfica de polarización en inversa se traza en el tercer cuadrante del plano cartesiano.



CUESTIONARIO:

1. Indique que entiende por polarización en directa de un diodo.
2. Indique que entiende por polarización en inversa de un diodo.
3. ¿Qué tipo de polarización debe tener un diodo para que pueda conducir corriente?
4. ¿A qué valor de voltaje empieza a conducir en directa un diodo de silicio?
5. ¿A qué valor de voltaje empieza a conducir un diodo de germanio?



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. **Análisis y diseño de circuitos electrónicos.** McGrawHill.



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM



PRACTICA 3

“Rectificador de media onda”



OBJETIVO:

Implementar fuentes rectificadoras de media onda.



INTRODUCCIÓN:

La gran mayoría de aparatos y dispositivos electrónicos requieren alimentación de corriente directa para su funcionamiento. No obstante, el suministro de alimentación proporcionado en general por las empresas eléctricas es corriente alterna a 127 volts por fase y 60 Hertz de frecuencia, por lo que se hace necesario el uso de circuitos electrónicos rectificadores que conviertan la señal de corriente alterna en señal de corriente directa que pueda ser usada por los aparatos electrónicos.

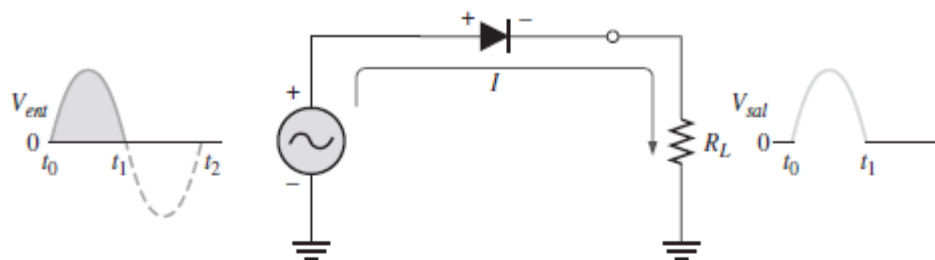
En general, aunque no exclusivamente, se tienen dos tipos principales de rectificadores, cuyo uso dependerá de las necesidades específicas de la aplicación. Estos son, los rectificadores de media onda y los rectificadores de onda completa.

Los elementos que conforman a cualquier fuente rectificadora son: un transformador de acoplamiento que reduce el voltaje de los valores nominales de suministro a los requeridos para las aplicaciones específicas, diodos rectificadores, capacitores para filtrado de señal y reguladores de voltaje.

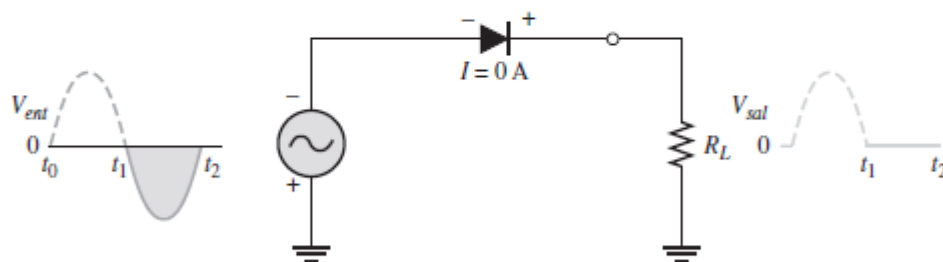
Rectificadores de media onda

La figura 1 muestra el proceso de rectificación de media onda. Se conecta un diodo a una fuente de corriente alterna y a una resistencia de carga R_L , para formar lo que se conoce como rectificador de media onda. Si se examina lo que sucede durante la alternancia se nota que cuando el voltaje senoidal de entrada (V_{ent}) se hace positivo, el diodo esta polarizado en directa y conduce corriente a través de la resistencia de carga, como se muestra en la parte (a) de la figura. La corriente produce un voltaje de salida a través de la resistencia de carga R_L , cuya forma es igual a la forma del semiciclo positivo del voltaje de entrada.

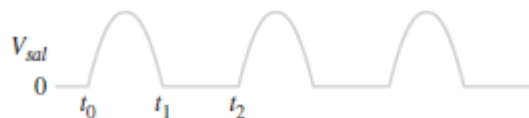
Cuando el voltaje de entrada se vuelve negativo durante el segundo semiciclo, el diodo se polariza en inversa. No hay corriente, por lo que el voltaje a través de la resistencia de carga R_L es cero, como se muestra en la parte (b) de la figura.



- (a) Durante la alternancia positiva del voltaje de entrada a 60 Hz, el voltaje de salida se ve como la mitad positiva del voltaje de entrada. La trayectoria de la corriente es a través de tierra de regreso a la fuente.



- (b) Durante la alternancia negativa del voltaje de entrada, la corriente es 0, de modo que el voltaje de salida también es 0.



- (c) Voltaje de salida a 60 Hz durante tres ciclos de entrada

Figura 1. Operación de un rectificador de media onda.

El resultado neto del proceso mencionado anteriormente, es que solo los semiciclos positivos del voltaje de entrada de c.a. aparecen a través de la resistencia de carga R_L . Como la señal de salida no cambia de polaridad, es decir, no toma valores negativos, la señal de salida es llamada señal de corriente directa pulsante o señal rectificadora de media onda, con una frecuencia igual a la de la señal de entrada.

El voltaje promedio de la señal rectificadora de media onda se determina como:

$$V_{PROM} = \frac{V_p}{\pi}$$

Donde:

V_{PROM} = Voltaje promedio de la señal rectificadora de media onda.

V_p = Voltaje pico de la señal rectificadora de media onda.



Si se considera un modelo ideal del diodo, el voltaje pico de la señal rectificada de media onda será igual al de la señal de entrada al diodo. No obstante, es más correcto usar un modelo práctico del diodo, ya que es una aproximación más apegada a la realidad. Si se considera el modelo práctico del diodo, el voltaje pico de la señal rectificada de media onda será:

$$V_p(sal) = V_p(ent) - 0.7$$

Donde:

$V_p(sal)$ = Voltaje pico de la señal de salida rectificada de media onda

$V_p(ent)$ = Voltaje pico de la señal de entrada

Los 0.7 volts indicados en la ecuación anterior representan la caída de voltaje a través del diodo, considerando que se trata de un diodo de silicio.



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Osciloscopio
- Multímetro
- Generador de funciones
- 1 Resistencias de 560 Ω
- 1 diodos 1N4001



DESARROLLO:

Rectificador de media onda.

1. Arme en un protoboard el rectificador de media onda que se muestra a continuación, usando un generador de funciones para generar la onda senoidal requerida y conectando un osciloscopio y dos multímetros para medir las señales de entrada y salida.

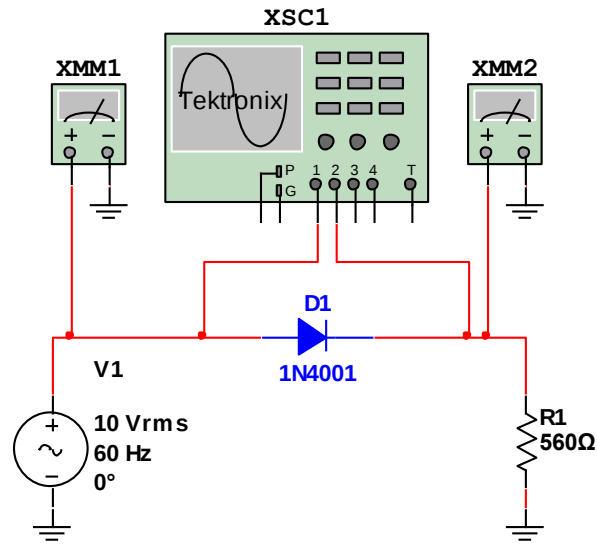


Figura 7. Circuito para el rectificador de media onda

- En el siguiente esquema trace las ondas que aparecen en el osciloscopio indicando los ajustes de los canales usados y el ajuste de la escala de tiempo.

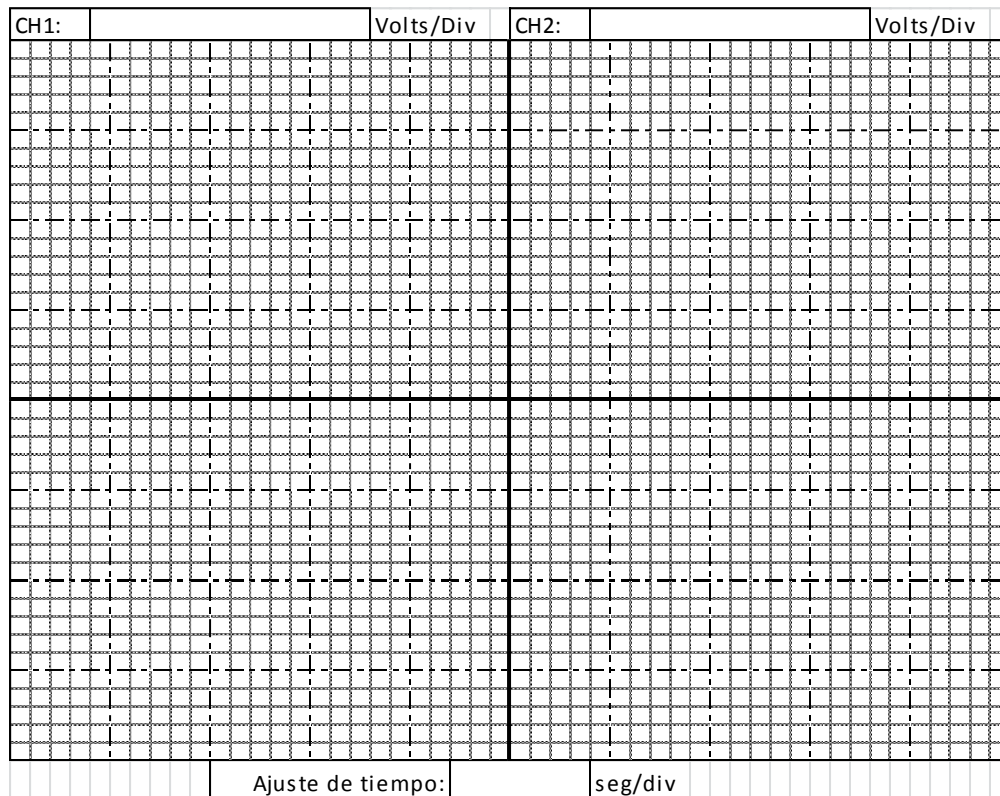


Figura 8. Pantalla del osciloscopio para el rectificador de media onda



3. En base a las señales presentes en la pantalla del osciloscopio y a los ajustes del mismo, determine **analíticamente** lo siguiente:

Cantidad a calcular	Calculo y resultado
Voltaje pico de la señal de entrada:	
Voltaje promedio de la señal de entrada:	
Frecuencia de la señal de entrada:	
Voltaje pico de la señal de salida:	
Voltaje promedio de la señal de salida:	
Frecuencia de la señal de salida:	

4. Reporte en la siguiente tabla los voltajes promedio “medidos” con el multímetro, según se indica en la figura 7.

Cantidad medida con multímetro	Valor [volts]
Voltaje promedio de la señal de entrada [XMM1]:	
Voltaje promedio de la señal de salida [XMM2]:	

5. Compare los resultados de los valores promedio calculados con los medidos. Explique.



CUESTIONARIO:

1. ¿Cuántos diodos se requieren para armar un rectificador de media onda?
2. ¿Por qué razón se da el nombre de rectificador de media onda?
3. Escriba la ecuación para calcular el voltaje promedio de una señal rectificada de media onda.
4. Si un multímetro mide 3.5 volts a la salida de un rectificador de media onda ¿cuál es el valor pico de dicha señal?
5. ¿Cómo es la frecuencia de la señal rectificada de media onda respecto a la señal de entrada?



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. **Análisis y diseño de circuitos electrónicos**. McGrawHill.

PRACTICA 4

Rectificador de onda completa (R.O.C.) con derivación central



OBJETIVO:

Implementar un rectificador de media onda con derivación central



INTRODUCCIÓN:

Un rectificador de onda completa permite corriente unidireccional a través de la carga durante los 360° del ciclo de entrada, mediante que un rectificador de media onda permite corriente a través de la carga solo durante la mitad del ciclo. El resultado de la rectificación de onda completa es un voltaje de salida con una frecuencia del doble de la frecuencia de entrada y que pulsa cada semiciclo de la entrada, como se muestra en la figura 4.1.

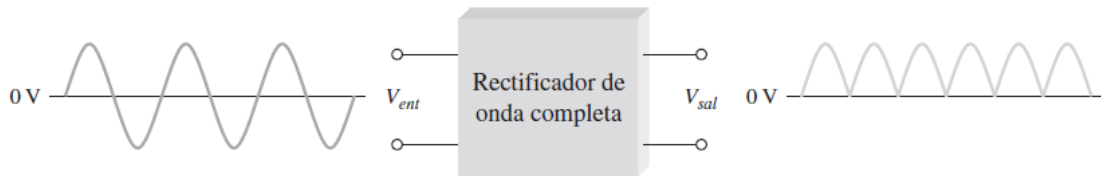


Figura 4.1. Rectificación de onda completa.

El número de alternaciones positivas que conforman el voltaje rectificado de onda completa es dos veces el del voltaje de media onda durante el mismo intervalo. El valor promedio medido de un voltaje senoidal rectificado de onda completa es dos veces el de media onda, es decir:

$$V_{prom} = \frac{2V_p}{\pi}$$

Rectificador de onda completa con derivación central.

El rectificador con derivación central es un rectificador de onda completa que utiliza dos diodos conectados al secundario de un transformador con derivación central, como se muestra en la figura 4.2. El voltaje de entrada se acopla a través del transformador al secundario con derivación central. La mitad del voltaje secundario total aparece entre la derivación central y cada extremo del devanado secundario, como se muestra en la figura 4.2.

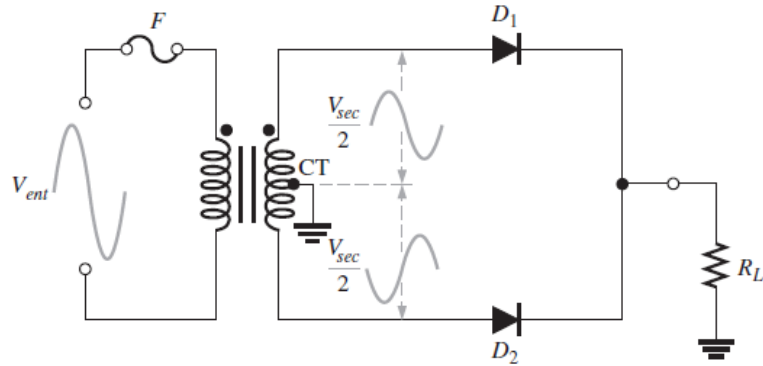


Figura 4.2. Rectificador de onda completa con derivación central.

La forma en que trabaja el R.O.C. con derivación central durante los semiciclos positivo y negativo de la señal de entrada se muestra en las figuras 4.3. y 4.4.

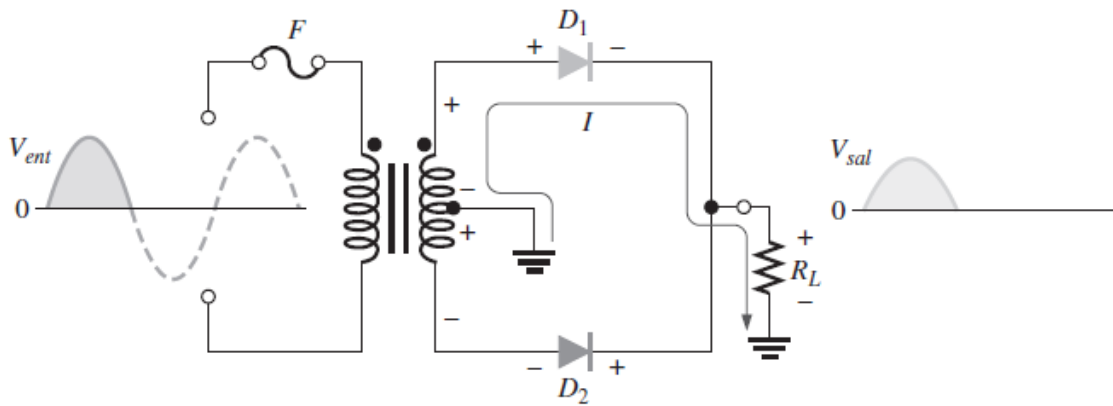


Figura 4.3. Durante los semiciclos positivos de la señal de entrada, D1 está polarizado en directa y D2 en inversa.

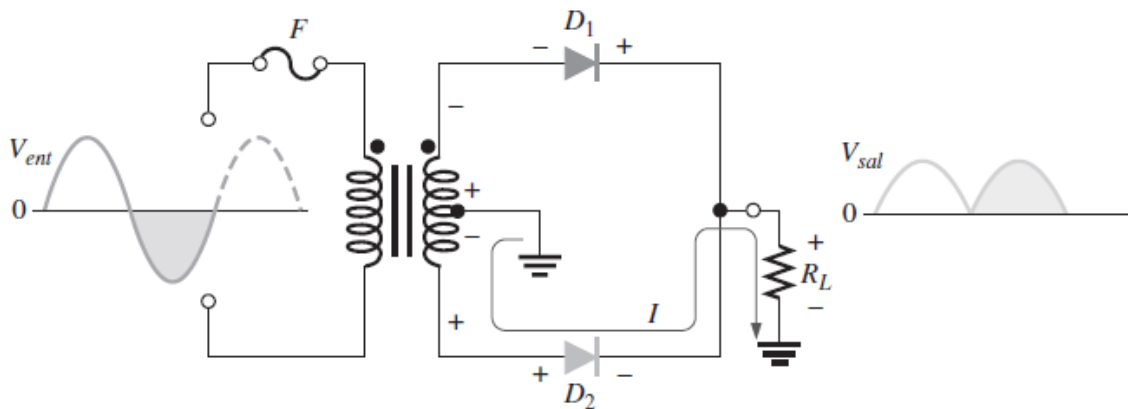


Figura 4.4. Durante los semiciclos negativos de la señal de entrada, D1 está polarizado en inversa y D2 en directa.

Efecto de la relación de vueltas en el voltaje de salida.

Si la relación de vueltas del transformador es 1, el valor pico del voltaje de salida rectificado es igual a la mitad del valor pico del voltaje de salida primario menos el potencial de barrera, como muestra la figura 4.5.

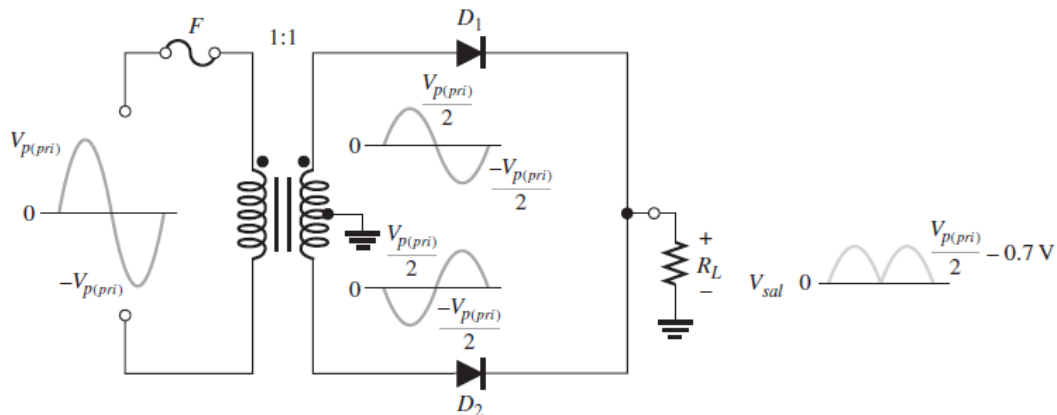


Fig. 4.5. El voltaje de salida del R.O.C. con derivación central es la mitad del voltaje secundario menos el potencial de barrera, esto es:

$$V_{sal} = \frac{V_{sec}}{2} - 0.7$$

Donde V_{sec} es el voltaje en el secundario del transformador tomando todo el arrollamiento secundario.



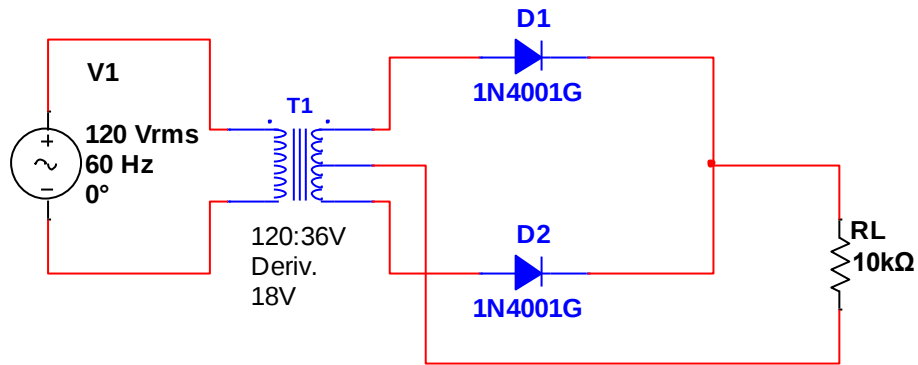
MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Transformador 120V/36V, 1 ampere, con derivación central en el secundario. El transformador deberá adaptarse con una clavija del lado primario de forma que pueda enchufarse normalmente a la toma comercial de corriente de c.a.
- Dos diodos 1N4001
- Una resistencia de 10 K Ω
- Osciloscopio y puntas
- Multímetro y puntas
- Protoboard
- Cable UTP

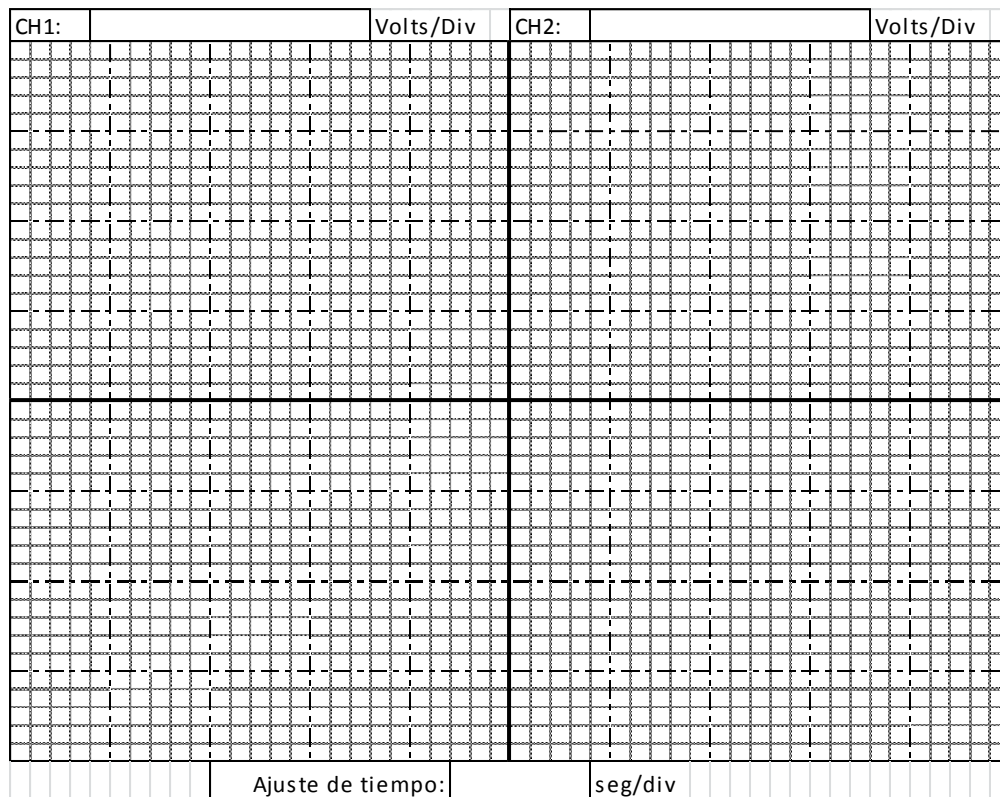


DESARROLLO:

- Arme en un protoboard el circuito mostrado a continuación.



- En el siguiente esquema dibuje las señales a la entrada de los diodos D1 y D2, y en las terminales de la resistencia de carga R_L , indicando los ajustes de Volts/div y Time/div.





3. Mida en el osciloscopio el voltaje pico de la señal de salida, $V_{p(sal)}$.

$V_{p(sal)} =$

4. Mida con el multímetro el voltaje promedio de salida, $V_{prom(sal)}$.

$V_{prom(sal)} =$

5. En base al voltaje pico obtenido en el punto 3, determine analíticamente el voltaje promedio de salida, $V_{prom(sal)}$.

$V_{prom(sal)} =$

6. Compare los resultados obtenidos en los puntos 3 y 5. Explique.



CUESTIONARIO:

1. ¿Cuántos diodos se requiere para realizar un R.O.C. con derivación central?
2. ¿Cómo es la frecuencia de la señal de salida respecto de la de entrada en un R.O.C. con derivación central?
3. ¿Cuál es el voltaje de salida de un R.O.C. con derivación central si la señal de entrada en el primario tiene un voltaje pico de 170 volts y la relación de transformación del transformador es 2:1?
4. Respecto al caso anterior ¿Qué valor mediría un multímetro en el secundario del transformador?
5. Similarmente ¿Qué valor mediría un multímetro en las terminales de la resistencia de carga?



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

PRACTICA 5

Rectificador de Onda Completa (R.O.C.) tipo puente



OBJETIVO:

Entender y comprobar el principio de funcionamiento de un Rectificador de Onda Completa (R.O.C.) tipo puente.



INTRODUCCIÓN:

Un rectificador de onda completa tipo puente se realiza conectando cuatro diodos en forma de puente, como se ilustra en las figuras 5.1 y 5.2, donde además se muestra el principio de funcionamiento del mismo.

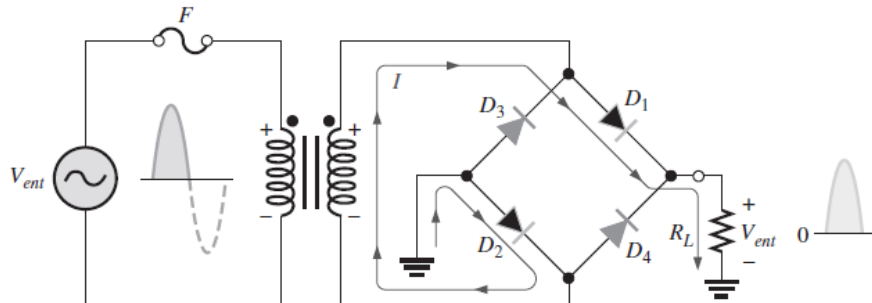


Figura 5.1. Operación del R.O.C. tipo puente durante el semi-ciclo positivo de la señal de entrada.

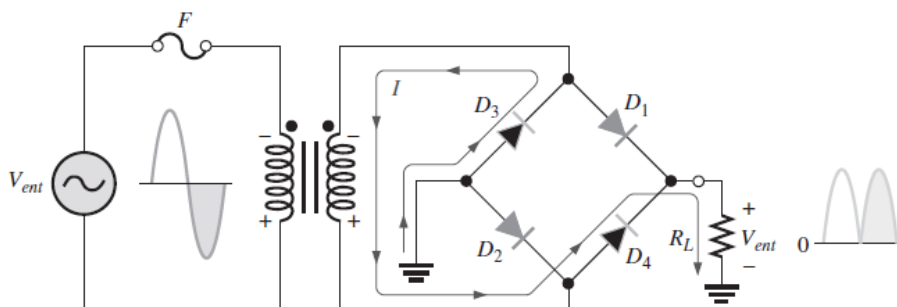


Figura 5.2. Operación del R.O.C. tipo puente durante el semi-ciclo negativo de la señal de entrada.

El voltaje pico a la salida, es decir, en las terminales de la resistencia de carga R_L , se determina como:

$$V_{p(sal)} = V_{p(sec)} - 1.4$$

El valor de 1.4 se debe a que la corriente que llega a la resistencia de carga pasa por dos diodos en cada semi-ciclo de la señal de entrada.

Filtro del rectificador.

Para mejorar la señal de salida se conecta un filtro a la salida del puente rectificador, como se muestra en la figura siguiente.

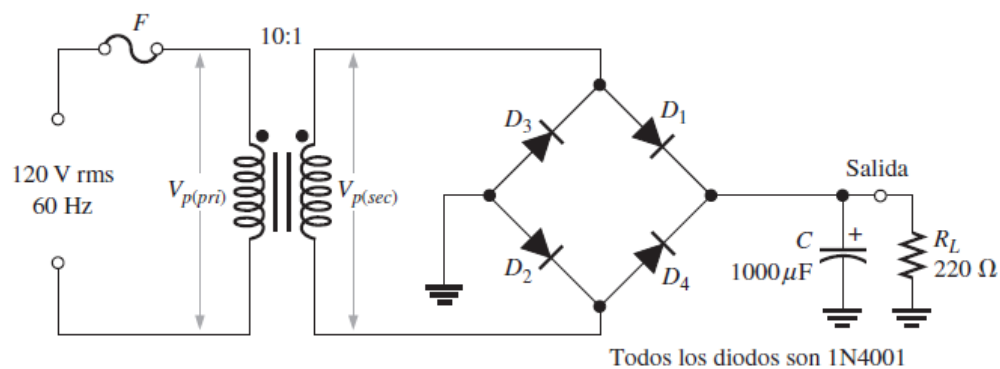


Figura 5.3. Filtro a la salida del puente rectificador

El filtro no es otra cosa sino un capacitor cuyo efecto sobre la señal de salida es no permitir que su valor llegue a cero, formando una señal rizada como la que se muestra a continuación.

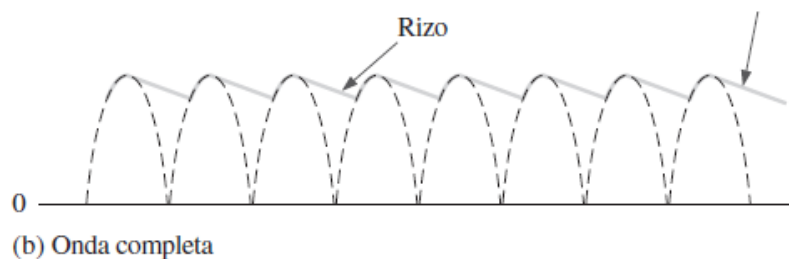


Figura 5.4. Señal rectificada de onda completa rizada por un filtro.

Factor de rizo.

El factor de rizo determina la efectividad de un filtro en un R.O.C. Los parámetros que intervienen en el cálculo del factor de rizo se muestran en la figura siguiente:

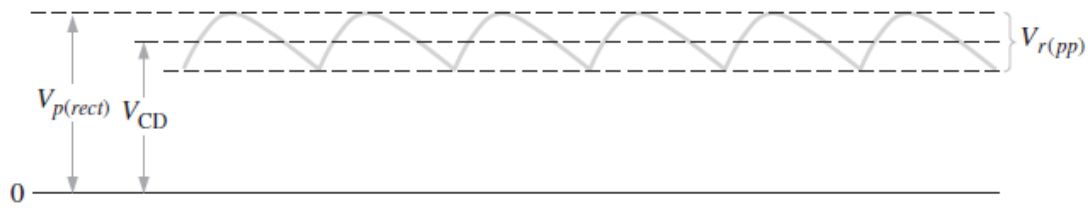


Figura 5.5. Parámetros que intervienen en el cálculo del factor de rizo.

El factor de rizo se calcula de la forma siguiente:

$$r = \frac{V_{r(pp)}}{V_{CD}}$$

Donde:

$$V_{r(pp)} = V_{p(rect)} \left(\frac{1}{f R_L C} \right)$$

$$V_{CD} = V_{p(rect)} \left(1 - \frac{1}{2 f R_L C} \right)$$

Regulador.

El regulador es la última parte de la fuente y consiste en un circuito integrado (C.I.) de la familia 78XX, donde 78 indica que se trata de un regulador y XX indica el voltaje de salida del regulador. Se recomienda que la diferencia entre los voltajes de entrada y salida del regulador no exceda de 3 volts. La forma de conectar el regulador se muestra en la figura siguiente.

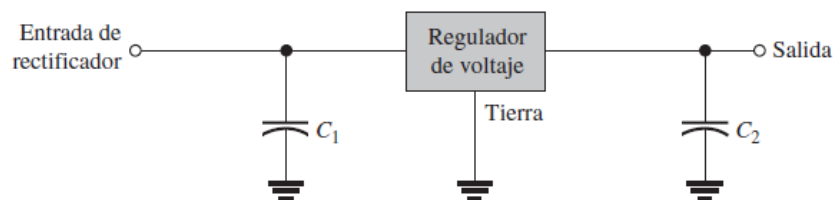


Figura 5.6. Conexión del regulador de voltaje.



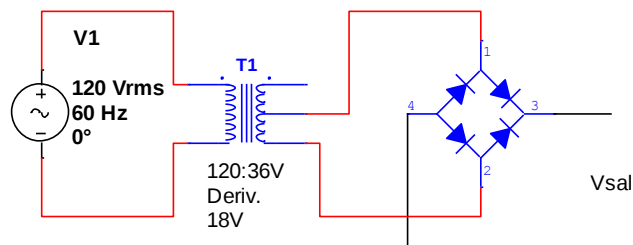
MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Transformador de 120/36 volts, 1 ampere, con derivación central en el secundario
- Puente de diodos, 1 ampere
- Capacitor de 4,700 uF, 25 volts
- Reguladores: 7915 y 7912
- Resistencia de 560 ohms
- Protoboard
- Portafusibles para protoboard (2)
- Fusibles de 1 ampere.
- Osciloscopio.
- Multímetro



DESARROLLO:

1. Arme en la protoboard el rectificador de onda completa mostrado a continuación.



2. Con un multímetro mida el voltaje promedio (V_{rms}) en el secundario del transformador.

$$V_{rms(sec)} =$$

3. Calcule el voltaje pico en el secundario del transformador.

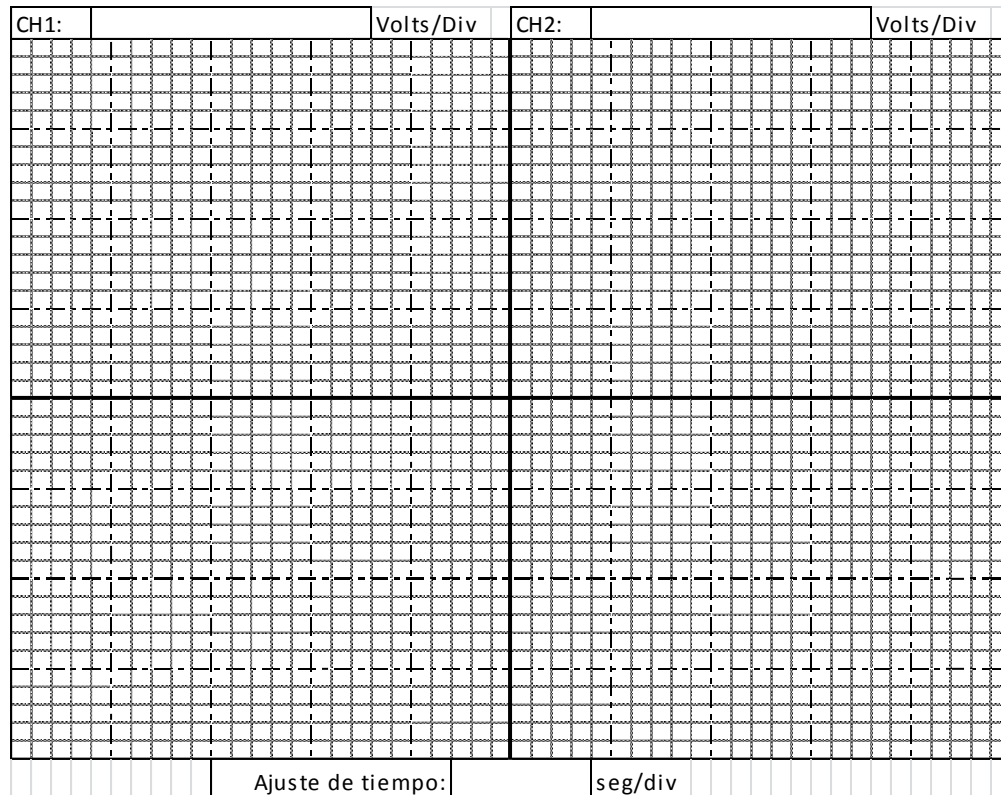
$$V_{p(sec)} =$$

4. Calcule el voltaje pico que debe haber a la salida del rectificador:

$$V_{p(sal)} = V_{p(rect)} =$$



5. En el siguiente esquema dibuje la señal de voltaje en el secundario del transformador y la señal de voltaje a la salida del rectificador (señal rectificada de onda completa).

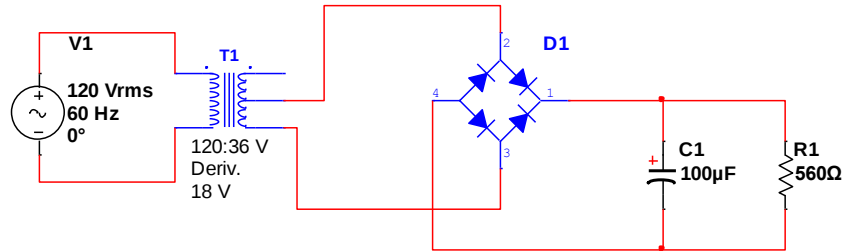


6. En base a las gráficas anteriores indique el valor pico de la señal de voltaje a la salida del transformador (señal rectificada de onda completa).

$$V_{p(sal)} = V_{p(rect)} =$$

7. Compare el resultado del punto anterior con el del punto 4. Explique.

8. Conecte un capacitor (filtro) de 100 μF a la salida del rectificador, como se indica en la siguiente figura.



9. Basándose en la figura 5.5. determine con el osciloscopio el valor del voltaje de rizo de pico a pico, $V_{r(pp)}$.

$$V_{r(pp)} =$$

10. Calcule el voltaje de corriente directa, V_{CD} , de la señal rectificada de onda completa. En base a la figura 5.5. se observa que:

$$V_{CD} = V_{p(rect)} - \frac{V_{r(pp)}}{2} =$$

11. En base a los datos obtenidos en los puntos 9 y 10 calcule el factor de rizo del rectificador como:

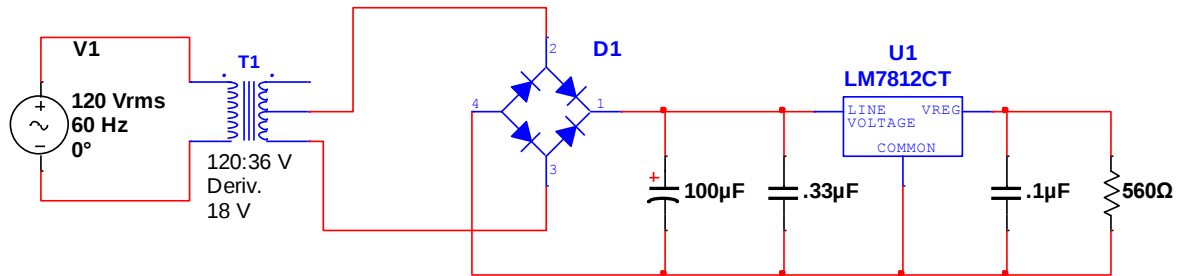
$$r = \frac{V_{r(pp)}}{V_{CD}} =$$

12. Considerando el circuito del punto 8 calcule teóricamente el factor de rizo:

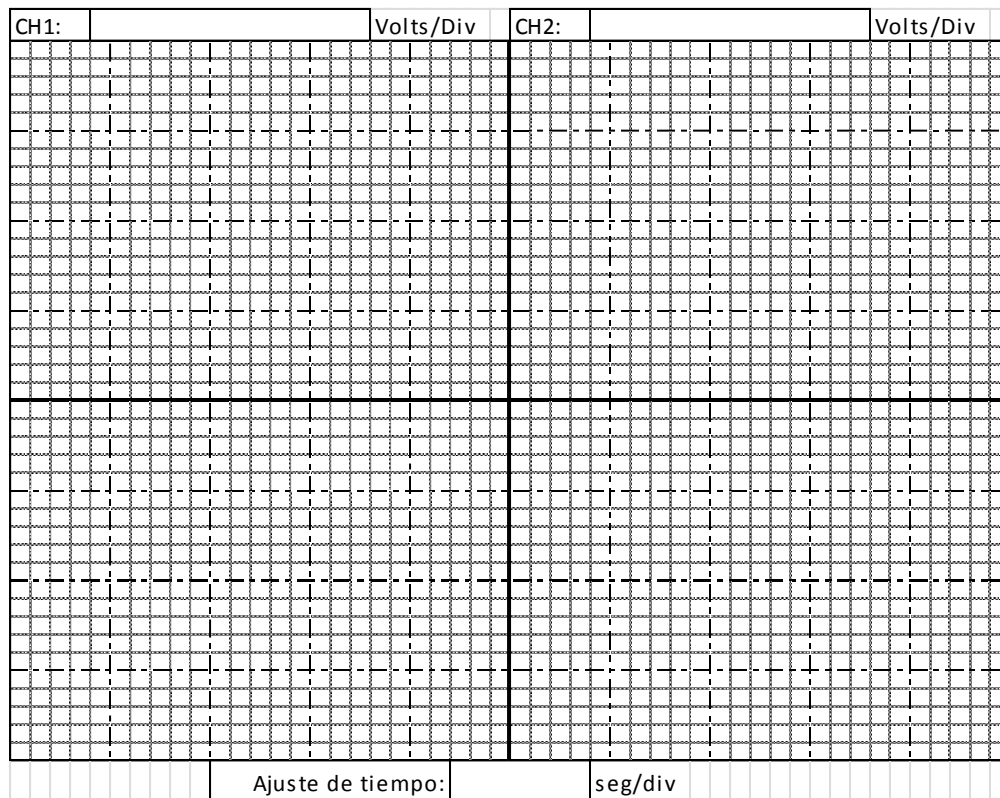


13. Compare los resultados obtenidos en los puntos 11 y 12. Explique.

14. Conecte un regulador de 12 volts (7812) a la salida del rectificador, como se muestra en la siguiente figura.



15. Visualice en un osciloscopio la señal de voltaje en las terminales de la resistencia de carga. Dibújela en el esquema siguiente.





CUESTIONARIO:

1. ¿Cómo es la frecuencia de la señal de salida de un R.O.C. en comparación con la señal de entrada en el primario del transformador?
2. ¿Qué función tiene el filtro del rectificador?
3. ¿Qué función tiene el regulador del rectificador?
4. ¿Qué voltaje regulado se obtendrá a la salida de un regulador cuya nomenclatura es LM7805?
5. Si en el circuito del punto 8 se conecta un capacitor de 5600 uF en vez del de 100 uF ¿Cuál es ahora el factor de rizo?
6. Investigue y reporte algunas aplicaciones prácticas de los rectificadores de onda completa.



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. *Análisis y diseño de circuitos electrónicos*. McGrawHill.

PRACTICA 6

Circuitos limitadores y sujetadores



OBJETIVO:

Conocer la forma de diseñar circuitos limitadores y sujetadores que permitan recortar señales o agregar niveles de corriente directa.



INTRODUCCIÓN:

Limitadores o recortadores.

Los limitadores o recortadores son circuitos que recortan las señales con el fin de prevenir sobrevoltajes indeseados en los circuitos electrónicos. Los limitadores básicos son el limitador de alternancia positiva y el limitador de alternancia negativa, los cuales se muestran en las figuras siguientes.

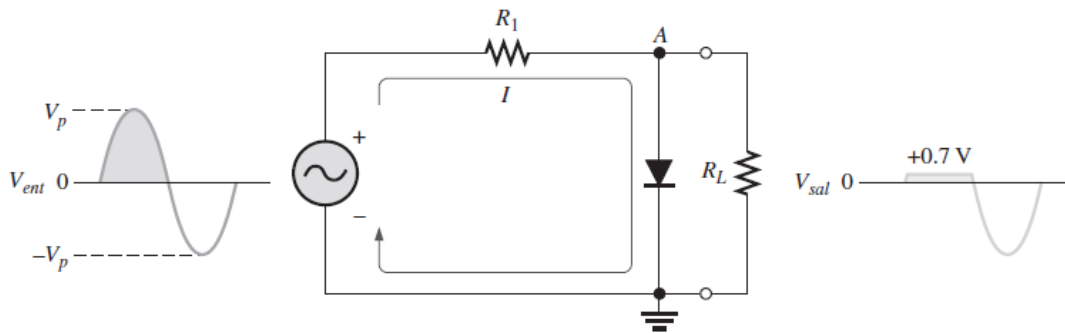


Figura 6.1. Limitador de alternancia positiva.

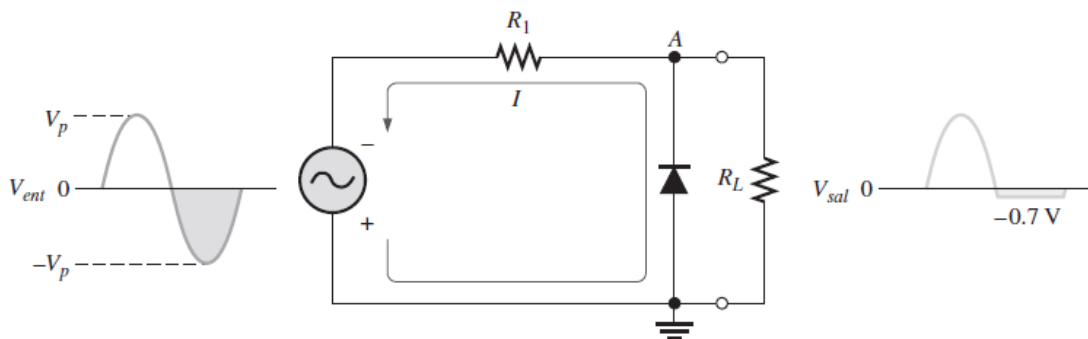


Figura 6.2. Limitador de alternancia negativa

El voltaje de salida para limitador de alternancia positiva será de 0.7 volts, ya que el diodo polarizado en directa cortocircuita a la resistencia de salida, quedando únicamente la caída de 0.7 volts propia del diodo.

Para la alternancia negativa, el voltaje de salida será:

$$V_{sal} = V_p \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right)$$

Limitadores polarizados.

Son aquellos que limitan o recortan la alternancia positiva o negativa pero permiten el paso de voltaje hasta cierto nivel determinado por un voltaje de polarización. Las figuras siguientes muestran los esquemas para este tipo de limitador.

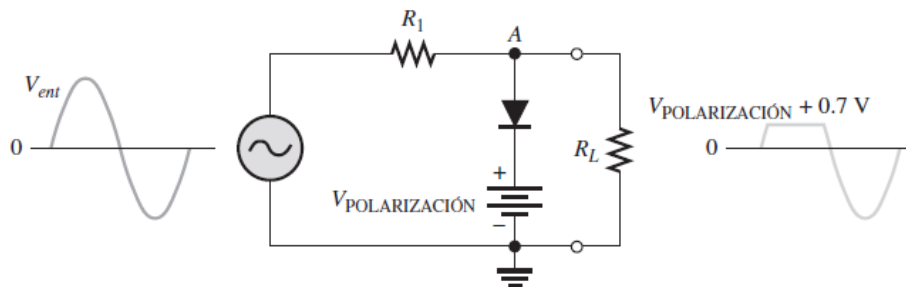


Figura 6.3. Limitador polarizado de alternancia positiva

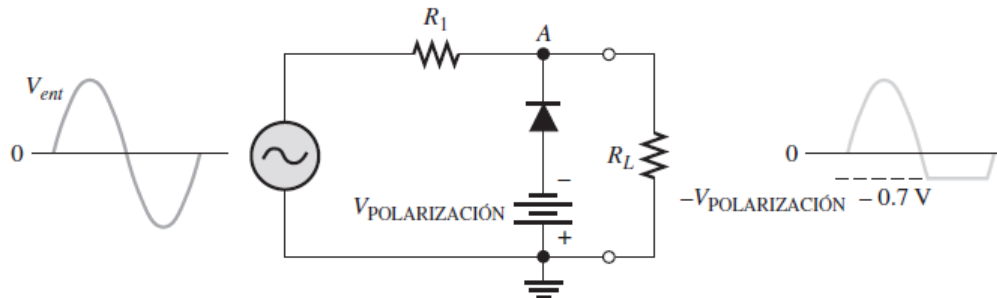


Figura 6.3. Limitador polarizado de alternancia negativa

Sujetadores.

Los circuitos sujetadores agregan un nivel de c.d. a una señal de c.a., es decir, la desplazan en forma horizontal hacia arriba (sujetador positivo) o hacia abajo (sujetador negativo). El esquema de un sujetador positivo se muestra en la figura siguiente.

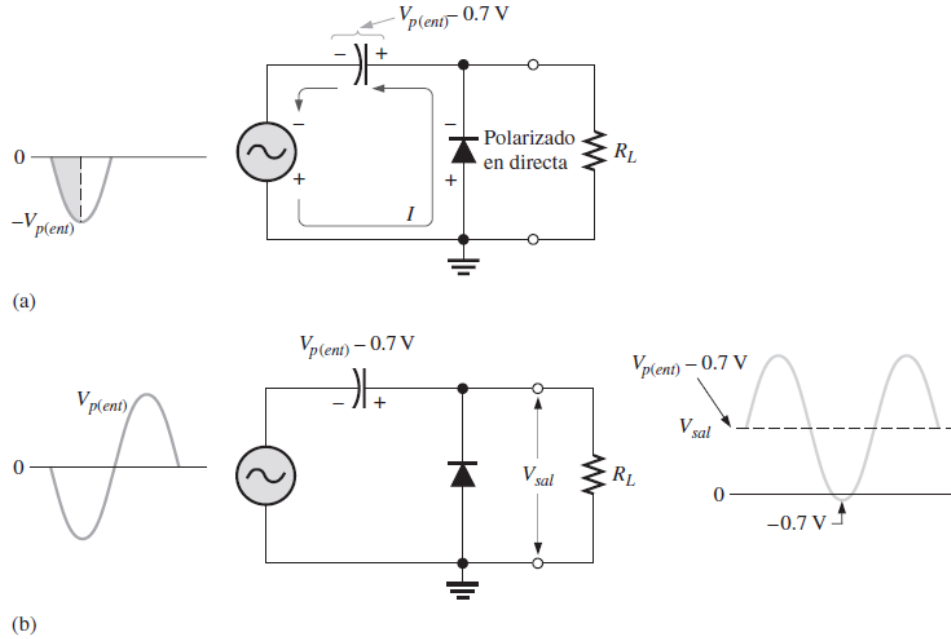


Figura 6.4. Sujetador positivo. Desplaza una señal de c.a. hacia arriba

El sujetador negativo se realiza como se muestra en la figura siguiente:

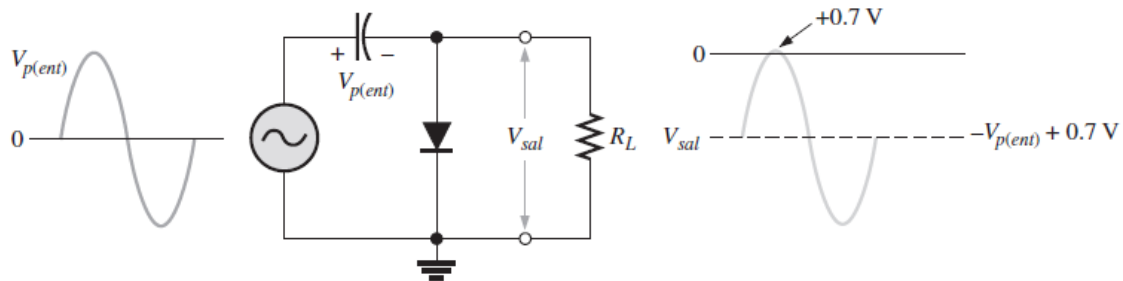


Figura 6.5. Sujetador negativo. Desplaza una señal de c.a. hacia abajo.



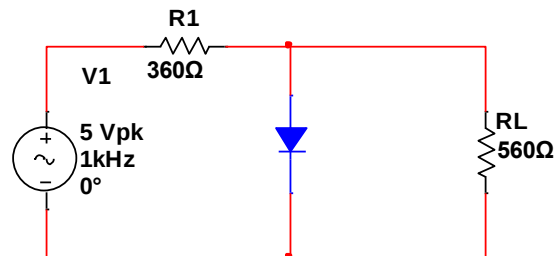
MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Diodos 1N4001
- Resistencias de 330 Ω , 560 Ω y 1 k Ω (2)
- Generador de funciones
- Fuente de voltaje
- Capacitor electrolítico de 100 μF



DESARROLLO:

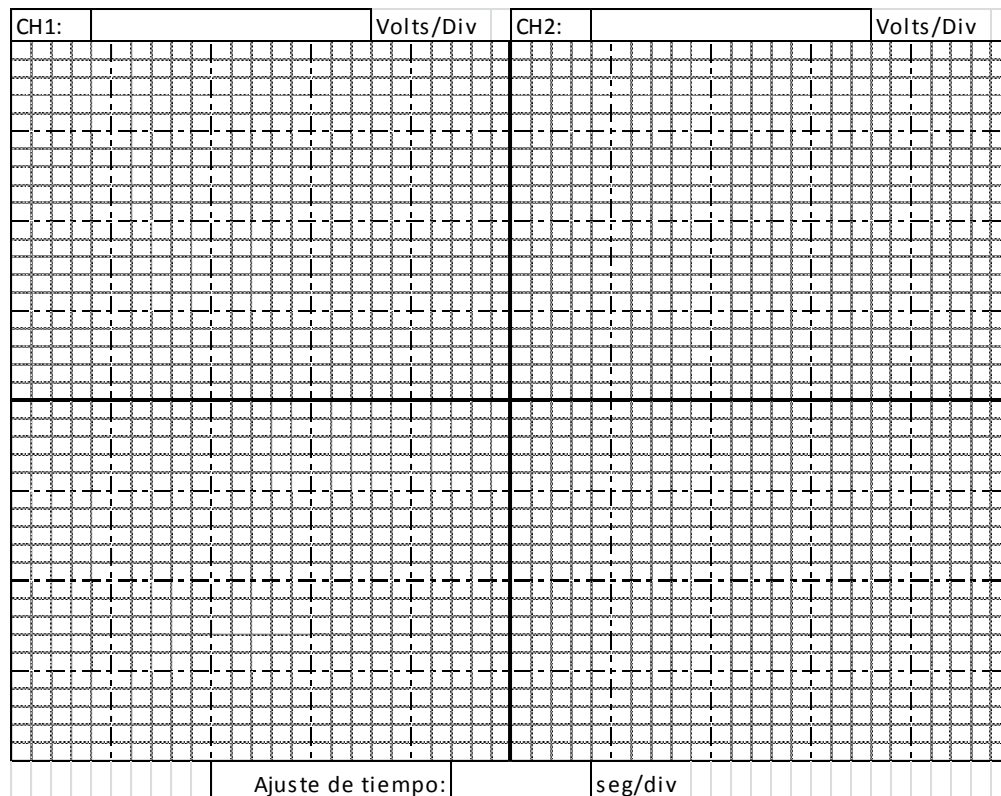
1. Arme el circuito limitador de alternancia positiva mostrado en la figura siguiente.



2. Calcule el valor pico de la alternancia negativa como:

$$V_{p(sal)} = V_{p(ent)} \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right)$$

3. Conecte un osciloscopio en la resistencia de salida, dibujando en el esquema siguiente la señal visualizada.



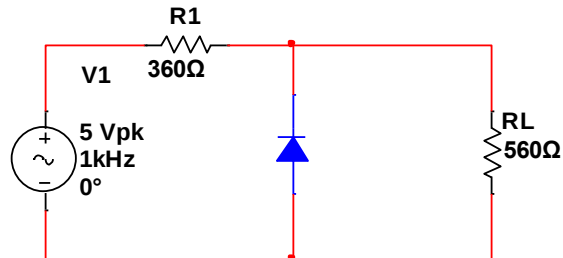


4. Determine en el osciloscopio el valor pico de la alternancia negativa.

$$V_{p(sal)} =$$

5. Compare los resultados de los puntos 2 y 4. Explique.

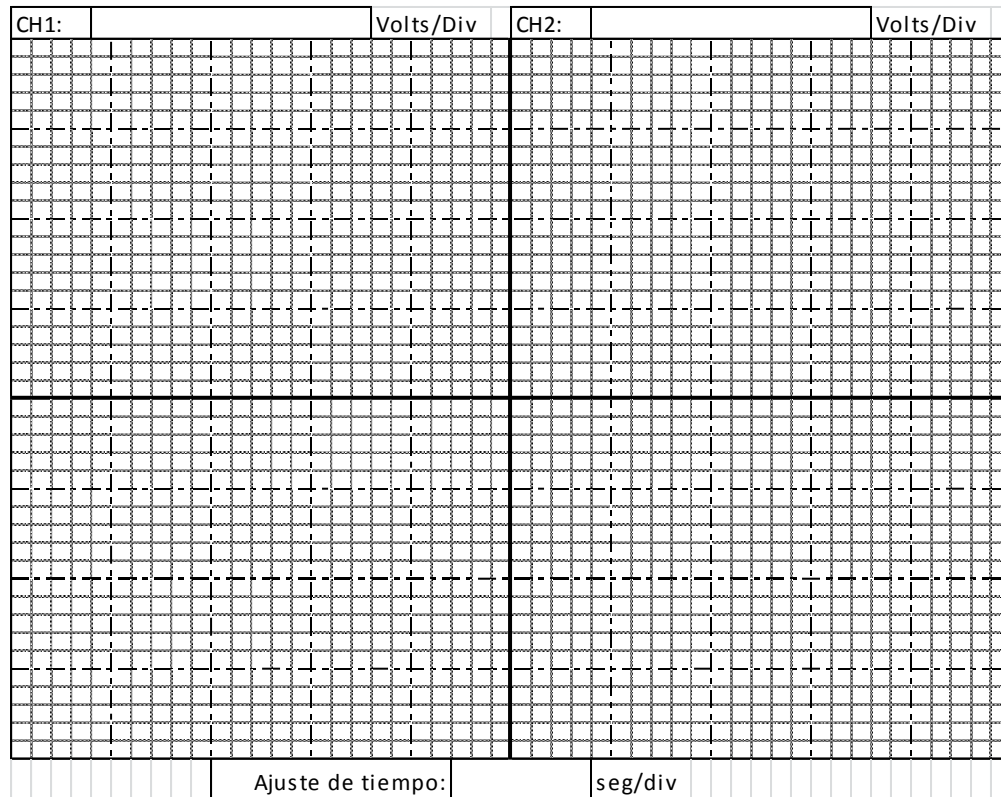
6. Arme ahora el circuito limitador de alternancia negativa mostrado en la siguiente figura.



7. Calcule el valor pico de la alternancia positiva como:

$$V_{p(sal)} = V_{p(ent)} \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right)$$

8. Conecte un osciloscopio en la resistencia de salida, dibujando en el esquema siguiente la señal visualizada.

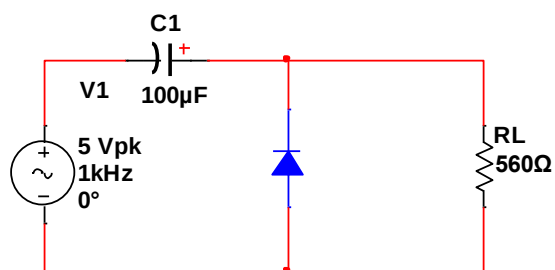


9. Determine en el osciloscopio el valor pico de la alternancia positiva:

$$V_{p(sal)} =$$

10. Compare los resultados obtenidos en los puntos 9 y 7. Explique.

11. Arme el circuito sujetador positivo mostrado en la figura siguiente.





12. Conecte un osciloscopio en la resistencia de salida, dibujando en el esquema siguiente la señal visualizada.

CH1:	Volts/Div	CH2:	Volts/Div
Ajuste de tiempo:		seg/div	

13. Explique qué es lo que sucede con la señal original al hacerla pasar por el circuito sujetador.

14. Indique si la señal obtenida a la salida es similar a la señal de entrada y si existe alguna diferencia indique cuál es.



CUESTIONARIO:

1. Investigue y reporte algunas aplicaciones de los circuitos limitadores.
2. Investigue y reporte algunas aplicaciones de los circuitos sujetadores.



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. **Análisis y diseño de circuitos electrónicos.** McGrawHill.

PRACTICA 7

Transistores de Unión Bipolar (BJT's)



OBJETIVO:

Conocer el principio de operación de los Transistores de Unión Bipolar, mejor conocidos como BJT's por sus siglas en inglés (Bi-Junction Transistor),



INTRODUCCIÓN:

El Transistor de Unión Bipolar o BJT es uno de los dispositivos electrónicos más usados históricamente debido a su gran funcionalidad que le permite poder usado en una gran variedad de aplicaciones electrónicas.

Este transistor se construye con tres regiones semiconductoras separadas por dos uniones PN, como lo muestra la figura 4.1 (a). Las tres regiones se llaman: Emisor, Colector y Base. Las figura 4.1 (b) y (c) muestran representaciones físicas de los dos tipos de BJT que existen. Un tipo se compone de dos regiones tipo N separadas por una región tipo P y se le conoce como BJT tipo NPN. El otro tipo de BJT se compone de dos regiones tipo P separadas por una región tipo N y se conoce como BJT tipo PNP.

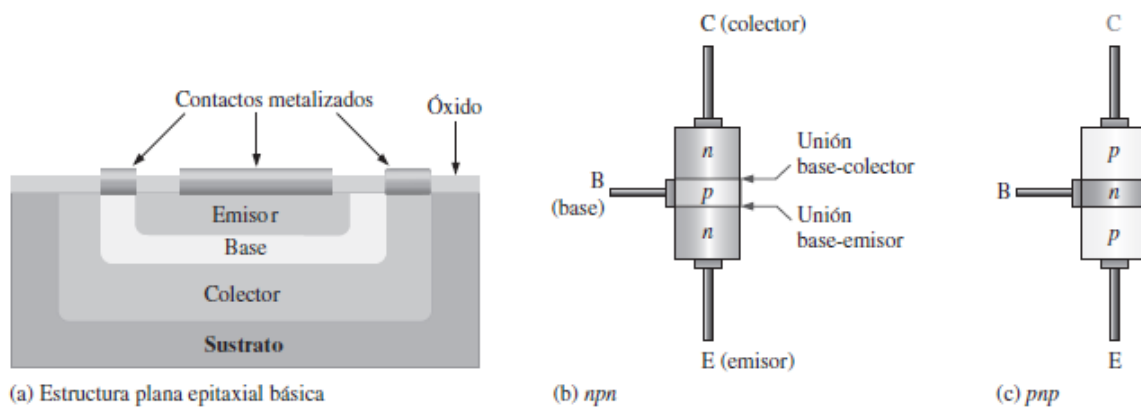


Figura 4.1. Construcción básica de un BJT.

Símbolos eléctricos del BJT.

La simbología eléctrica de un BJT se muestra en la figura 4.2.

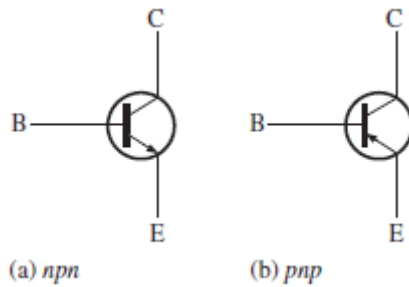


Figura 4.2. Símbolos eléctricos de los dos tipos de BJT.

Una de las funciones principales del BJT es su uso como amplificador de señales electrónicas.

Para que un BJT opere adecuadamente como amplificador, las dos uniones PN deben estar correctamente polarizadas con voltajes de c.d. externos.

La figura 4.3 muestra los arreglos para polarización, tanto del BJT NPN como del PNP, para que operen como amplificador. Observe que en ambos casos la unión Base-Emisor (BE) está polarizada en directa y la unión Base-Colector (BC) en inversa. Esta condición se llama polarización en directa-inversa.

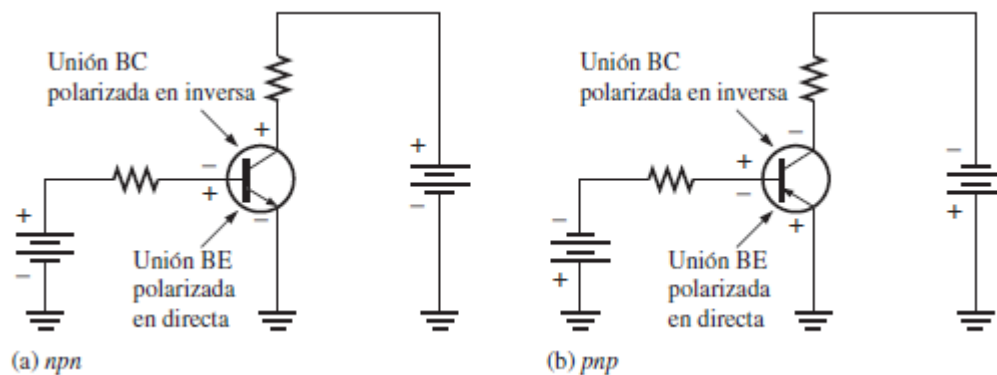


Figura 4.3. Polarización en directa-inversa de un BJT

Corrientes del transistor.

La dirección de las corrientes presentes en un BJT se muestra en la figura 4.4. Se puede observar que en ambos tipos de BJT, la corriente en el emisor (I_E) es la suma de la corriente de colector (I_C) y la corriente en la base (I_B), lo cual se expresa de la siguiente forma:

$$I_E = I_C + I_B$$

La corriente de base (I_B) es muy pequeña en comparación con las corrientes de emisor (I_E) y de colector (I_C).

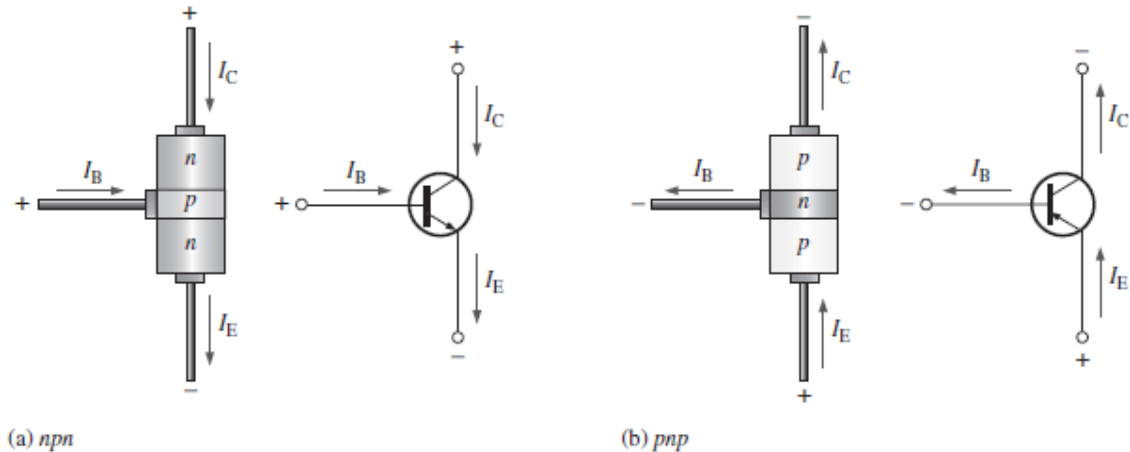


Figura 4.4. Corrientes en el transistor.

Ganancias del BJT.

La ganancia de un transistor BJT se expresa en base a dos parámetros del mismo: la beta de cd (β_{CD}) y el alfa de cd (α_{CD}). La β_{CD} se encuentra generalmente en hojas de datos de transistores como un parámetro Híbrido denominado h_{FE} . Estos parámetros se definen de la forma siguiente:

$$\beta_{CD} = h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\alpha_{CD} = \frac{I_C}{I_E}$$

Los valores típicos de β_{CD} van desde 20 hasta 200 o más, mientras que los de α_{CD} se encuentran entre 0.95 y 0.99.

Análisis del circuito básico de un BJT.

La figura 4.5 muestra el circuito básico de polarización de un BJT.

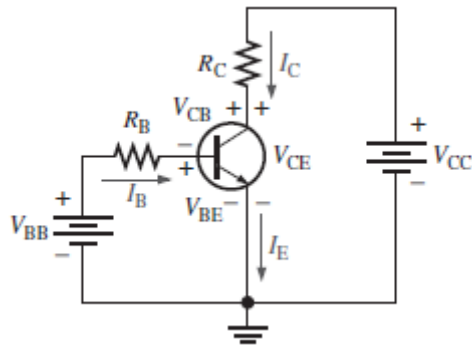


Figura 4.5. Circuito básico de polarización de un BJT.

En el circuito anterior es posible identificar tres corrientes y tres voltajes de c.d., a saber:

- I_B : corriente de cd en la base
- I_C : corriente de cd en el colector
- I_E : corriente de cd en el emisor
- V_{BE} : voltaje de cd entre la base y el emisor
- V_{CB} : voltaje de cd entre el colector y la base
- V_{CE} : voltaje de cd entre el colector y el emisor

Cuando la unión Base-Emisor se polariza en directa opera como un diodo, por lo que podemos decir que:

$$V_{BE} = 0.7 \text{ volts } \dots(1)$$

Aplicando Ley de Kirchhoff de voltajes en la malla que contiene a la fuente V_{BB} se tiene:

$$-V_{BB} + V_{RB} + V_{BE} = 0 \dots(2)$$

De donde:

$$V_{RB} = V_{BB} - V_{BE} \dots(3)$$

Así mismo, de acuerdo a la Ley de Ohm:

$$V_{RB} = I_B R_B \dots(4)$$

Sustituyendo (4) en (3):

$$I_B R_B = V_{BB} - V_{BE}$$

Despejando a I_B :

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \dots(5)$$

Aplicando Ley de Kirchhoff de voltajes en la malla que contiene a la fuente V_{CC} se tiene:



$$-V_{CC} + V_{CE} + V_{RC} = 0 \quad \dots(6)$$

Despejando:

$$V_{CE} = V_{CC} - V_{RC} \quad \dots(7)$$

Por Ley de Ohm:

$$V_{RC} = I_C R_C \quad \dots(8)$$

Sustituyendo (8) en (7):

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C \quad \dots(9)$$

Donde:

$$I_C = \beta_{CD} I_B \quad \dots(10)$$

Aplicando Ley de Kirchhoff de voltajes en la malla propia del transistor, se tiene:

$$V_{CB} + V_{BE} - V_{CE} = 0 \quad \dots(11)$$

De donde:

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} \quad \dots(12)$$



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Un transistor BJT 2N3904
- 2 fuentes de voltaje regulable de c.d.
- Una resistencia de $100 \, \Omega$
- Una resistencia de $220 \, \Omega$
- Una resistencia de $10 \, K\Omega$
- Una resistencia de $22 \, K\Omega$



DESARROLLO:

1. Arme en un protoboard el circuito básico de polarización de un BJT mostrado en la figura 4.6.

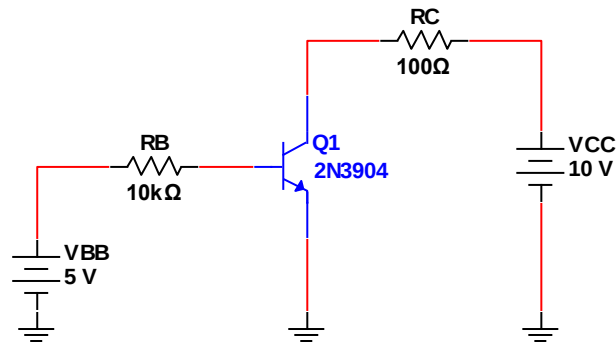


Figura 4.6. Circuito básico de polarización de un BJT.

2. Mida indirectamente las corrientes de base (I_B) y de colector (I_C), midiendo el voltaje en los extremos de las resistencias R_B y R_C como se indica en la figura 4.7 y aplicando entonces la Ley de Ohm.

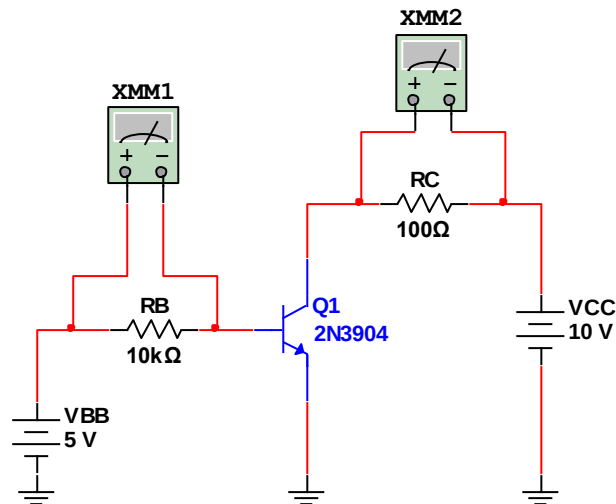


Figura 4.7. Mediciones para determinar I_B e I_C .

3. Con las mediciones realizadas en el punto anterior llene la tabla 4.1., calculando la ganancia del transistor (β_{cd}).

V_{RB} [Volts]	R_B [Ω]	I_B [Amps]	V_{RC} [Volts]	R_C [Ω]	I_C [Amps]	$\beta_{cd} = I_C / I_B$

Tabla 4.1. Cálculo de la ganancia del transistor

4. Determine el valor de la corriente en el emisor.

$$I_E = I_C + I_B =$$

5. Repita los pasos de 1 a 4 pero ahora reemplazando la resistencia de R_C de $100\ \Omega$ por una de $220\ \Omega$ y la resistencia R_B de $10\ \text{k}\Omega$ por una de $22\ \text{k}\Omega$, como se indica en la figura 4.8. Llene la tabla 4.2 y calcule nuevamente I_E .

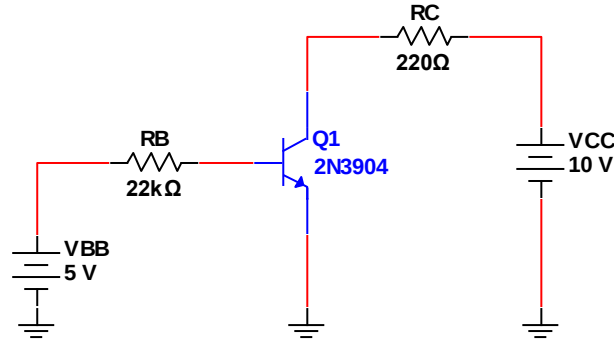


Figura 4.8. Circuito básico de polarización del BJT.

V_{RB} [Volts]	R_B [Ω]	I_B [Amps]	V_{RC} [Volts]	R_C [Ω]	I_C [Amps]	$\beta_{cd} = I_C / I_B$

Tabla 4.3. Cálculo de la ganancia del transistor

$$I_E = I_C + I_B =$$

6. Explique qué sucede con la ganancia del transistor cuando se reemplazan las resistencias de la forma indicada en el punto 5.

7. Repita los pasos de 1 a 4 pero ahora restaurando los valores originales, excepto por el voltaje V_{BB} que deberá ser de 7 volts, como se indica en la figura 4.9. Llene la tabla 4.4 y calcule nuevamente I_E .

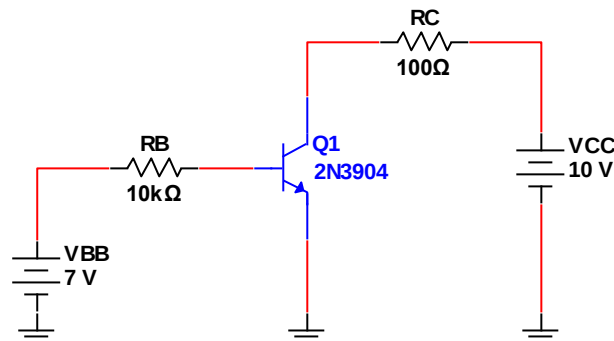


Figura 4.9. Circuito básico de polarización del BJT.



V_{RB} [Volts]	R_B [Ω]	I_B [Amps]	V_{RC} [Volts]	R_C [Ω]	I_C [Amps]	$\beta_{cd} = I_C / I_B$

Tabla 4.4. Cálculo de la ganancia del transistor

$$I_E = I_C + I_B =$$

8. Explique qué sucede con la ganancia del transistor cuando se realizan los cambios indicados en el punto 7.



CUESTIONARIO:

1. ¿Qué significa BJT?
2. Nombre dos tipos de BJT de acuerdo a su estructura.
3. Nombre las tres terminales de un BJT.
4. ¿Cuál de las tres corrientes de un transistor es la más grande?
5. ¿Es la corriente de base más grande o más pequeña que la de emisor?
6. Si en un BJT la corriente de colector es 1 mA y la de base de 10 μ A ¿Cuál es la corriente de emisor?
7. Defina β_{CD} y α_{CD} ¿Qué es h_{FE} ?
8. Para un tipo de transistor dado ¿Puede β_{CD} ser considerada una constante?



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. *Análisis y diseño de circuitos electrónicos*. McGrawHill.

PRACTICA 8

Curvas de colector de un BJT



OBJETIVO:

Comprender las curvas de colector de un transistor BJT y aprender el procedimiento para su obtención.



INTRODUCCIÓN:

Los transistores BJT pueden operar a distintos niveles de corriente de colector (I_C), dependiendo de la corriente en la base (I_B). Esta es una de sus principales características, ser un dispositivo de corriente variable controlado por corriente. La figura 8.1 muestra el esquema necesario para obtener las curvas de colector de un transistor BJT.

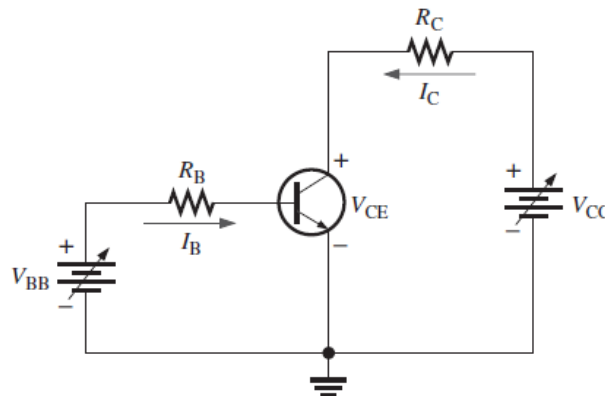


Figura 8.1. Circuito para la obtención de curvas de colector de un BJT.

El procedimiento para la obtención de las curvas de colector es el siguiente:

1. Armar el circuito mostrado en la figura 8.1.
2. Incrementar el voltaje V_{BB} para fijar una corriente de base I_B .
3. Manteniendo fija la corriente de base, I_B , empezar a incrementar el voltaje V_{CC} , con lo cual se tendrá un incremento en el voltaje entre colector y emisor, V_{CE} , y la corriente en el colector, I_C .
4. Para cada incremento de V_{CC} , obtener las lecturas de V_{CE} e I_C .
5. Elaborar una gráfica de V_{CE} vs. I_C , con lo que se obtendrá la curva de colector para la I_B específica fijada en el punto 2.
6. Repetir los pasos 2 a 5 para obtener una nueva curva de colector para una nueva I_B .

7. Continuar el proceso indicado en el punto 6 tantas veces como curvas de colector se desee obtener.

La familia de curvas de colector obtenidas con el procedimiento anterior será como las que se muestran en la figura siguiente.

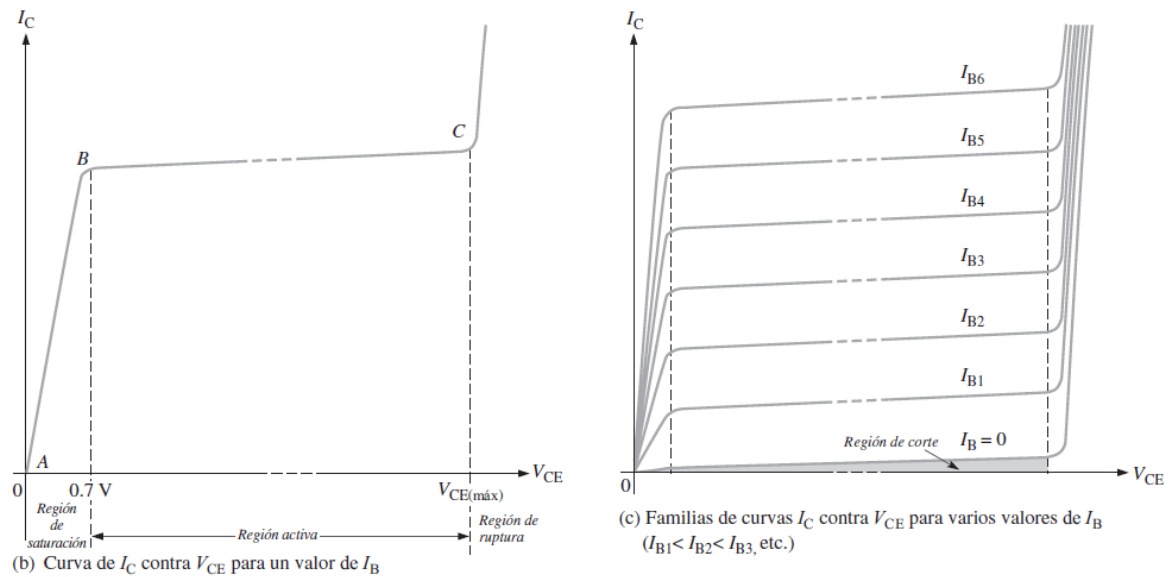


Figura 8.2. a) Una curva de colector; b) Una familia de curvas de colector.



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

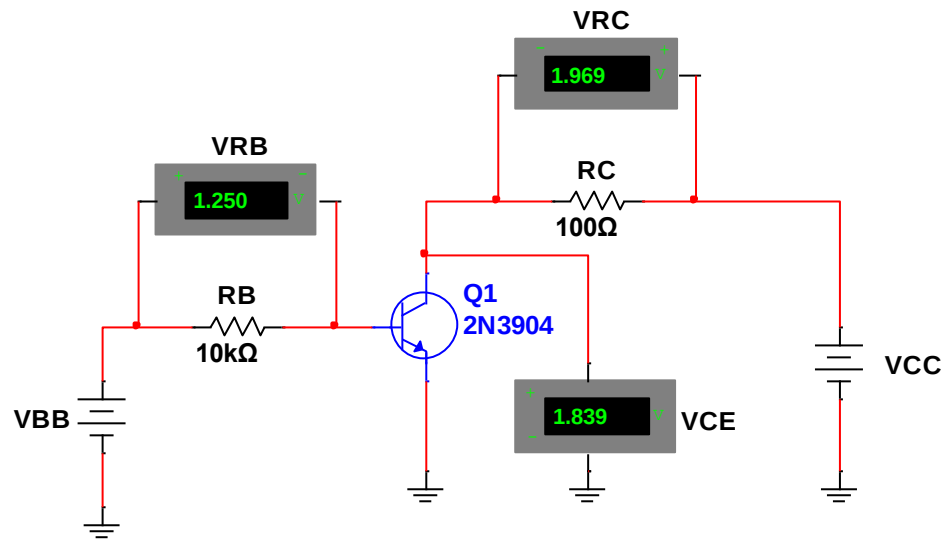
- Un transistor BJT
- Dos salidas de fuente de alimentación
- Resistencias de 100Ω y $10k\Omega$



DESARROLLO:

A. Obtención de las curvas de colector de un BJT.

1. Arme en un protoboard el circuito mostrado en la figura siguiente.



2. Establezca un valor de corriente en la base ajustando el voltaje de la fuente VBB a 2.0 volts.
3. Ajuste la fuente VCC a cero volts.
4. Comience a variar el voltaje de la fuente VCC en pasos de 0.5 volts desde cero hasta 10 volts. En cada paso mida* las siguientes cantidades: I_B , I_C y V_{CE} .

*Nota: recuerde que las corrientes I_B e I_C se miden indirectamente como:

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B} ; \quad I_C = \frac{V_{RC}}{R_C}$$



5. En cada paso del voltaje VCC llene la siguiente tabla.

V_{RB} [Volts]	R_B [Ohms]	I_B [Amps]	V_{RC} [Volts]	R_C [Ohms]	I_C [Amps]	V_{CE} [Volts]

6. En una hoja milimétrica realice la gráfica de V_{CE} vs. I_C .
7. Repita el procedimiento anterior a partir del punto 2, variando la corriente en la base mediante el ajuste de la fuente VBB a 4.0 volts.
8. Repita nuevamente el procedimiento ajustando ahora el valor de la fuente VBB a 6.0 volts.



V_{RB} [Volts]	R_B [Ohms]	I_B [Amps]	V_{RC} [Volts]	R_C [Ohms]	I_C [Amps]	V_{CE} [Volts]

[illegible]

 CUESTIONARIO:

1. Indique el valor aproximado del voltaje de saturación de un BJT.
2. ¿Qué parámetro del BJT controla la corriente que circula por el colector?
3. ¿Qué entiende por estado de corte de un BJT?
4. ¿Qué entiende por estado de saturación de un BJT?

CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

PRACTICA 9

Polarización del BJT por divisor de voltaje



OBJETIVO:

Comprender y aplicar la polarización por el método de divisor de voltaje a los transistores BJT.



INTRODUCCIÓN:

Par su correcta operación como amplificador de señales, el transistor BJT debe polarizarse apropiadamente mediante voltajes de c.d. aplicados en base y colector. Existen diferentes métodos para proporcionar los voltajes de polarización requeridos, no obstante, el método más utilizado en la práctica es el método de polarización por divisor de voltaje y de ahí la importancia de su estudio. El esquema básico para la polarización por divisor de voltaje se muestra en la figura 9-1.

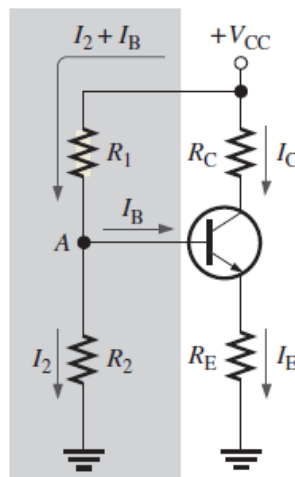


Fig. 9-1. Polarización del BJT por divisor de voltaje

Al analizar el circuito anterior, se observa que el voltaje en la base puede calcularse como:

$$V_B = V_{CC} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

Una vez conocido el voltaje en la base se pueden calcular los voltajes y las corrientes en el circuito de la siguiente forma:



$$V_E = V_B - V_{BE}$$

$$I_C \approx I_E = \frac{V_E}{R_E}$$

Entonces:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

Una vez conocidos V_C y V_E , se determina V_{CE} como:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

Con esto se calculan todos los parámetros del circuito de polarización por divisor de voltaje, pudiendo realizar los ajustes necesarios de acuerdo a las necesidades específicas del circuito.

El análisis realizado anteriormente es útil para la mayoría de aplicaciones prácticas, no obstante, si se requiere un análisis más preciso se debe analizar si el circuito de polarización por divisor de voltaje es rígido o no rígido. Se entiende por divisor rígido al circuito de polarización por divisor de voltaje en el cual el transistor no aparece como una carga significativa. Si el diseñador del circuito deseara elevar la resistencia de entrada el divisor podría volverse no rígido, implicando un cambio en la forma de calcular el voltaje aplicado en la base del transistor. Las condiciones para determinar si el circuito de polarización por divisor de voltaje es o no rígido y la forma de calcular el voltaje en la base dependiendo de esta condición, se muestran a continuación:

Tipo de divisor	Condición	Calculo de V_B
Rígido	$R_{ENT(BASE)} \geq 10R_2$	$V_B = V_{CC} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$
No rígido	$R_{ENT(BASE)} < 10R_2$	$V_B = V_{CC} \left(\frac{R_2 \parallel R_{ENT(BASE)}}{R_1 + R_2 \parallel R_{ENT(BASE)}} \right)$

Donde: $R_{ENT(BASE)} = \beta_{CD} R_E$



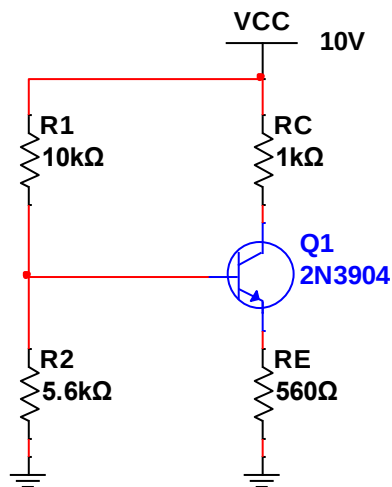
MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Fuente de voltaje
- Multímetro
- Transistor BJT 2N3904
- Resistencias de $560\ \Omega$, $1\ \text{k}\Omega$, $5.6\ \text{k}\Omega$, $10\ \text{k}\Omega$
- Protoboard
- Cable UTP para conexiones



DESARROLLO:

1. Arme en un protoboard el circuito de polarización por divisor de voltaje mostrado en la figura 9.2.



2. Determine la ganancia del transistor
3. Determine si el divisor de voltaje es rígido. Realice el cálculo que lo compruebe:



4. Realice la simulación en multisim del circuito mostrado. Indique los valores obtenidos de los parámetros del circuito de polarización.

V_B	
V_E	
$I_C = I_E$	
V_C	
V_{CE}	

5. Calcule los parámetros del circuito de polarización.

V_B	
V_E	
$I_C = I_E$	
V_C	
V_{CE}	

6. Mida los parámetros del circuito de polarización.

V_B	
V_E	
$I_C = I_E$	
V_C	
V_{CE}	



CUESTIONARIO:

1. ¿Para qué se requiere polarizar a un transistor?
2. Indique al menos tres métodos de polarización de transistores BJT.
3. ¿Qué método de polarización es el más utilizado?
4. ¿Qué significa que un circuito de polarización por divisor de voltaje sea rígido?
5. Indique cómo se calcula el voltaje en la base del transistor dependiendo de si el circuito de polarización es rígido o no rígido.



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos

Sugerida

- Malvino, Albert Paul, (2007). Principios de Electrónica. McGrawHill.
- Neamen, Donald A.,. **Análisis y diseño de circuitos electrónicos.** McGrawHill.



Universidad Autónoma del Estado de México
UAEM

PRACTICA 10

Amplificadores en emisor común, colector común y base común



OBJETIVO:

Comprender el funcionamiento de los amplificadores basados en BJT en las configuraciones de emisor común, colector común y base común.



INTRODUCCIÓN:

La figura 1 muestra el esquema de un amplificador BJT en configuración de emisor común con polarización usando un divisor de voltaje y capacitores de acoplamiento C_1 y C_3 en la entrada y la salida, además de un capacitor de puenteo C_2 del emisor a tierra.

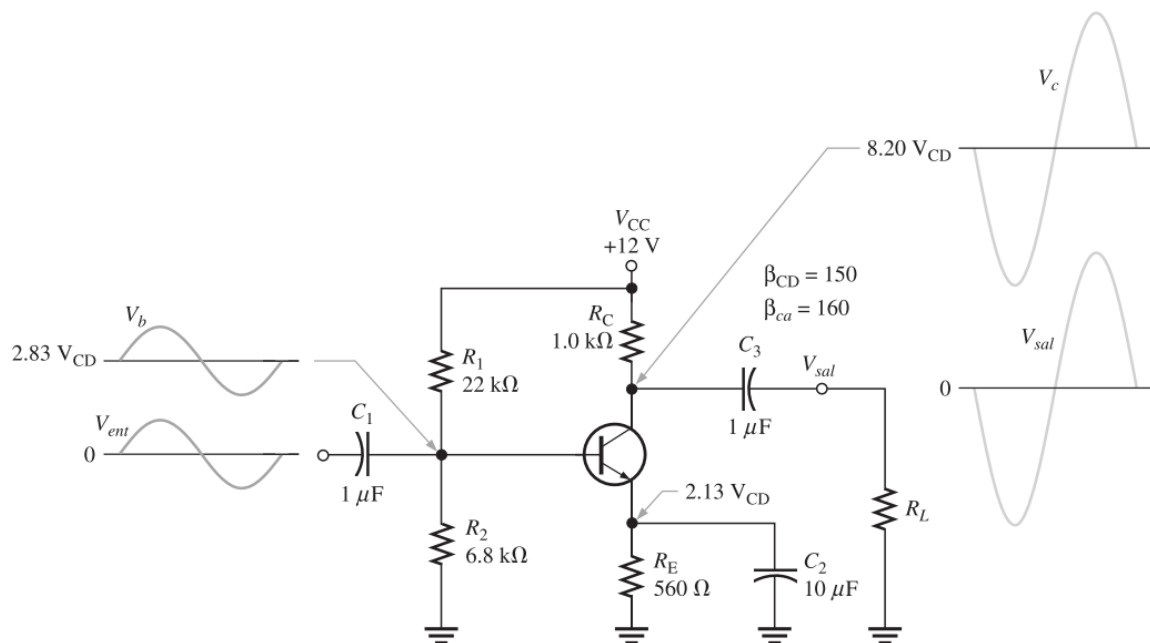


Fig. 1. Amplificador BJT en configuración de emisor común.

La señal de entrada V_{ent} , está acoplada capacitivamente a la base, mientras que la señal de salida está acoplada capacitivamente del colector a la carga. La salida amplificada está defasada 180° con respecto a la entrada. Como la señal de c.a. se aplica a la base como entrada y se toma en el colector como salida, el emisor es común tanto para la señal de entrada como para la de salida.

No hay señal en el emisor por que el capacitor de puenteo pone efectivamente al emisor en corto circuito con tierra a la frecuencia de la señal. Todos los amplificadores combinan señales de c.d. con señales de c.a. Las señales de c.d. son las que se usan para polarizar al transistor, mientras que las señales de c.a. son las señales que se desea amplificar.

Análisis en c.d.

La figura 2 muestra el circuito equivalente visto por la señal de polarización de c.d.

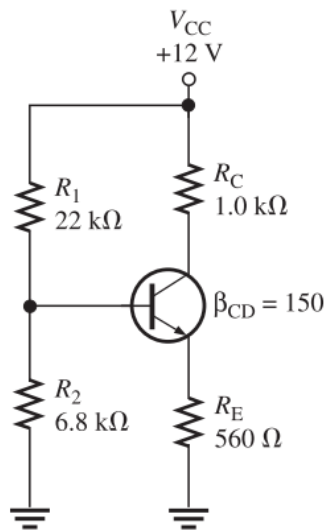


Fig. 2. Equivalente para el análisis en c.d.

El voltaje de c.d. en la base se determina como:

$$V_B = V_{CC} \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

El voltaje en el emisor es:

$$V_E = V_B - V_{BE}$$

La corriente en el emisor se determina como:

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = I_C$$

El voltaje en el colector es:

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

Finalmente, el voltaje entre colector y emisor, V_{CE} , es:

$$V_{CE} = V_C - V_E$$

Análisis en c.a.

La figura 3 muestra el equivalente en c.a. del amplificador en emisor común.

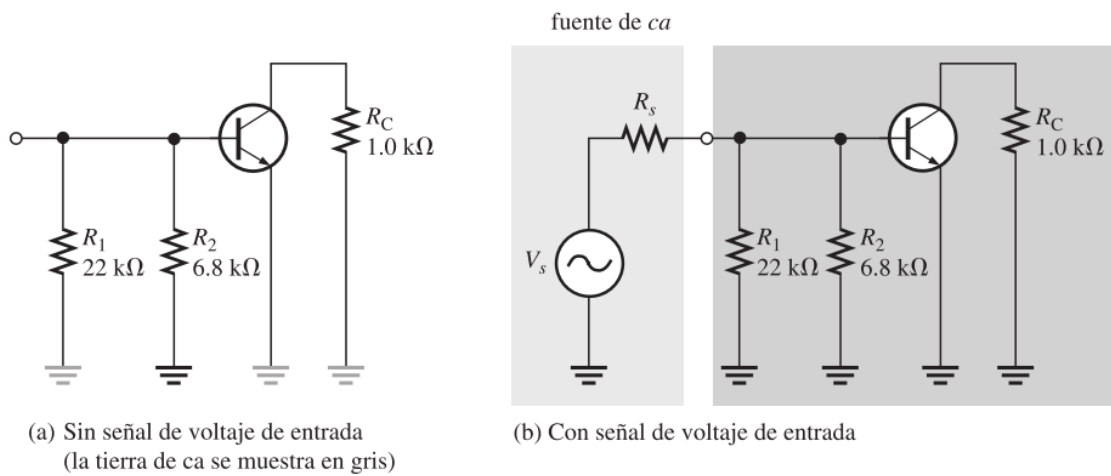


Fig. 6. Equivalentes en c.a. del amplificador en emisor común.

Para determinar el voltaje de la señal en la base del transistor se procede de la siguiente forma:

Se determina la resistencia de entrada en el emisor:

$$r'_e = \frac{25mV}{I_E}$$

La resistencia de entrada en la base se determina como:

$$R_{ent(base)} = \beta_{ca} r'_e$$



A continuación se determina la resistencia de entrada total vista desde la fuente:

$$R_{ent(tot)} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{ent(base)}}}$$

Finalmente, el voltaje de señal en la base se calcula como:

$$V_b = V_s \left(\frac{R_{ent(tot)}}{R_s + R_{ent(tot)}} \right)$$

Ganancia de voltaje.

La ganancia de voltaje se determina como:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e}$$

Si no se tiene capacitor de puenteo (C_2), la ganancia de voltaje se determina como:

$$A_v = \frac{R_C}{r'_e + R_E}$$



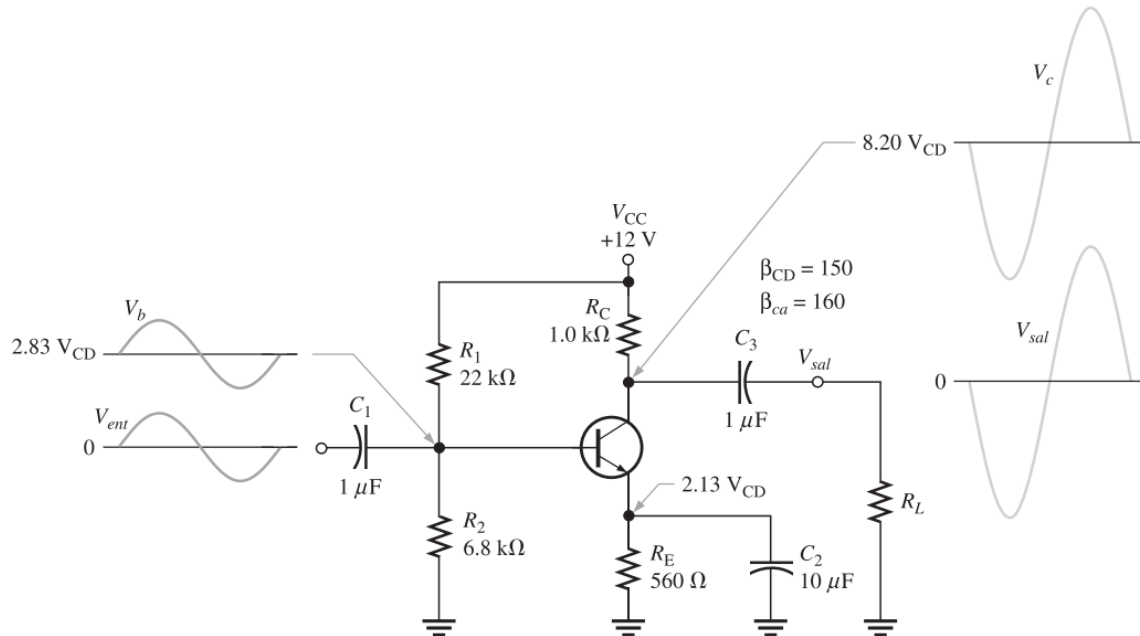
MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:

- Multímetro
- Fuente de voltaje
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Transistor 2N3904
- Resistencias de 560 Ω , 22 K Ω , 1 K Ω , 6.8 K Ω
- Capacitores electrolíticos de 1 μ F (2) Y 10 μ F.



DESARROLLO:

1. Arme el amplificador de emisor común mostrado en la figura siguiente.



2. Separe el circuito equivalente de c.d. (Fig.1) y analíticamente calcule los siguientes parámetros:

Parámetro	Nomenclatura	Cálculo
Voltaje en la base	V_B	
Voltaje en el emisor	V_E	
Corriente de emisor	I_E	
Corriente de colector	I_C	
Voltaje en el colector	V_C	
Voltaje entre colector y emisor	V_{CE}	



3. A continuación mida los mismos parámetros calculados en el punto anterior.

Parámetro	Nomenclatura	Medición
Voltaje en la base	V_B	
Voltaje en el emisor	V_E	
Corriente de emisor	I_E	
Corriente de colector	I_C	
Voltaje en el colector	V_C	
Voltaje entre colector y emisor	V_{CE}	

4. Compare los resultados medidos con los calculados. Explique.

5. Arme el amplificador en emisor común completo, según se muestra en el punto 1. La señal de entrada debe ser de 100 mV.

6. Mida el voltaje pico de las señales de entrada y salida y en base a estos valores determine la ganancia de voltaje en c.a.

$$\beta_{ca} =$$



7. Calcule los siguientes parámetros.

Parámetro	Nomenclatura	Cálculo
Resistencia interna del emisor	$r'_e =$	
Resistencia de entrada en la base	$R_{ent(base)}$	
Resistencia de entrada total	$R_{ent(tot)}$	
Voltaje de señal en la base	V_b	

8. Mida el voltaje de señal en la base y repórtelo a continuación.

$V_b =$

9. Compare el valor medido con el calculado. Explique.

10. Calcule la ganancia de voltaje con y sin capacitor de puenteo.

Ganancia de voltaje con capacitor de puenteo	Ganancia de voltaje sin capacitor de puenteo
$A_v =$	$A_v =$



11. Mida la ganancia de voltaje con y sin capacitor de puenteo.

Ganancia de voltaje con capacitor de puenteo	Ganancia de voltaje sin capacitor de puenteo
$A_v =$	$A_v =$

12. Compare los resultados obtenidos en los puntos 10 y 11. Explique.



CUESTIONARIO:

1. Indique las terminales de entrada y salida de un amplificador en emisor común.
2. Indique las terminales de entrada y salida de un amplificador en colector común.
3. Indique las terminales de entrada y salida de un amplificador en base común.
4. ¿Qué efecto tiene el capacitor de puenteo del emisor en un amplificador en emisor común?
5. ¿Cuánto vale aproximadamente la ganancia de voltaje de un amplificador en colector común?
6. ¿Cuánto vale aproximadamente la ganancia de corriente de un amplificador en base común?



CONCLUSIONES:



REFERENCIAS.

Requerida

- Floyd, Thomas; Dispositivos Electrónicos; Ed. PrenticeHall.
- Boylestad, Robert; Electrónica, teoría de circuitos



PRACTICA #

Título



OBJETIVO:



INTRODUCCIÓN:



MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR:



DESARROLLO:



CONCLUSIONES:



CUESTIONARIO:



REFERENCIAS