



Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



REPORTE INTERMEDIO DE PERÍODO SABÁTICO

B.1. APUNTES DE ASIGNATURA DIODOS Y TRANSISTORES

ELABORADO POR:

TOMAS HUMBERTO VILLALOBOS VALLADARES

JULIO 2024

INTRODUCCION

La finalidad de este trabajo es servir de apoyo de estudios de los temas de la materia DIODOS Y TRANSISTORES que se encuentra en el quinto semestre de la carrera de Ingeniería Electrónica. En esta materia se describen de manera general los dispositivos de estado solido y sus aplicaciones.

En la formación de un ingeniero en electrónica es fundamental el conocimiento, dominio y uso de los componentes electrónicos, ya sea para entender, operar, instalar, reparar o en el mejor de los casos diseñar, equipos y sistemas electrónicos, los cuales actualmente se usan en todos los ámbitos de la vida cotidiana. La electrónica tiene como origen el uso de componentes electrónicos las cuales son capaces de procesar matemáticamente una señal eléctrica, éstas han venido evolucionando con el paso de los años, al grado que en la actualidad prácticamente todas son fabricadas con tecnología de estado sólido, sin embargo, el uso real de los componentes discretos (dispositivos) se ha venido limitando a interfases de entrada y salida hacia los sistemas electrónicos y al manejo y control de la potencia eléctrica. Este curso presenta desde un punto de vista funcional las características y limitaciones de los componentes electrónicos discretos (dispositivos) y sus aplicaciones básicas más utilizadas en los circuitos electrónicos.

ETF-1012 DIODOS Y TRANSISTORES.

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Electrónica la capacidad de utilizar diodos y transistores, a su vez permite conocer, identificar y comprender el comportamiento y operación de estos dispositivos semiconductores para su aplicación en el diseño, análisis y simulación de circuitos electrónicos utilizando componentes discretos; así como conocer los principios, características, parámetros de voltaje y corriente utilizados en el diseño de circuitos de polarización de los transistores BJT y JFET que le permitan diseñar circuitos amplificadores, entre otras aplicaciones.

Competencia(s) a desarrollar

Analiza, diseña e implementa circuitos con diodos, transistores bipolares, unipolares y fuentes de alimentación, para diferentes configuraciones de circuitos electrónicos de aplicación.

Competencias previas

Comprende el principio de operación de los dispositivos semiconductores desde la perspectiva de su construcción, régimen de operación en su aplicación para el diseño de circuitos electrónicos.

Analiza y resuelve circuitos eléctricos excitados con corriente directa en estado permanente interpretando el funcionamiento, características y su respuesta a diferentes fuentes de excitación.

Intención didáctica.

El temario está organizado en seis temas, que agrupan los contenidos conceptuales de la asignatura. Abordando los conceptos involucrados en la descripción de cada elemento.

El primer tema, analiza los principios básicos de operación y aplicación de los diferentes diodos aplicados en diversos circuitos como rectificadores, limitadores, sujetadores, multi-

plicadores y reguladores, así como estudiar las características de operación de otros diodos como reguladores decorriente, túnel, zener, LASER, Schottky, PIN, Gunn.

El segundo tema, se aplican las propiedades y características de los transistores bipolares o BJT para el análisis y diseño de circuitos de polarización, definición del punto de operación, regiones de operación, recta de carga y estabilidad.

El tercer tema, integra los conocimientos previos para los JFET y MOSFET con relación a sus propiedades y características, para el análisis y diseño de circuitos de polarización en fuente común, drenador común y compuerta común.

El cuarto tema, integra los conocimientos previos para describir la operación de los diferentes Tipos e dispositivos bipolares y unipolares, en el análisis y diseño de circuitos amplificadores de pequeña señal.

El quinto tema, se integran los conocimientos previos para diseñar y construir una fuente de alimentación de voltaje que opere con diodo zener, transistor BJT y regulador de voltaje con circuito integrado.

El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado.

Contenido

Contenido

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.....	1
INTRODUCCION.....	2
Contenido.....	3
Tema 1 Circuitos de aplicación con diodos.....	5
1.1 Polarización y recta de carga.....	6
1.2 Circuitos serie, paralelo, serie-paralelo en DC	14
1.3 Circuitos de:.....	17
1.3.1 Rectificación y Filtrado (Media Onda y Onda Completa).....	17
1.3.2 Recortadores.....	24
1.3.3 Sujetadores.....	30
1.3.4. Multiplicadores.....	30
1.4 Diodo Zener.....	33

<i>1.5 Otros Diodos (Varactor, Schottki, PIN, Avalancha, Gunn, Túnel, LASER, etc.) características y circuitos de aplicación.</i>	47
PROBLEMAS U1	64
Tema 2 Transistor Bipolar (BJT).	68
<i>2.1. Características, parámetros y punto de operación.</i>	69
<i>2.2. Configuraciones de polarización.</i>	70
2.2.1. Emisor Común.	72
2.2.2. Base común.	81
2.2.3. Colector común.	82
<i>2.3 Conmutación.</i>	83
<i>2.4 Estabilidad.</i>	85
PROBLEMAS U2.	87
Tema 3 Transistor unipolar (FET, MOSFET).	90
<i>3.1. Configuraciones de polarización.</i>	93
3.1.1. Fija.	94
3.1.2. Autopolarización.	96
<i>3.2. Polarización por divisor de voltaje.</i>	101
3.2.1. Utilizando la curva de polarización universal.	103
<i>3.3. Configuración en compuerta y drenador común.</i>	104
<i>3.4. Polarización de MOSFET.</i>	110
<i>3.5. Redes combinadas.</i>	114
PROBLEMAS U3	117
Tema 4 Amplificadores con transistores BJT's y FET's.	120
<i>4.1. Introducción a los Amplificadores en pequeña señal.</i>	123
<i>4.2. Amplificador con BJT.</i>	126
4.2.1. Modelo re.	127
4.2.2. Parámetros de redes de 2 puertos.	132
4.2.3. Modelo Híbrido.	134
4.2.4. Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones.	136
4.2.5. Efecto de la resistencia R_s y R_L .	138
4.2.6. Análisis por computadora.	140
<i>4.3. Amplificador con JFET.</i>	142
4.3.1. Modelo del JFET en pequeña señal.	143

4.3.2. Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal. para las diferentes configuraciones de polarización.	144
4.3.3. Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.....	146
PROBLEMAS U4.....	149
Tema 5 Proyecto Final.	154
5.1. Diseño de una fuente de alimentación:	154
5.1.1. Utilizando regulador transistorizado.....	156
5.1.2. Utilizando regulador de Circuito Integrado.	160
PROBLEMAS U5.....	163
.....	164
Fuentes de información.....	173
ANEXOS. (Presentaciones de las unidades y respuestas de problemas propuestos).....	173
Instrumentación Didáctica de la materia.....	176

Tema 1 Circuitos de aplicación con diodos.

La construcción de cualquier dispositivo electrónico discreto (individual) de estado sólido (estructura de cristal duro) o circuito integrado, se inicia con un material semiconductor de la más alta calidad. Los semiconductores son una clase especial de elementos cuya conductividad se encuentra entre la de un buen conductor y la de un aislante. En general, los materiales semiconductores caen dentro de una de dos clases: de un solo cristal y compuesto. Los semiconductores de un solo cristal como el germanio (Ge) y el silicio (Si) tienen una estructura cristalina repetitiva, en tanto que compuestos como el arseniuro de galio (GaAs), el sulfuro de cadmio (CdS), el nitruro de galio (GaN) y el fosfuro de galio y arsénico (GaAsP) se componen de dos o más materiales semiconductores de diferentes estructuras atómicas. Los tres semiconductores más frecuentemente utilizados en la construcción de dispositivos electrónicos son Ge, Si y GaAs.

CONDUCTORES, AISLANTES Y SEMICONDUCTORES.

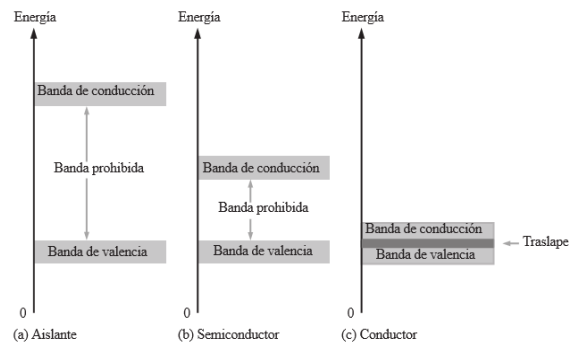
En función de sus propiedades eléctricas, los materiales se clasifican en tres grupos: conductores, aislantes y semiconductores. Cuando los átomos se combinan para formar un material sólido cristalino, se acomodan en una configuración simétrica. Los átomos dentro de la estructura cristalina se mantienen juntos gracias a los enlaces covalentes, que son creados por la interacción de los electrones de valencia de los átomos. El silicio es un material cristalino.

Todos los materiales están compuestos por átomos; éstos contribuyen a las propiedades eléctricas de un material, incluida su capacidad de conducir corriente eléctrica.

Un **conductor** es un material que conduce corriente eléctrica fácilmente. La mayoría de los metales son buenos conductores. Los mejores conductores son materiales de sólo un elemento, tales como cobre, plata, oro y aluminio, que están caracterizados por átomos con sólo un electrón de valencia muy flojamente enlazado al átomo. Estos electrones de valencia flojamente enlazados se convierten en electrones libres. Por consiguiente, en un material conductor, los electrones libres son electrones de valencia.

Un **aislante** es un material que no conduce corriente eléctrica en condiciones normales. La mayoría de los buenos aislantes son materiales compuestos, es decir, no formados por sólo un elemento. Los electrones de valencia están estrechamente enlazados a los átomos; por consiguiente, en un aislante hay muy pocos electrones libres. Algunos ejemplos de aislantes son el hule, el plástico, el vidrio, la mica y el cuarzo.

Un **semiconductor** es un material a medio camino entre los conductores y los aislantes, en lo que a su capacidad de conducir corriente eléctrica respecta. Un semiconductor en estado puro (intrínseco) no es ni buen conductor ni buen aislante. Los semiconductores más comunes de sólo un elemento son el silicio, el germanio y el carbón. Los semiconductores compuestos, tales como el arseniuro de galio y el fósforo de indio, también son de uso común. Los semiconductores de un solo elemento están caracterizados por átomos con cuatro electrones de valencia.



1.1 Polarización y recta de carga.

Polarización.

Los diodos semiconductores se usan en prácticamente todos los equipos electrónicos que se hallan en el hogar, el comercio y la industria. Uno de los usos primarios de los diodos consiste en cambiar CA a CC. Los diodos son representados por el símbolo de la Figura 1.1(a), y vienen en una variedad de formas, como las mostradas en la Figura 1.1(b).



FIGURA 1(a): Símbolo del diodo

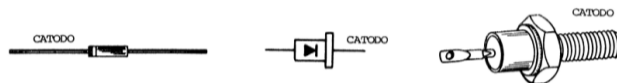


FIGURA 1(b): Formas típicas de los diodos



FIGURA 1(c): Diodo de juntura PN

Figura 1.1 Símbolo, formas físicas y diodo en forma de junturas.

Los materiales semiconductores utilizados para fabricar diodos son germanio o silicio. La mayoría de los diodos en uso son de silicio. El diagrama de la Figura 1 (c) muestra que un diodo está compuesto por dos partes, separadas por una JUNTURA (también denominada BARRERA o UNION). Los extremos están fabricados de:

- a. Germanio o silicio tipo P
- b. Germanio o silicio tipo N

El silicio utilizado para fabricar diodos se presenta en forma cristalina, creado artificialmente en un laboratorio. Para hacer un material tipo N, dentro del cristal se introduce una impureza que tiene un electrón de valencia más que el silicio. Este proceso de agregar impurezas es denominado IMPURIFICACION. Las impurezas agregan electrones extra, denominados PORTADORES ELECTRIZADOS, como se muestra en la Figura 1.2.

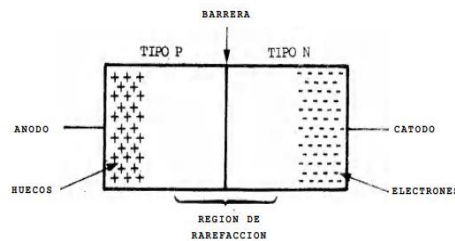


Figura 1.2 Estructura de un diodo.

El otro extremo del cristal es un material tipo P, producido mediante la impurificación con una impureza que tiene un electrón de valencia menos que el silicio. Los portadores electrizados en los materiales tipo P aparecen como cargas positivas, denominadas HUECOS. En un material semiconductor el hueco es producido por la ausencia de un electrón. En la juntura entre materiales tipo P y N existe una barrera, que es el resultado de la migración de las cargas a través de la juntura y sus recombinaciones. Las cargas que cruzan la juntura o que se combinan con cargas opuestas, dejan atrás suyos iones que forman la barrera. Esta barrera es de unos 0.3 voltios para el germanio y de 0.7 voltios para el silicio. La región cerca de la barrera es denominada REGION DE RAREFACCION (también llamada "región de agotamiento" o "región de transición"), debido a la ausencia de portadores electrizados.

POLARIZACION DIRECTA.

En la Figura 1.3(a) el diodo está conectado con polarización directa, y la corriente circula a través del diodo. Note que la dirección de la corriente convencional es en el sentido de la flecha. Recuerde que las cargas iguales se repelen en circuitos eléctricos, y que por lo tanto, el terminal negativo de la batería en la Figura 1.3(b) repelerá los portadores de cargas negativas en el material tipo N, y ellos se mueven a través de la barrera hacia el terminal positivo de la batería. Los huecos son repelidos por el terminal positivo de la batería, y también se mueven a través de la barrera. Si la tensión de la batería es menor que la tensión de la barrera, a través de la juntura pasaran muy pocos portadores electrizados.

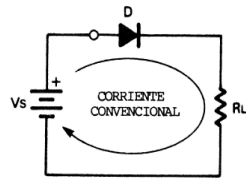


FIGURA 3(a):
Polarización directa

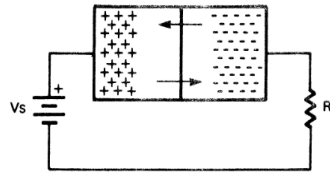


FIGURA 3(b):
Portadores electrizados que cruzan la barrera

Figura 1.3 Polarizacion directa.

DIODO IDEAL

El diodo ideal, aunque por su misma definición es inexistente, es muy útil para explicar cómo actúan los diodos en los circuitos. Cuando el diodo ideal tiene polarización directa, actúa como un CORTOCIRCUITO con una resistencia de 0 ohmios, como se muestra en la Figura 1.4(a). Debido a que un interruptor cerrado tiene también una resistencia de 0 ohmios, el diodo ideal que tiene polarización negativa puede ser representado por un interruptor cerrado, como se muestra en la Figura 1.4(b). La resistencia DIRECTA de los diodos IDEALES siempre tiene un valor de CERO ohmios.

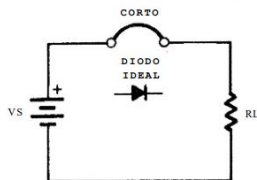


FIGURA 4 (a) :

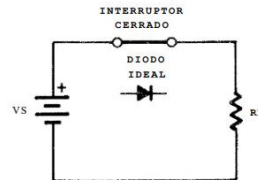


FIGURA 4 (b) :

Figura 1.4 Polarizacion directa diodo ideal.

POLARIZACION INVERSA.

Si se invierte la batería como se muestra en la Figura 1.5(a), el diodo está INVERSAMENTE POLARIZADO. El diagrama de la Figura 1.5(b) muestra que el terminal negativo de la batería está conectado al material tipo P, que tiene los portadores positivos. Estos huecos (o portadores) positivos serán atraídos hacia el terminal negativo de la batería, alejado de la barrera. De manera similar, el terminal positivo de la batería atraerá los electrones negativos alejados de la barrera.



FIGURA 5 (a) :

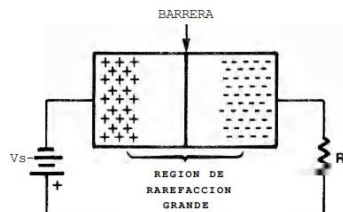


FIGURA 5 (b) :

Figura 1.5 Polarizacion inversa.

A cada lado de la barrera se produce una región de RAREFACCION muy grande, que no tiene portadores. Para que la corriente pueda fluir en cualquier circuito, debe haber presentes

portadores electrizados. El diodo actúa como un resistor con resistencia de muy alto valor. **DIODO IDEAL CON POLARIZACION INVERSA** Los materiales que no tienen portadores tienen una resistencia muy alta. El diodo ideal con polarización inversa tiene una resistencia infinita y actúa como un circuito abierto, como se muestra en la Figura 1.6(a).

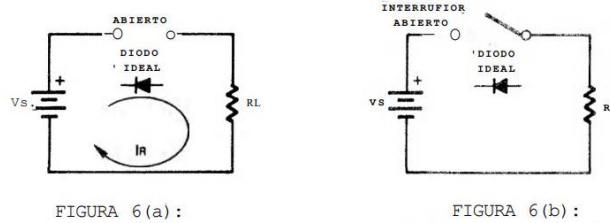


Figura 1.6 Polarizacion inversa diodo ideal.

Debido a que un interruptor abierto tiene resistencia infinita, el diodo ideal con polarización inversa puede ser considerado como un interruptor abierto, como se muestra en la Figura 1.6(b). La corriente inversa, representada por I_R , es igual a cero para un diodo ideal. **DIODOS REALES** Hemos incluido el diodo ideal porque es muy útil durante la explicación de la operación de los circuitos. Por supuesto, usted también debe saber cómo difieren los diodos reales de los diodos ideales, para poder analizar y localizar fallas en los circuitos. El diodo real de la Figura 7(a) actúa como el resistor mostrado en la Figura 1.7(b).

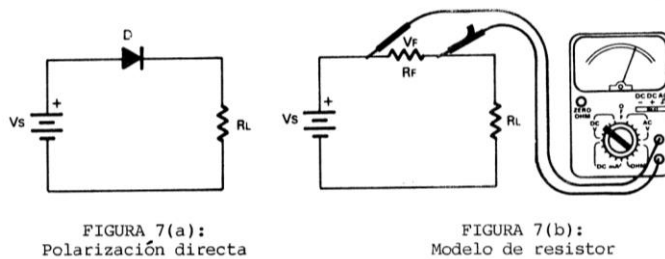


Figura 1.7 Resistencia directa.

La resistencia se denomina "resistencia directa", y se representa por el símbolo R_F . El valor de la resistencia directa puede ser calculado por medio de la ley de Ohm.

$$R_F = V_F / I_F$$

El valor de la resistencia directa no es un valor único, sino que posee una amplia gama de valores. Cuando la tensión directa es muy pequeña, la resistencia directa es muy alta. Cuando la tensión directa es mayor que la gama de tensiones operativas normales de los diodos, la resistencia directa es menor que 100 ohmios. Se utiliza una curva característica para mostrar la relación entre corriente y tensión directas.

CURVA CARACTERISTICA DE UN DIODO REAL

Para obtener una curva característica, el diodo es conectado en el circuito de prueba mostrado en la Figura 1.8(a). La corriente es medida con el amperímetro, cuando es aumentado el valor de la fuente de tensión. También se mide la tensión directa a través del diodo. Estos valores son graficados, y se obtiene la curva característica mostrada en la Figura 1.8(b).

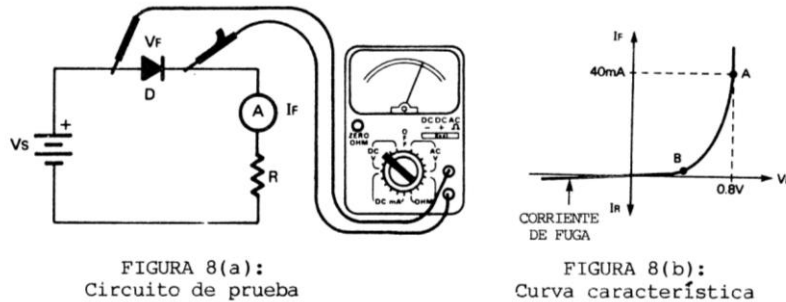


Figura 1.8 Medición y graficación de la curva característica.

En cualquier punto de la curva puede calcularse el valor de la resistencia directa R_F , En el punto A de la curva el valor es:

$$R_F = \frac{V_F}{I_F} = \frac{0,8 \text{ V}}{0,04 \text{ A}} = 20 \Omega$$

En el punto A de la curva característica, el valor de la resistencia directa es diferente.

También se grafican en el tercer cuadrante los valores de la tensión y la corriente para el diodo de polarización inversa. Para un diodo ideal la corriente inversa es de cero amperios, pero para un diodo real siempre hay una pequeña cantidad de corriente inversa. La corriente inversa circula porque la resistencia inversa tiene un valor alto, pero nunca tiene la resistencia infinita de un diodo ideal. A veces la corriente inversa se denomina CORRIENTE DE FUGA (o "corriente de escape" o "corriente de pérdida"), porque no es deseada en circuitos de diodos.

MODELOS PARA DIODOS DE POLARIZACION DIRECTA

En muchas aplicaciones, los diodos son operados con polarización directa en la región mostrada en la curva característica de la Figura 1.9(a). La resistencia del diodo es hallada por medio de la pendiente de la línea dibujada a través del punto operacional, como se muestra en la Figura 1.9(b). Esto es denominado RESISTENCIA DINAMICA, que es igual a la pendiente de la línea, y se calcula a partir de la ecuación:

$$\text{Resistencia dinámica} = \frac{\text{Cambio en tensión directa}}{\text{Cambio en corriente directa}} = \frac{\Delta V_F}{\Delta I_F}$$

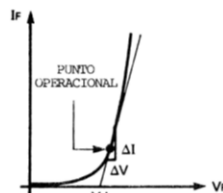
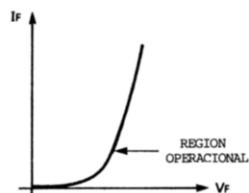


Figura 1.9 Modelos para polarización directa.

La línea toca el eje horizontal en un valor de la tensión que es aproximadamente igual a la tensión de barrera de 0,7 voltios para el silicio y 0,3 voltios para el germanio. A partir de este gráfico puede obtenerse otro modelo del diodo. El diodo puede ser representado por la resistencia dinámica R_d en serie con una fuente de tensión que es igual a la tensión de barrera y con un diodo ideal, como se muestra en la Figura 1.9(c). El análisis del circuito se efectúa en dos pasos.

Paso 1: La fuente de tensión V_s es menor que la tensión de barrera V_d . La corriente no puede circular por el circuito porque el diodo ideal tiene polarización inversa causada por la tensión de barrera.

Paso 2: La fuente de tensión V_s es mayor que la tensión de barrera V_d . El diodo ideal tiene polarización directa, y actúa como un cortocircuito. La fuente de tensión que produce la corriente en el circuito es la diferencia entre V_s y V_d . La resistencia en el circuito es la resistencia dinámica y la resistencia de carga. La corriente en este circuito puede ser calculada para cualquier valor de fuente de tensión, a partir de:

$$I_F = \frac{V_s - V_d}{R_d + R_L}$$

Los diodos pueden ser representados como diodos reales por el modelo del diodo ideal o por el modelo de diodo que utiliza la resistencia dinámica. Usted debe seleccionar el modelo que mejor se adapte a su aplicación.

MODELO PARA DIODOS DE POLARIZACION INVERSA El diodo ideal de polarización inversa posee el circuito equivalente mostrado en la Figura 1.10(a). El hecho de actuar como un interruptor abierto significa que la corriente inversa es cero. Los diodos reales poseen una cantidad muy pequeña de corriente inversa, la cual es denominada "corriente de fuga", tal como se muestra en la curva característica del diodo real de la Figura 1.10(b). Los diodos de polarización inversa pueden ser representados por el modelo de la Figura 1.10(c).

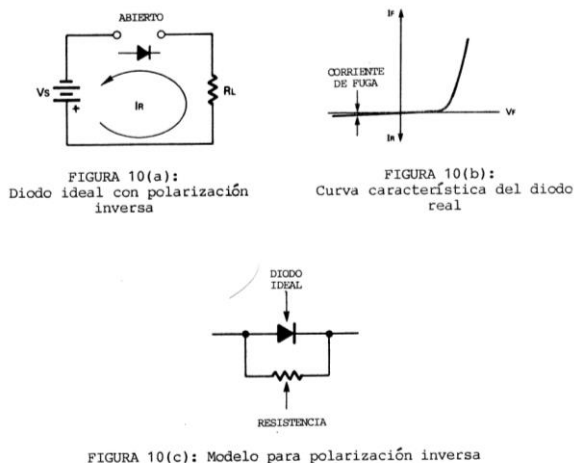


Figura 1.10 Modelo para diodos de polarización inversa.

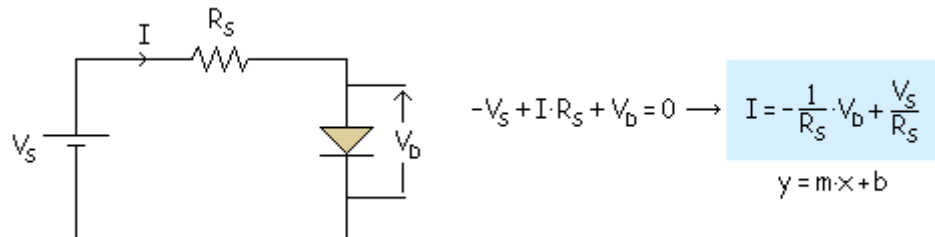
El diodo es representado por un diodo ideal con un resistor que tiene un valor alto, conectado en paralelo. El diodo ideal no conducirá, pero la corriente inversa circulará a través del resistor en paralelo.

Como ya aprendió, en el punto de equilibrio ningún electrón se mueve a través de la unión pn. En general el término polarización se refiere al uso de un voltaje de cc para establecer ciertas condiciones de operación para un dispositivo electrónico. En relación con un diodo existen dos condiciones: en directa y en inversa. Cualquiera de estas condiciones de polarización se establece conectando un voltaje de cc suficiente y con la polaridad apropiada a través de la unión pn.

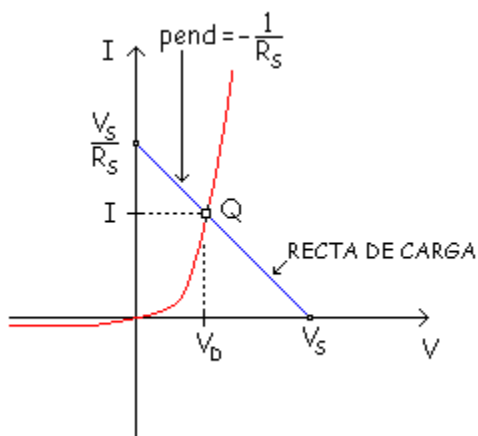
Recta de carga

La recta de carga es una herramienta gráfica que se usa para encontrar la corriente y tensión de un diodo. Representa la ecuación de la malla del circuito con diodo como una recta con pendiente negativa. El punto donde la recta de carga se cruza con la curva exponencial del diodo es el punto de trabajo del circuito.

La recta de carga es una herramienta que se emplea para hallar el valor de la corriente y la tensión del diodo. Las rectas de carga son especialmente útiles para los transistores, por lo que más adelante se dará una explicación más detallada acerca de ellas.



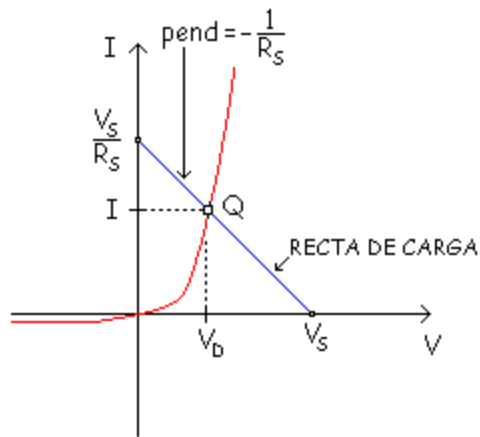
Si de la ecuación de la malla, despejamos la intensidad tenemos la ecuación de una recta, que en forma de gráfica sería:



Los puntos de corte:

$$V_D = 0 \rightarrow I = \frac{V_S}{R_S} \quad \text{Punto de corte con el eje } y$$

$$I = 0 \rightarrow V_D = -V_S \quad \text{Punto de corte con el eje } x$$



Los puntos de corte:

$$V_d = 0 \rightarrow I = \frac{V_s}{R_s} \quad \text{Punto de corte con el eje y}$$

$$I = 0 \rightarrow V_d = -V_s \quad \text{Punto de corte con el eje x}$$

A esa recta se le llama "recta de carga" y tiene una pendiente negativa.

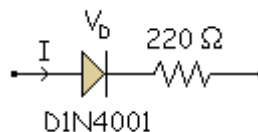
El punto de corte de la recta de carga con la exponencial es la solución, el punto Q, también llamado "punto de trabajo" o "punto de funcionamiento". Este punto Q se controla variando V_s y R_s .

Al punto de corte con el eje X se le llama "Corte" y al punto de corte con el eje Y se le llama "Saturación".

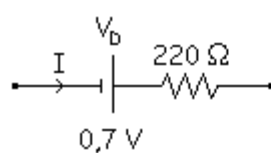
Problema 1

Un diodo está en serie con una resistencia de $220 \, \Omega$. Si la tensión en la resistencia es de $4 \, \text{V}$, ¿cuál es la corriente por el diodo? Si hemos aplicado la 2ª aproximación, ¿cuál es la potencia disipada en el diodo?

Solución:



Al tomar la 2ª aproximación el diodo es una pila de $0,7 \, \text{V}$.

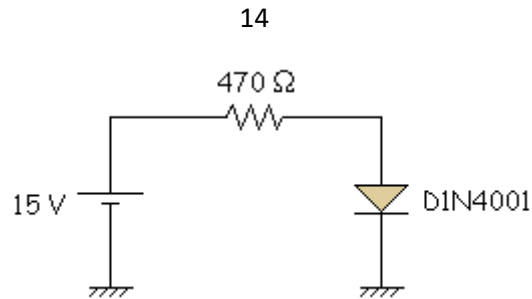


$$I = \frac{4 \, \text{V}}{220 \, \Omega} = 18,2 \, \text{mA}$$

$$P_D = 0,7 \, \text{V} \cdot 18,2 \, \text{mA} = 12,7 \, \text{mW}$$

Problema 2

Calcular la corriente, la tensión y la potencia en la carga, así como la potencia del diodo y la potencia total para el circuito de la figura. Hacerlo utilizando los tres tipos de aproximaciones que existen.



Solución:

1ª aproximación

En esta aproximación el diodo es ideal, por lo tanto lo podemos sustituir por un cortocircuito, con lo que obtenemos las siguientes ecuaciones:

$$15 \text{ V} = 470 \Omega \cdot I \Rightarrow I = 32 \text{ mA}$$

$$P_D = 0 \text{ W}$$

$$V_C = 470 \Omega \cdot 32 \text{ mA} = 15 \text{ V}$$

$$P_C = 15 \text{ V} \cdot 32 \text{ mA} = 480 \text{ mW}$$

$$P_T = 15 \text{ V} \cdot 32 \text{ mA} = 480 \text{ mW}$$

2ª aproximación

Aquí el diodo se sustituye por una pila de 0,7 V.

$$15 \text{ V} = 470 \Omega \cdot I + 0,7 \text{ V} \Rightarrow I = 30,42 \text{ mA}$$

$$P_D = 0,7 \text{ V} \cdot 30,42 \text{ mA} = 21,3 \text{ mW}$$

$$V_C = 470 \Omega \cdot 30,42 \text{ mA} = 14,3 \text{ V}$$

$$P_C = 14,3 \text{ V} \cdot 30,42 \text{ mA} = 435 \text{ mW}$$

$$P_T = 15 \text{ V} \cdot 30,42 \text{ mA} = 456,3 \text{ mW}$$

3ª aproximación

El diodo se sustituye por una pila de 0,7 V en serie con una resistencia de 0,23 Ω .

1.2 Circuitos serie, paralelo, serie-paralelo en DC

Los diodos son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente en una sola dirección. Se utilizan en diversas configuraciones de circuitos, incluyendo circuitos serie, paralelo y serie-paralelo. A continuación, se explican estas configuraciones en el contexto de corriente continua (DC).

Circuito Serie con Diodos

En un circuito serie, los componentes están conectados uno tras otro en una sola ruta para la corriente. Cuando los diodos se conectan en serie, la corriente que fluye a través del circuito debe pasar por cada diodo. Algunas características de los circuitos serie con diodos son:

1. **Caída de Voltaje:** La caída de voltaje total en el circuito es la suma de las caídas de voltaje en cada diodo. Si cada diodo tiene una caída de voltaje de 0.7V (para diodos de silicio), y hay n diodos en serie, la caída total será $0.7V \times n$.
2. **Corriente:** La corriente que fluye a través del circuito es la misma para todos los diodos. La corriente está determinada por la fuente de alimentación y la resistencia del circuito.

Circuito Paralelo con Diodos

En un circuito paralelo, los componentes están conectados en ramas separadas, cada una con una ruta independiente para la corriente. En un circuito paralelo con diodos:

1. **Voltaje:** El voltaje a través de cada diodo es el mismo y es igual al voltaje de la fuente de alimentación.
2. **Corriente:** La corriente total que suministra la fuente es la suma de las corrientes que fluyen a través de cada rama del circuito. Si los diodos son idénticos y operan en condiciones similares, Circuito Serie-Paralelo con Diodos

En un circuito serie-paralelo, se combinan configuraciones en serie y paralelo. Este tipo de circuito puede ser útil para diversas aplicaciones, como la regulación de voltaje y la protección de circuitos. Algunas características clave son:

1. **División de Voltaje y Corriente:** En las ramas en paralelo, el voltaje es el mismo en cada rama, pero la corriente se divide. En las secciones en serie, la corriente es la misma a través de todos los componentes, pero el voltaje se divide entre ellos.
2. **Versatilidad:** Esta configuración permite controlar mejor el comportamiento del circuito y adaptar sus características a necesidades específicas. Por ejemplo, se pueden usar diodos en serie para aumentar la caída de voltaje y en paralelo para aumentar la capacidad de corriente del circuito.

Ejemplos Prácticos

1. **Rectificación:** En los rectificadores, los diodos se utilizan para convertir corriente alterna (AC) en corriente continua (DC). Un rectificador de media onda utiliza un solo diodo, mientras que un rectificador de onda completa utiliza cuatro diodos en una configuración puente (circuito serie-paralelo).
2. **Protección:** Los diodos en serie con una resistencia pueden proteger circuitos sensibles de picos de voltaje. Los diodos Zener se utilizan en paralelo para regular el voltaje en un circuito.

La configuración de diodos en circuitos serie, paralelo y serie-paralelo en DC permite una amplia gama de aplicaciones y control sobre el comportamiento del circuito. Entender cómo funcionan estas configuraciones es fundamental para diseñar y analizar sistemas electrónicos efectivos.

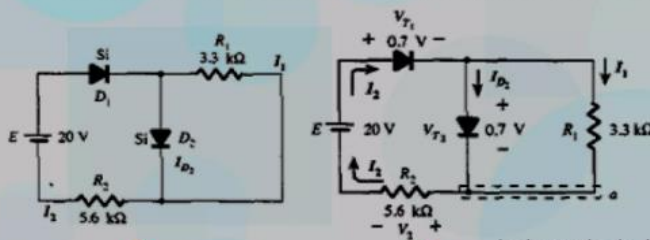
Metodología de Solución

La metodología para la resolución de configuraciones de diodos en paralelo y serie-paralelo es la misma que se usa para las configuraciones en serie.

- | | |
|---|--|
| 1 | <ul style="list-style-type: none"> Se determina el estado del diodo ¿Cuáles diodos están "encendidos" y cuales "apagados"? |
| 2 | <ul style="list-style-type: none"> Se sustituye el diodo por el valor de tensión equivalente. |
| 3 | <ul style="list-style-type: none"> Se determinan los parámetros restantes de la red. |

Ejemplos

Determinar las corrientes I_1 , I_2 , y I_{D2} para la red de la figura.



$$I_1 = V_{T2}/R_1 = 0.7V/3.3k\Omega$$

$$I_1 = 0.212 \text{ mA}$$

Aplicando la LVK:

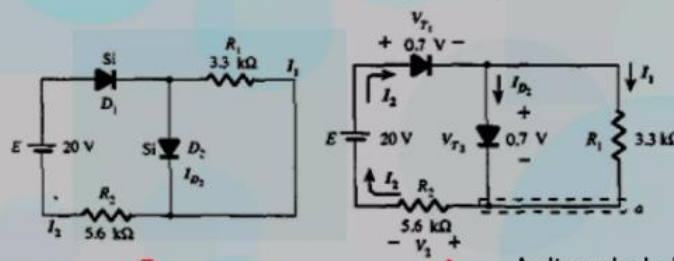
$$V_2 = 18.6V$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 3.32 \text{ mA}$$

Aplicando la LCK:

$$I_{D2} = 3.108 \text{ mA}$$

Determinar las corrientes I_1 , I_2 , y I_{D2} para la red de la figura.



$$I_1 = V_{T2}/R_1 = 0.7V/3.3k\Omega$$

$$I_1 = 0.212 \text{ mA}$$

Aplicando la LVK:

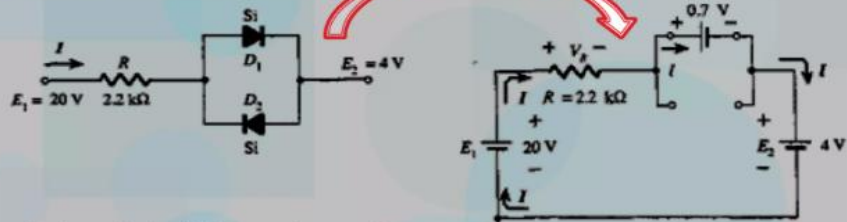
$$V_2 = 18.6V$$

$$I_2 = V_2/R_2 = 3.32 \text{ mA}$$

Aplicando la LCK:

$$I_{D2} = 3.108 \text{ mA}$$

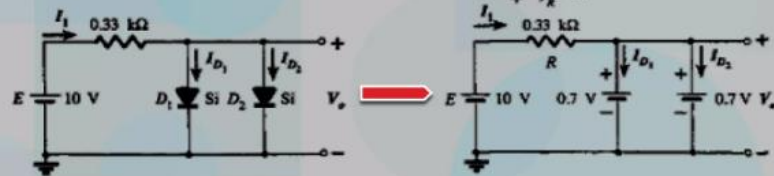
Determinar la corriente I para red mostrada.



Aplicando la LVK, se obtiene I :

$$I = 6.95 \text{ mA}$$

Determinar V_O , I_I , I_{D1} , e I_{D2} para la configuración de diodos en paralelo de la figura.



$$V_O = 0.7 \text{ V} \leftarrow \text{Voltajes en paralelo}$$

$$I_I = V_R / R = 28.18 \text{ mA} \quad \text{LVK}$$

$$I_{D1} = I_{D2} = I_I / 2 = 14.09 \text{ mA}$$

Si la corriente nominal de los diodos es sólo de 20 mA, una corriente de 28.18 mA dañaría el dispositivo si apareciera sólo en el circuito. Al colocar dos en paralelo, la corriente está limitada a un valor seguro de 14.09 mA con el mismo voltaje terminal.

1.3 Circuitos de:

1.3.1 Rectificación y Filtrado (Media Onda y Onda Completa).

Debido a su capacidad para permitir el paso de corriente en una dirección y bloquearla en la opuesta, los diodos se utilizan en circuitos llamados rectificadores, que convierten el voltaje de CA en voltaje de CD. Estos rectificadores se encuentran en todas las fuentes de alimentación de CD que funcionan con una fuente de voltaje de CA. Una fuente de alimentación es una parte fundamental de cualquier sistema electrónico, desde los más simples hasta los más complejos.

Todos los dispositivos electrónicos activos necesitan una fuente constante de CD, que provenga de una batería o una fuente de alimentación de CD. La fuente de alimentación de CD convierte el voltaje de CA estándar de 120 V, 60 Hz, disponible en las tomas de corriente, en un voltaje constante de CD. La fuente de alimentación de CD es uno de los circuitos más comunes, por lo que es crucial entender su funcionamiento. El voltaje producido se utiliza para alimentar todo tipo de circuitos electrónicos, incluidos dispositivos como televisores, reproductores de DVD, computadoras, controladores industriales y la mayoría de los sistemas y equipos de instrumentación de laboratorio. El nivel de voltaje de CD requerido varía según la aplicación, aunque la mayoría requiere voltajes relativamente bajos.

El diagrama de bloques básico de una fuente de alimentación completa se muestra en la figura 1.11(a). En general, el voltaje de entrada de CA se reduce a un voltaje de CA más bajo mediante un transformador (aunque puede elevarse cuando se requieren voltajes más altos o, en raros casos, no utilizar un transformador). Como se aprendió en el curso de CA/CD, un transformador cambia los voltajes de CA según la relación de vueltas entre el primario y el secundario. Si el secundario tiene más vueltas que el primario, el voltaje de salida será más alto y la corriente más baja. Si el secundario tiene menos vueltas que el primario, el voltaje de salida será más bajo y la corriente más alta.

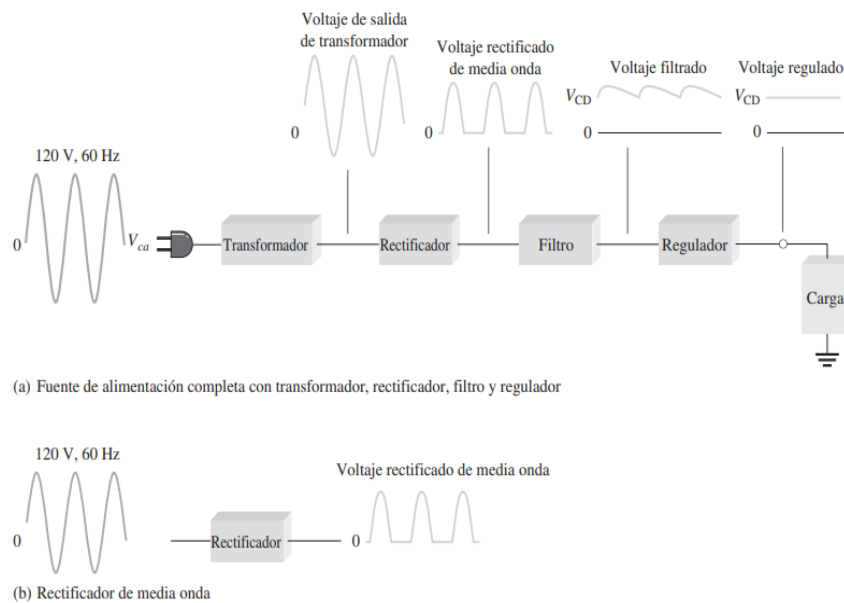


Figura 1.11 Fuente de alimentación completa.

El rectificador puede ser de media onda o de onda completa. Este componente convierte el voltaje de entrada de CA en un voltaje de CD pulsante, conocido como voltaje rectificado de media onda, como se ilustra en la figura 1.11(b). El filtro elimina las ondulaciones de voltaje del rectificador y produce un voltaje de CD relativamente uniforme. El regulador es un circuito que mantiene un voltaje de CD constante a pesar de las variaciones en el voltaje de entrada o en la carga. Los reguladores varían desde un solo dispositivo semiconductor hasta circuitos integrados más complejos. La carga es el circuito o dispositivo conectado a la salida de la fuente de alimentación y funciona con el voltaje y la corriente proporcionados por esta.

El rectificador de media onda.

La figura 1.12 ilustra el proceso de rectificación de media onda. Se conecta un diodo a una fuente de CA y a una resistencia de carga, R_L , para formar un rectificador de media onda. Es importante notar que todos los símbolos de tierra representan el mismo punto en términos eléctricos. Durante un ciclo del voltaje de entrada, cuando el voltaje senoidal de entrada (V_{ent}) se vuelve positivo, el diodo se polariza directamente y permite el paso de corriente a través de la resistencia de carga, como se muestra en la parte (a). La corriente produce un voltaje de salida a través de R_L , cuya forma es similar al semiciclo positivo del voltaje de entrada. Cuando el voltaje de entrada se vuelve negativo en el segundo semiciclo, el diodo se polariza inversamente. No hay corriente, por lo que el voltaje a través de la resistencia de carga es 0 V, como muestra la figura 1.12(b). El resultado es que solo los semiciclos positivos del voltaje de entrada de CA aparecen a través de la carga. Dado que la salida no cambia de polaridad, es un voltaje de CD pulsante con una frecuencia de 60 Hz, como se muestra en la parte (c).

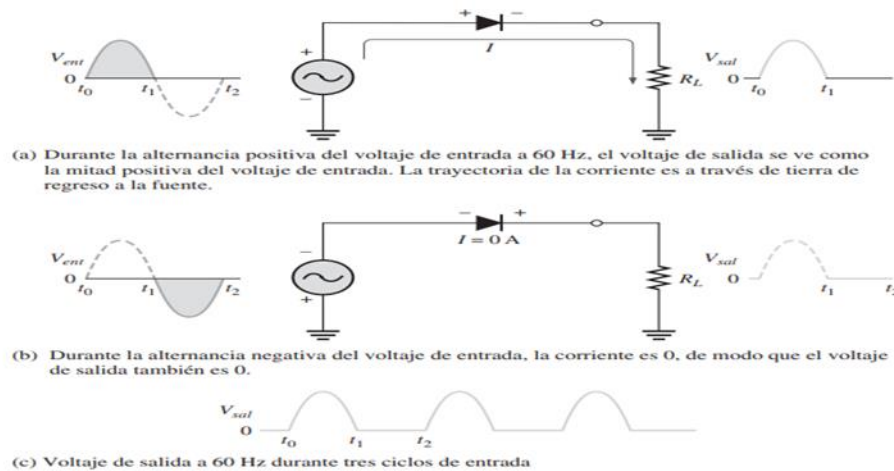


Figura 1.12 Rectificador de media onda.

El rectificador de Onda Completa.

Aunque los rectificadores de media onda tienen algunas aplicaciones, los de onda completa son los más utilizados en fuentes de alimentación de cd. Esta sección utilizará lo aprendido sobre rectificación de media onda para extenderlo a los rectificadores de onda completa. Además, usted aprenderá sobre dos tipos de rectificadores de onda completa: los de puente y los de derivación central.

Un rectificador de onda completa permite corriente unidireccional (en un sentido) a través de la carga durante los 360° del ciclo de entrada, mientras que un rectificador de media onda permite corriente a través de la carga sólo 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. Figura 1.13

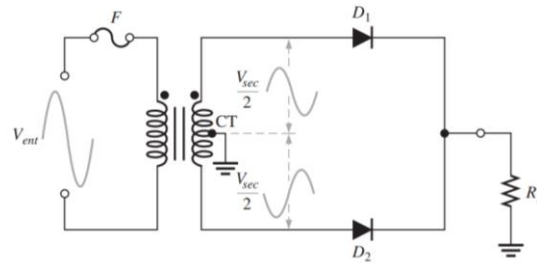


Figura 1.13 Rectificador de onda completa con derivación central.

Para un semiciclo positivo del voltaje de entrada, las polaridades de los voltajes del secundario se muestran en la figura 1.14(a). Esta condición polariza en directa el diodo D_1 y en inversa el diodo D_2 . La trayectoria de la corriente es a través de D_1 y el resistor de carga R_L , como se indica. Para un semiciclo negativo del voltaje de entrada, las polaridades del voltaje en el secundario son las mostradas en la figura 1.14(b). Esta condición polariza en inversa el diodo D_1 y en directa el diodo D_2 .

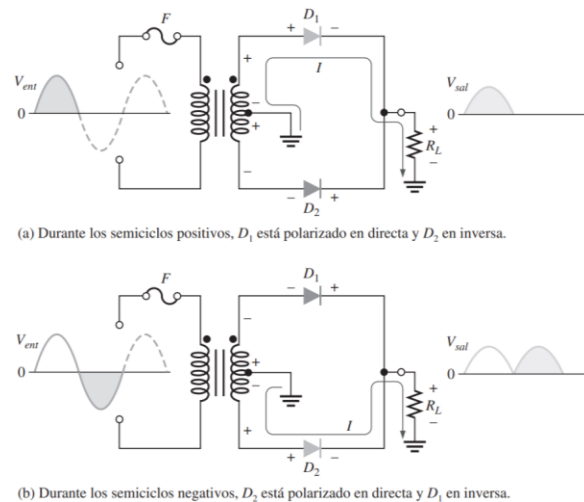


Figura 1.14 Operación básica de un rectificador de onda completa con derivación central.

el diodo D_2 . La trayectoria de la corriente es a través de D_2 y R_L , como se indica. Como la corriente de salida circula en la misma dirección a través de la carga, para los semiciclos positivo y negativo de la entrada el voltaje de salida desarrollado a través del resistor de carga es un voltaje de cd de onda completa rectificado, como se muestra.

Rectificador de puente de onda completa

El rectificador de puente utiliza cuatro diodos conectados como ilustra la figura 1.15. Cuando el ciclo de entrada es positivo como en la parte (a), los diodos D_1 y D_2 están polarizados en directa y conducen corriente en la dirección mostrada. Se desarrolla un voltaje a través de R_L parecido al semiciclo positivo de entrada. Durante este tiempo, los diodos D_3 y D_4 están polarizados en inversa.

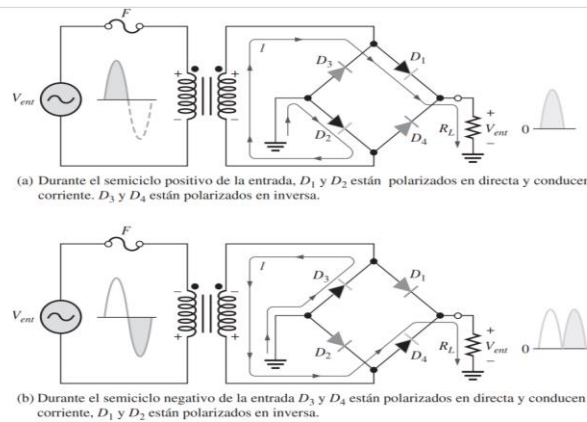


Figura 1.15 Operación de un rectificador de onda completa.

Cuando el semiciclo de entrada es negativo como en la figura 1.15(b), los diodos D_3 y D_4 están polarizados en directa y conducen corriente en la misma dirección a través de R_L que durante el semiciclo positivo. Durante el semiciclo negativo, D_1 y D_2 están polarizados en inversa. A consecuencia de esta acción a través de R_L aparece un voltaje de salida rectificado de onda completa. Voltaje de salida del puente En la figura 1.16(a) se muestra un rectificador de puente con una entrada acoplada por transformador. Durante el semiciclo positivo del voltaje total del secundario, los diodos D_1 y D_2 están polarizados en inversa. Si se omiten las caídas en los diodos, a través del resistor de carga aparece el voltaje del secundario. Lo mismo es cierto cuando D_3 y D_4 están polarizados en inversa durante el semiciclo negativo.

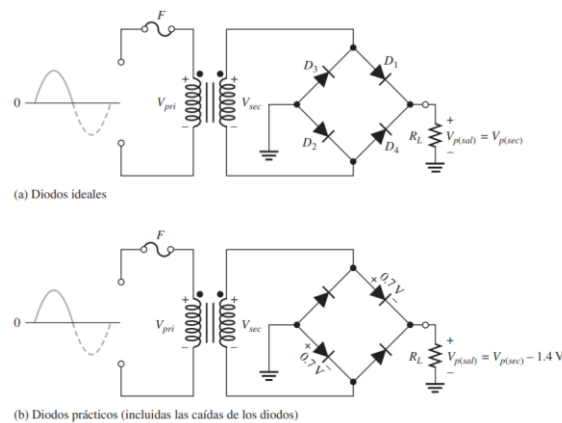


Figura 1.16 Operación de un puente durante un semiciclo de entrada.

Filtrado

Un filtro de fuente de alimentación idealmente elimina los rizados del voltaje de salida de un rectificador de media onda o de onda completa y produce un voltaje de cd de nivel constante. El filtrado es necesario porque los circuitos electrónicos requieren una fuente constante de voltaje y corriente continuos para proporcionar alimentación y polarización para la operación apropiada. Los filtros se implementan con capacitores, como se verá en esta sección. Normalmente, la regulación de voltaje en fuentes de alimentación se realiza con reguladores de voltaje integrados. Un regulador de voltaje impide cambios en el voltaje de cd filtrado debido a las variaciones del voltaje de entrada o en la carga. En la mayoría de las aplicaciones de fuentes de alimentación, el voltaje de línea de ca estándar de 60 Hz debe ser convertido en un

voltaje de cd aproximadamente constante. La salida de cd pulsante de 60 Hz de un rectificador de media onda o la salida pulsante de 120 Hz de un rectificador de onda completa deben ser filtradas para reducir las grandes variaciones de voltaje.

La figura 1.17 ilustra el concepto de filtrado que muestra un voltaje de salida de cd casi uniforme del filtro. La pequeña cantidad de fluctuación en el voltaje de salida del filtro se llama rizo.

El filtrado de los circuitos rectificadores es una etapa crucial en el proceso de conversión de corriente alterna (CA) a corriente continua (CD). En un rectificador, la señal de salida es una corriente pulsante de CD, que no es adecuada para la mayoría de las aplicaciones electrónicas que requieren una señal de CD estable y uniforme. Para lograr esta estabilidad, se emplean filtros que suavizan las variaciones en la señal de salida, produciendo un voltaje de CD más constante.

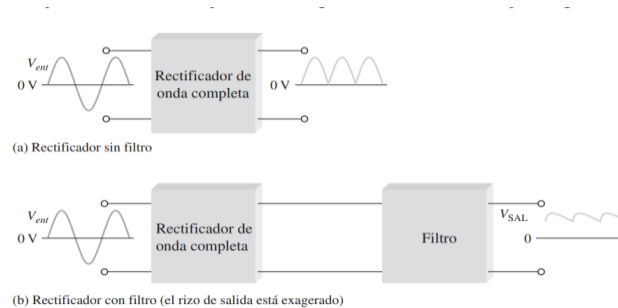


Figura. 1.17 Filtrado en una fuente de alimentación.

Un filtro típico en un circuito rectificador se compone principalmente de condensadores y, en algunos casos, de inductores. Los condensadores son especialmente útiles debido a su capacidad para almacenar y liberar energía rápidamente, lo que ayuda a suavizar las fluctuaciones en el voltaje.

Filtro de Condensador

El filtro más básico es el filtro de condensador, que se conecta directamente a la salida del rectificador. Cuando el voltaje de salida del rectificador aumenta, el condensador se carga hasta el voltaje pico. Luego, cuando el voltaje del rectificador disminuye, el condensador comienza a descargarse lentamente a través de la carga, manteniendo el voltaje en la carga más constante. Este proceso reduce significativamente las ondulaciones de la señal rectificada. Sin embargo, el nivel de suavizado depende de la capacidad del condensador; una mayor capacidad proporciona un filtrado más efectivo.

Filtro de entrada con capacitor La figura 1.18 muestra un rectificador de media onda con un filtro de entrada con capacitor. El filtro simplemente está conectado de la salida del rectificador a tierra. RL representa la resistencia equivalente de una carga. Se utilizará el rectificador de media onda para ilustrar el principio básico y luego se ampliará el concepto a la rectificación de onda completa.

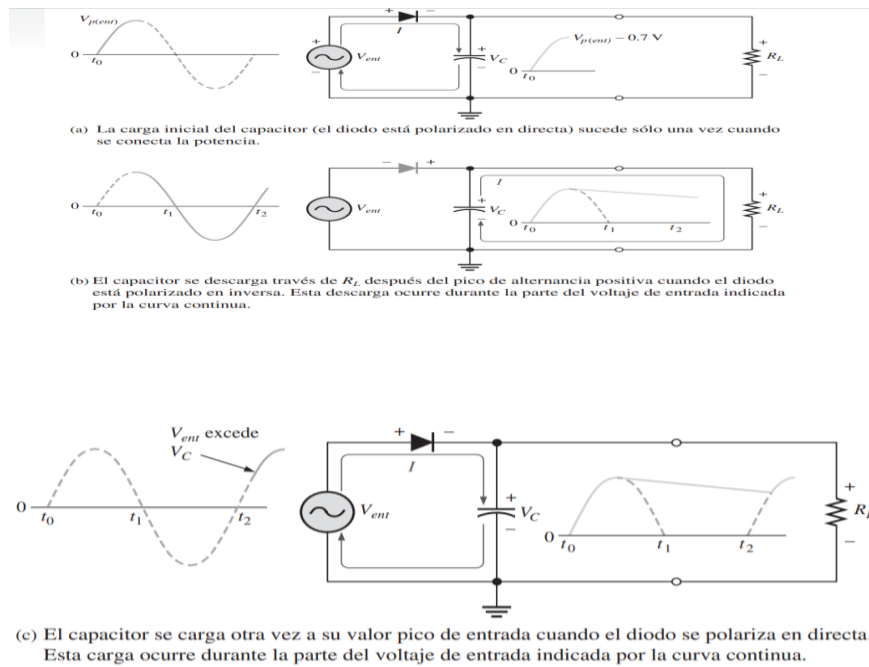


Figura 1.18. Operación de un rectificador de media onda y filtro con capacitor de entrada.

La figura 1.19 nos ilustra la comparación de voltajes de rizo correspondientes a voltajes rectificados de onda completa y media onda con el mismo filtro con capacitor y carga derivados del mismo voltaje de entrada senoidal.

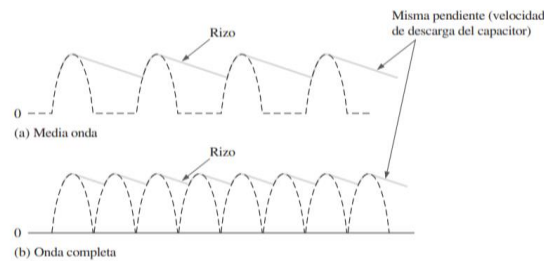


Figura 1.19. Comparación de voltajes de rizo.

Filtro de Pi (π)

Para un filtrado más eficiente, se utiliza el filtro de Pi (π), que combina condensadores e inductores en una configuración específica. Este filtro generalmente consta de un condensador seguido por un inductor y luego otro condensador. El inductor impide los cambios rápidos en la corriente, mientras que los condensadores absorben las variaciones en el voltaje. La combinación de estos componentes permite obtener un voltaje de CD mucho más estable y con menos ondulación que con un simple filtro de condensador.

Análisis del Filtro

El rendimiento de un filtro se evalúa a menudo en términos de su "ripple factor" (factor de ondulación), que es una medida de la variación residual en el voltaje de CD. Un buen filtro debe tener un factor de ondulación bajo, lo que indica que el voltaje de salida es casi constante. En aplicaciones prácticas, el objetivo es minimizar el factor de ondulación tanto como sea posible para asegurar la fiabilidad del dispositivo alimentado.

Aplicaciones y Consideraciones

Los circuitos de filtrado son fundamentales en la mayoría de los dispositivos electrónicos, desde cargadores de teléfonos móviles hasta fuentes de alimentación para computadoras y equipos industriales. Sin un filtrado adecuado, las fluctuaciones en el voltaje pueden causar fallos en el funcionamiento de los circuitos, ruido en las señales y reducción en la vida útil de los componentes.

Es importante también considerar la carga conectada al filtro. Una carga variable puede causar cambios en la corriente y el voltaje de salida, por lo que el diseño del filtro debe ser robusto para manejar dichas variaciones. Además, la selección de componentes debe tener en cuenta factores como la capacidad de los condensadores y la inductancia, así como las características de los materiales para asegurar una operación eficiente y duradera.

El filtrado de los circuitos rectificadores es esencial para convertir un voltaje de CD pulsante en un voltaje de CD estable y uniforme. Mediante el uso de condensadores, inductores y combinaciones como el filtro de Pi, se puede lograr un voltaje de salida que cumpla con los requisitos de estabilidad y fiabilidad necesarios para aplicaciones electrónicas avanzadas. Comprender y aplicar correctamente las técnicas de filtrado es fundamental para el diseño y la implementación efectiva de sistemas de alimentación en ingeniería electrónica.

1.3.2 Recortadores.

Recortadores con Diodos: Principios y Aplicaciones.

Los recortadores con diodos son circuitos utilizados para modificar la forma de una señal de entrada, recortando o limitando partes específicas de la señal. Estos circuitos son fundamentales en diversas aplicaciones electrónicas, incluyendo protección de circuitos, procesamiento de señales y generación de formas de onda específicas. En este escrito, se explorarán los principios básicos de los recortadores con diodos, sus tipos, funcionamiento y aplicaciones prácticas.

Principios Básicos

Un recortador con diodos es un circuito que utiliza diodos para eliminar o limitar partes de una señal de entrada. Los diodos permiten o impiden el paso de corriente en función de su polarización (directa o inversa), lo que se aprovecha para controlar las secciones de la señal que se desea recortar. Los recortadores pueden ser configurados para recortar señales tanto en la parte positiva como en la negativa de un ciclo de onda.

Tipos de Recortadores

Existen principalmente dos tipos de recortadores con diodos: recortadores de media onda y recortadores de onda completa. Además, cada uno de estos tipos puede configurarse para recortar la parte positiva o negativa de la señal, o ambas.

Recortadores de Media Onda

1. **Recortador Positivo de Media Onda:** Este circuito elimina la parte positiva de la señal de entrada. El diodo se coloca en serie con la carga y se polariza en inversa para los semiciclos positivos. Durante el semiciclo positivo, el diodo se polariza en inversa y bloquea la corriente, resultando en un voltaje de salida de cero durante este período.

Durante el semiciclo negativo, el diodo se polariza en directa, permitiendo el paso de la corriente y reproduciendo el semiciclo negativo de la señal de entrada.

2. **Recortador Negativo de Media Onda:** En este caso, el diodo se coloca en la misma configuración, pero con la polaridad invertida. El diodo se polariza en directa durante el semiciclo positivo, permitiendo que la señal pase a través de la carga, y se polariza en inversa durante el semiciclo negativo, bloqueando la corriente y resultando en un voltaje de salida de cero durante el semiciclo negativo.

Recortadores de Onda Completa

1. **Recortador Positivo de Onda Completa:** Este circuito utiliza dos diodos y dos resistencias para recortar ambas partes de la señal positiva. Los diodos se colocan de manera que ambos estén en inversa durante los semiciclos positivos, eliminando por completo la parte positiva de la señal.
2. **Recortador Negativo de Onda Completa:** Similar al recortador positivo de onda completa, pero con la polaridad de los diodos invertida. Este circuito elimina ambas partes negativas de la señal, permitiendo solo las partes positivas.

Funcionamiento

El funcionamiento de los recortadores con diodos se basa en la propiedad de los diodos de permitir el paso de corriente solo en una dirección. Al estar polarizados en directa o inversa, los diodos actúan como interruptores, permitiendo o bloqueando el paso de la señal de entrada según sea necesario.

En un recortador positivo de media onda, por ejemplo, el diodo se polariza en inversa durante el semiciclo positivo, bloqueando la señal y resultando en una salida de cero voltios. Durante el semiciclo negativo, el diodo se polariza en directa, permitiendo el paso de la señal y reproduciendo el semiciclo negativo en la salida.

1. Aplicaciones Prácticas

Los recortadores con diodos se utilizan en una variedad de aplicaciones prácticas:

1. **Protección de Circuitos:** Los recortadores pueden proteger circuitos sensibles al limitar los picos de voltaje que podrían dañar los componentes. Un recortador puede eliminar cualquier parte de la señal que exceda un nivel de voltaje específico, evitando que llegue al circuito protegido.
2. **Procesamiento de Señales:** En el procesamiento de señales, los recortadores se utilizan para eliminar el ruido o los componentes no deseados de una señal. Por ejemplo, en sistemas de comunicación, los recortadores pueden eliminar interferencias y mejorar la calidad de la señal transmitida.
3. **Generación de Formas de Onda:** Los recortadores pueden ser utilizados para generar formas de onda específicas a partir de una señal de entrada, creando formas de onda cuadradas, pulsos y otros tipos de señales necesarias en diversas aplicaciones electrónicas.

Circuitos recortadores de onda. Tipos de circuitos que se encargan de recortar una porción de una señal alternante. También puede ser la de limitar el valor máximo que puede tomar una señal de referencia o bien una señal de control, en cuyo caso estos circuitos son también reconocidos como circuitos limitadores.

Principios de funcionamiento

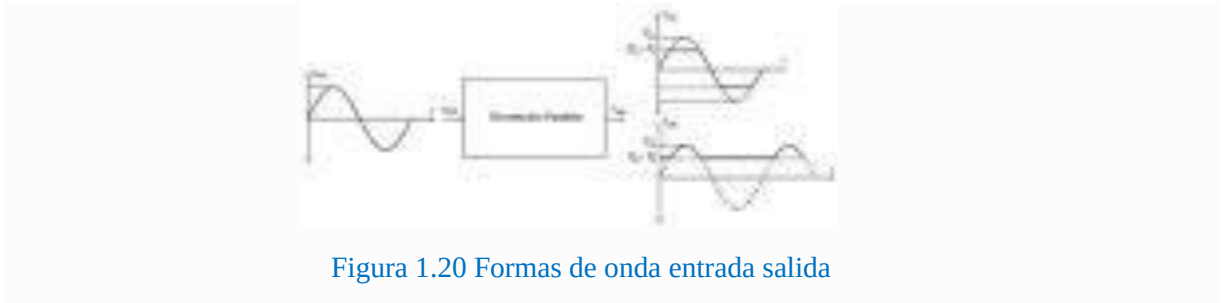


Figura 1.20 Formas de onda entrada salida

Estos tipos de circuitos utilizan dispositivos de una o más uniones PN como elementos de conmutación. Se diseñan con el objetivo de recortar o eliminar una parte de la señal que se le introduce en sus terminales de entrada y permita que pase el resto de la forma de onda sin distorsión o con la menor distorsión posible. Para realizar esta función de recortar, los recortadores hacen uso de la variación brusca que experimenta la impedancia entre los terminales de los diodos y transistores al pasar de un estado a otro, de ahí que sean los elementos básicos en dichos circuitos. Un ejemplo de formas de ondas obtenidas con un recortador de tipo serie se muestra en la figura 1.20

Recortador de diodo paralelo

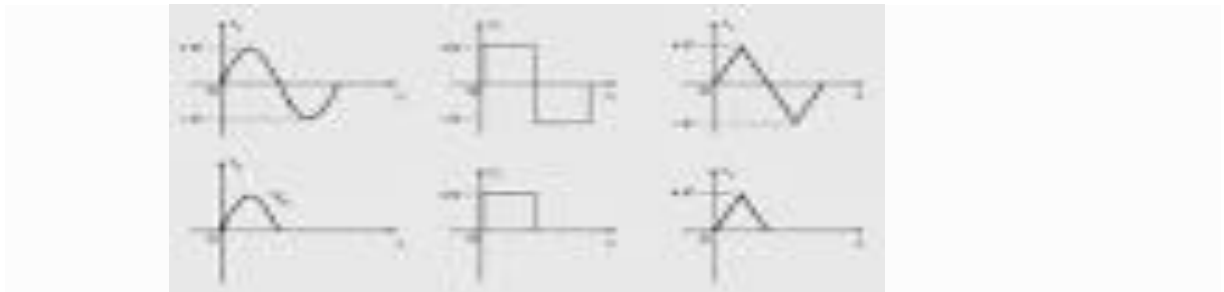


Figura 1.21

En la figura 1.21. se muestra el circuito y la forma de onda obtenida a la salida del mismo. Como se observa la señal de entrada es una señal sinusoidal y el circuito cuenta con una resistencia, un diodo en serie con una fuente polarizado en inversa y una R de carga. Cuando el voltaje de la fuente se hace mayor que la suma del voltaje de la fuente y el voltaje umbral de conducción del diodo, el diodo se polariza en directa y obtenemos la forma de onda mostrada.

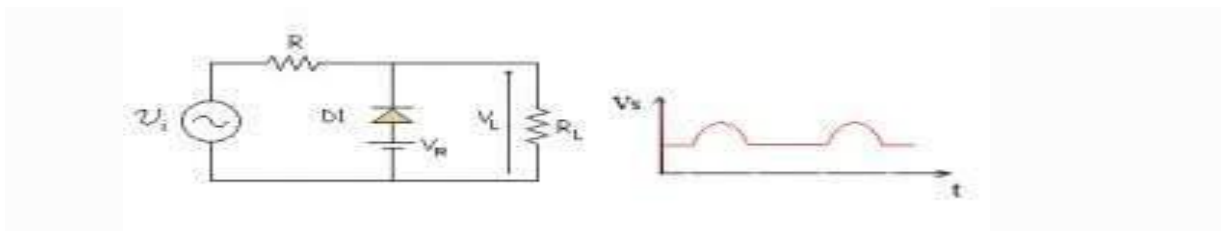


Figura 1.22 Circuito Recortador

Si invertimos el sentido del diodo como muestra la figura 1.22. podemos obtener formas de ondas como la mostrada en esta figura. A este tipo de circuito se le llama recortador por debajo.

- **Recortador de diodo serie**

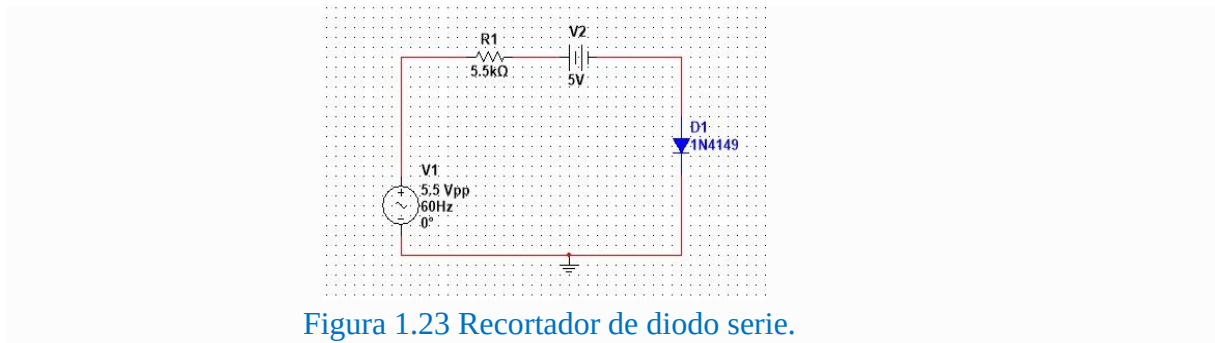


Figura 1.23 Recortador de diodo serie.

Al igual que podemos recortar una señal con los circuitos antes mencionados, en los que el diodo se encontraba en la rama paralelo, también podemos obtener resultados análogos si el diodo se encontrara en la rama serie. Si consideramos el circuito de la figura 1.23., resulta evidente que en valores de voltaje de entrada mayores que $(V_R - V)$, el diodo está polarizado a la inversa, por lo tanto, no permite que la señal a la entrada pase a la salida, es decir, recorta la señal de entrada al valor $(V_R - V)$. Los voltajes V_R y V se restan porque V_R está conectado con el terminal positivo hacia el ánodo, o sea, favoreciendo la conducción. En valores de voltaje a la entrada menores que $(V_R - V)$ el diodo conduce y a la salida se obtendrá la misma señal que a la entrada. La forma de onda obtenida es similar a la de la figura 1.22

Como en el caso de los recortadores paralelos, en los serie podemos invertir la posición del diodo y obtener un circuito como el de la figura V. Este circuito recortará de tal forma que si a la entrada introducimos una señal sinusoidal, a la salida obtendremos una forma de onda como la mostrada en la figura 1.23.

Doble recortador de diodos

En los recortadores analizados hasta ahora solo se recorta a un solo nivel determinado por la fuente V_R que puede ser ajustable. No obstante, en muchas aplicaciones prácticas resulta de interés poder recortar la señal a 2 niveles distintos que puedan ser ajustados a voluntad, e independientemente. En tales ocasiones se utilizan dobles recortadores de diodo que constan de 2 recortadores como los ya analizados, por lo tanto, podemos considerar 4 configuraciones de dobles recortadores que en lo sustancial son capaces de realizar la misma función, pero con las diferencias que observamos en cuanto a la posición del diodo.

En efecto, podemos considerar los recortadores serie-paralelo, paralelo-serie, serie-serie y paralelo-paralelo. El funcionamiento y análisis general de cualquiera de estas configuraciones es idéntico al de los recortadores simples. A modo de ejemplo solo se describirá con brevedad a la configuración paralelo-paralelo por ser una de las más utilizada. La figura VI. muestra esta configuración con sus respectivas señales de entrada-salida.

En el circuito mostrado disponemos de 2 diodos con sus 2 fuentes correspondientes. Si consideramos que introducimos una señal sinusoidal como muestra la figura en el semiciclo positivo recortaría la onda el diodo cuyo cátodo está al positivo de la fuente, limitando la onda al valor de $(V_R + 0,7)$ o sea, el voltaje de la fuente más el voltaje de caída del diodo. Cuando nos encontramos en el semiciclo negativo entraría a recortar la señal el diodo cuyo ánodo está al negativo de la fuente, al sobre pasar $(V_R - 0,7)$ el valor de voltaje de la señal de entrada, tal como se muestra.

LIMITADORES O RECORTADORES

Un Limitador o Recortador es un circuito capaz de suprimir porciones positivas o negativas de una señal.

LIMITADOR POSITIVO

Un limitador positivo recorta o limita la parte superior de una señal, Esto significa que recorta porciones de Tensión en los semiciclos positivos.

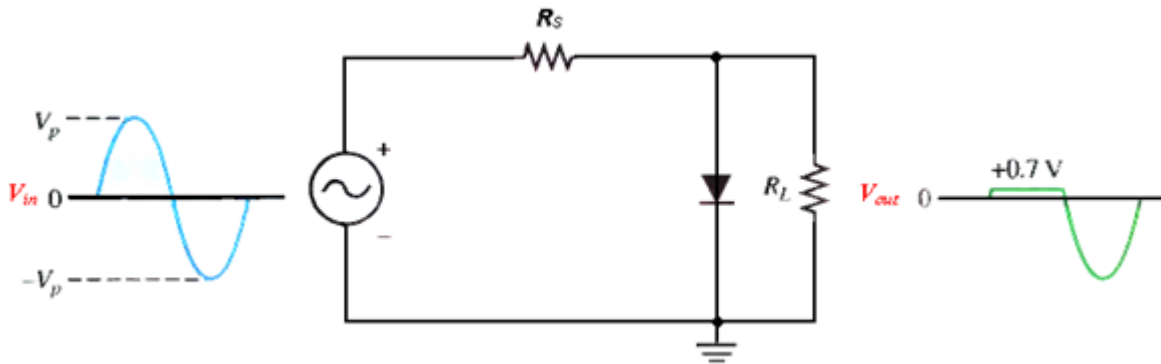


Figura 1.24 Limitador Positivo.

La figura 1.24 muestra un Limitador Positivo y el circuito funciona de la siguiente manera:

El diodo es polarizado en directa durante los semiciclos positivos y en inversa durante los semiciclos negativos. Cuando el diodo esta polarizado en directa se produce un corto que ocasiona una caída de tensión en la resistencia R_L que se aprecia como un recorte en el semiciclo positivo, Idealmente dicha caída debería recortar totalmente el semiciclo, en la practica el diodo no es ideal y el recorte termina en 0.7V.

LIMITADOR NEGATIVO

Un limitador negativo recorta o limita la parte inferior de una señal, Esto significa que recorta porciones de Tensión en los semiciclos negativos.

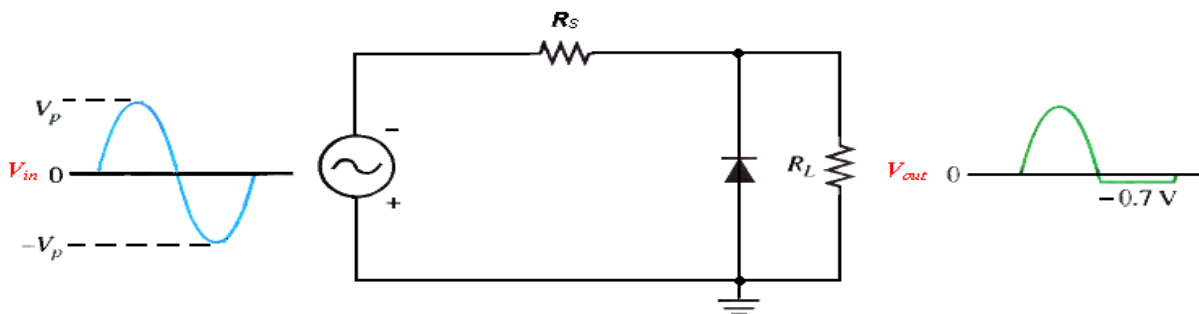


Figura 1.25 Limitador Negativo.

La figura 1.25 muestra un limitador Negativo y el circuito funciona de la siguiente manera:

El diodo es polarizado en directa durante los semiciclos negativos y en inversa durante los semiciclos positivos. Cuando el diodo esta polarizado en directa se produce un corto que ocasiona una caída de tensión en la resistencia R_L que se aprecia como un recorte en el semiciclo negativo, Idealmente dicha caída debería recortar totalmente el semiciclo, en la practica el diodo no es ideal y el recorte termina en $-0.7V$.

LIMITADORES POLARIZADOS

El nivel del voltaje que se limita se puede ajustar añadiendo una fuente de tensión (V_{CC}) en serie con el diodo.

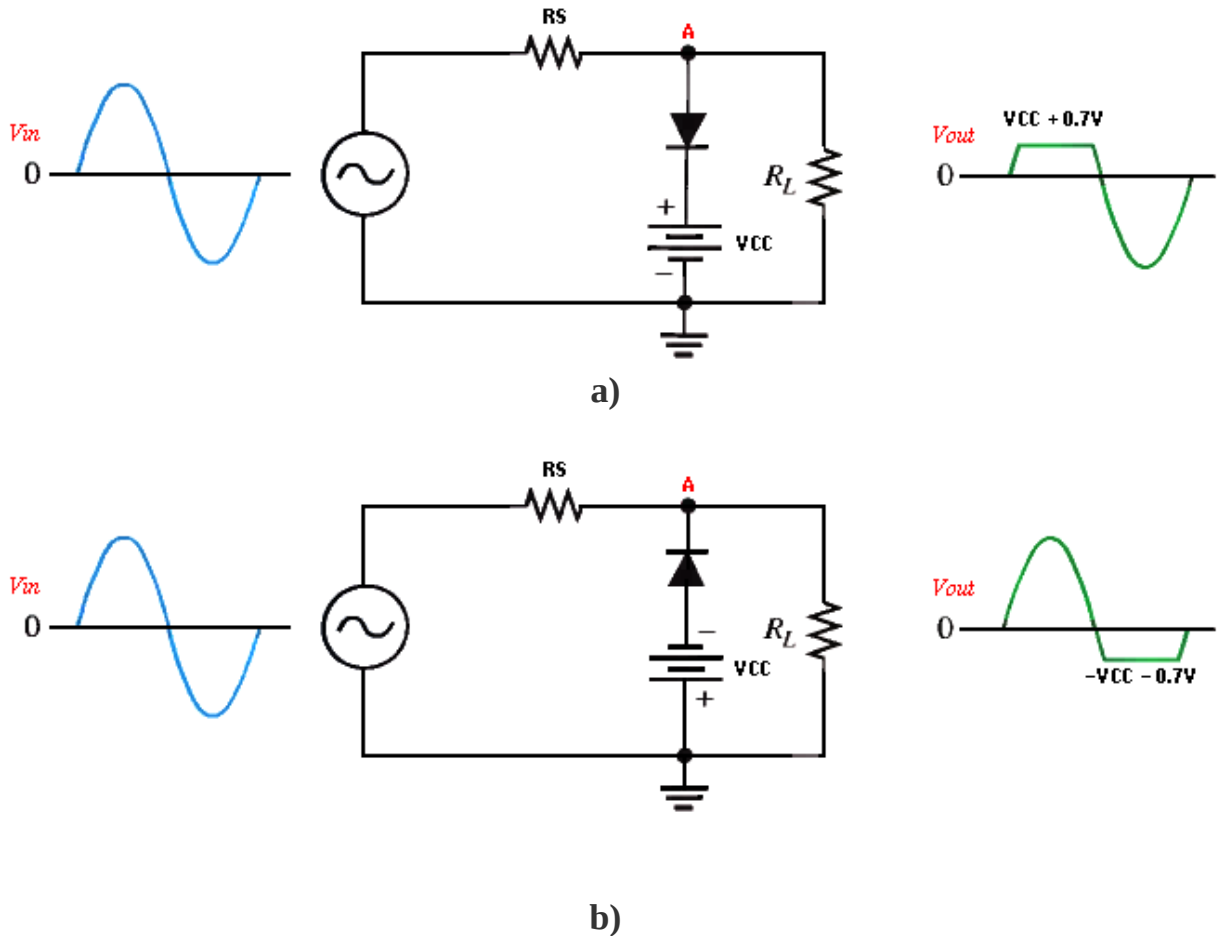


Figura 1.26 a) Limitador Positivo Polarizado b) Limitador Negativo Polarizado.

De esta forma el circuito limitador recorta toda entrada de tensión por encima de:

$V_{CC} + 0.7V$ ----- Limitador Positivo

$-V_{CC} - 0.7V$ ----- Limitador Negativo

Para que un limitador funcione correctamente se debe tener en cuenta la siguiente regla:

$$100R_B < R_S < 0.01R_L$$

La regla dice que la resistencia en serie debe ser 100 veces mayor que la resistencia interna del diodo y 100 veces menor que la resistencia de carga.

1.3.3 Sujetadores

Un circuito sujetador añade un nivel de CC a voltaje de AC. Como en el caso anterior, de los limitadores, hay dos tipos de sujetadores, los de nivel positivo y los de nivel negativo.

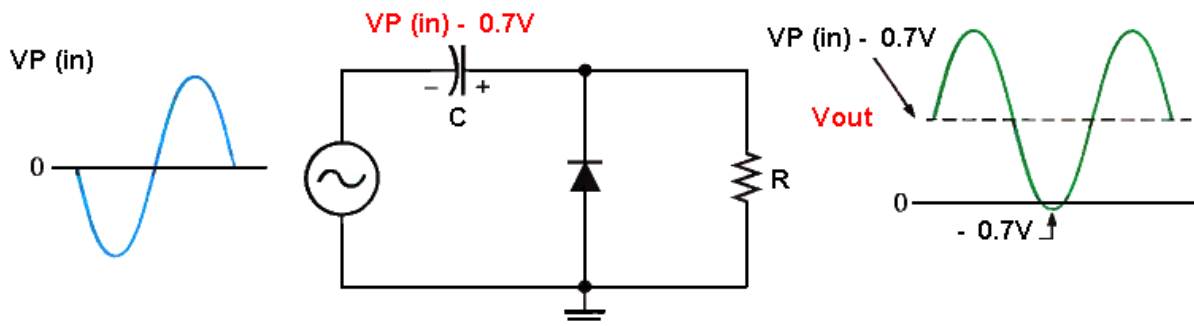


Figura. 1.27 sujetador o Cambiador de Nivel Positivo.

El circuito sujetador de nivel positivo funciona de la siguiente forma:

Durante los semiciclos negativos el diodo esta polarizado en directa permitiendo que el capacitor C se cargué aproximadamente a $V_P(in) - 0.7V$ donde $V_P(in)$ es el voltaje pico de la señal de entrada. Después del pico negativo el diodo queda polarizado en inversa y esto es porque la carga positiva adquirida por el condensador bloquea al cátodo del diodo y busca descargarse a través de R . La idea es que el capacitor no se descargue totalmente cuando el diodo esta en inversa para así mantener una corriente continua aproximada a $V_P(in) - 0.7V$ que por superposición cambie el nivel DC de la señal de entrada.

Para calcular la constante de tiempo de carga y descarga del condensador del se emplea la formula:

$$T = R \cdot C$$

Una regla práctica de diseño es hacer que la constante de tiempo RC sea 10 veces el valor del periodo de la señal de entrada. Si invertimos la polaridad del diodo y la del capacitor obtenemos un Sujetador de nivel negativo.

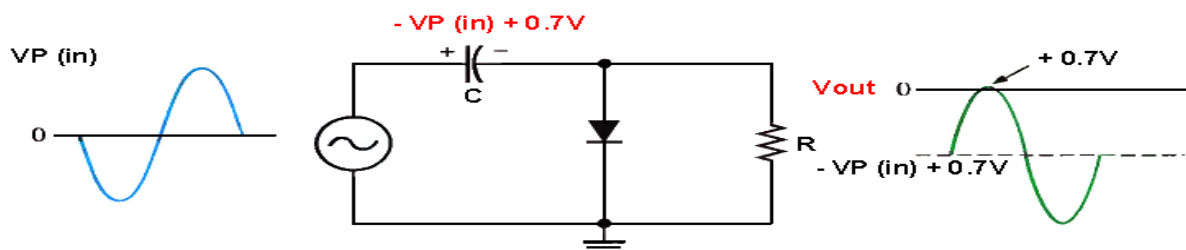


Figura. 1.28 Sujetador o Cambiador de Nivel Negativo.

Los circuitos Sujetadores son frecuentemente utilizados en receptores de televisión como restauradores del nivel DC de señales de video.

1.3.4. Multiplicadores.

Un circuito multiplicador aumenta los valores de voltaje sin necesidad de cambiar el transformador de la fuente principal. Multiplicando por 2, 3 y 4 el valor de voltaje a su entrada.

El principio de operación de estos circuitos es la carga sucesiva de condensadores debido a la habilitación en cascada de diodos. Estos circuitos se implementan cuando hay cargas que necesitan una tensión muy alta y que absorben una Corriente pequeña.

Una aplicación común se da en los circuitos que elevan el voltaje para alimentar el Tubo de rayos catódicos de Televisores, Monitores y Osciloscopios.

Existen varios tipos de multiplicadores de tensión, nosotros analizaremos estos cuatro:

El Doblador de voltaje de media onda

El Triplicador

El Cuadriplicador

El Doblador de tensión de onda completa

EL DOBLADOR DE VOLTAJE DE MEDIA ONDA

Un doblador de voltaje de media onda es la combinación de un rectificador de media onda con un multiplicador de voltaje con factor de multiplicación 2.

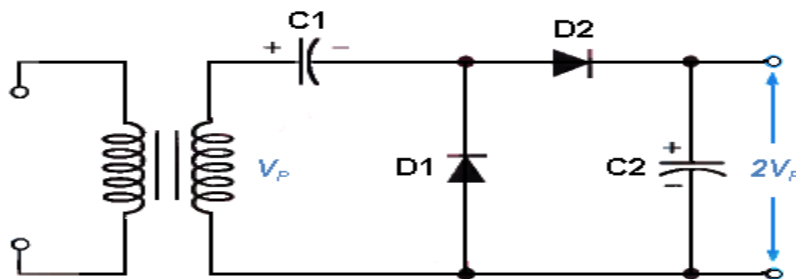


Figura. 1.29 Circuito doblador de Voltaje de Media Onda.

El circuito funciona de la siguiente manera:

Durante el semiciclo positivo el diodo D1 está polarizado en directa y el diodo D2 está polarizado en inversa y el condensador C1 se carga aproximadamente al valor pico del voltaje en la entrada menos la caída de voltaje del diodo ($V_P - 0.7V$).

Durante el semiciclo negativo el diodo D2 está polarizado en directa y el diodo D1 está polarizado en inversa. En este punto el voltaje almacenado en C1 se suma al voltaje de entrada cargando el condensador C2 a ($2V_P$).

D2 rectifica a media onda y C2 filtra la onda pulsante, el resultado es una salida de corriente continua de voltaje aproximadamente el doble de la entrada ($2V_P$).

Demostración por ley de Kirchhoff:

$$V_{C1} - V_{C2} + V_P = 0$$

$$V_{C1} = V_P - 0.7V$$

$$V_{C2} = V_P + V_{C1}$$

Despreciando la caída del diodo de:

$$V_{C2} = V_P + V_P = 2V_P$$

TRIPLICADOR DE VOLTAJE

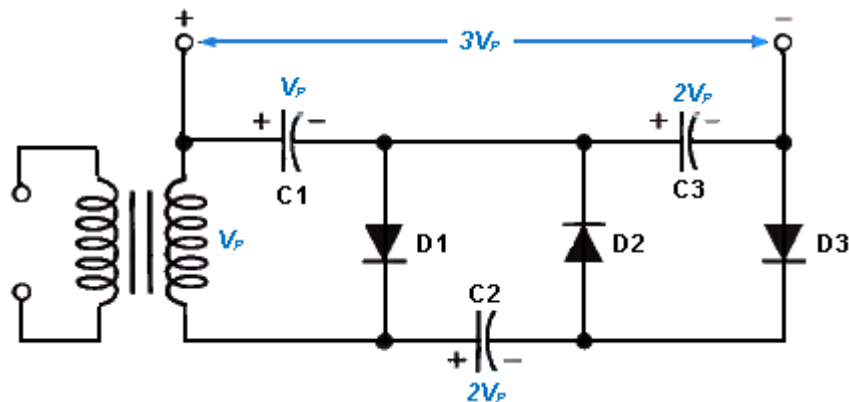


Figura. 1.30 Triplicador de voltaje.

El circuito funciona de la siguiente manera:

Durante el semiciclo positivo el diodo D1 está polarizado en directa y el condensador C1 se carga aproximadamente al valor pico del voltaje en la entrada.

Durante el semiciclo negativo el diodo D2 está polarizado en directa. En este punto el voltaje almacenado en C1 se suma al voltaje de entrada cargando el condensador C2 a $(2V_P)$.

La descarga de C2 carga C3 mientras D3 esta polarizado en directa.

La salida del circuito es aproximadamente $3V_P$.

CUADRIPLICADOR DE VOLTAJE

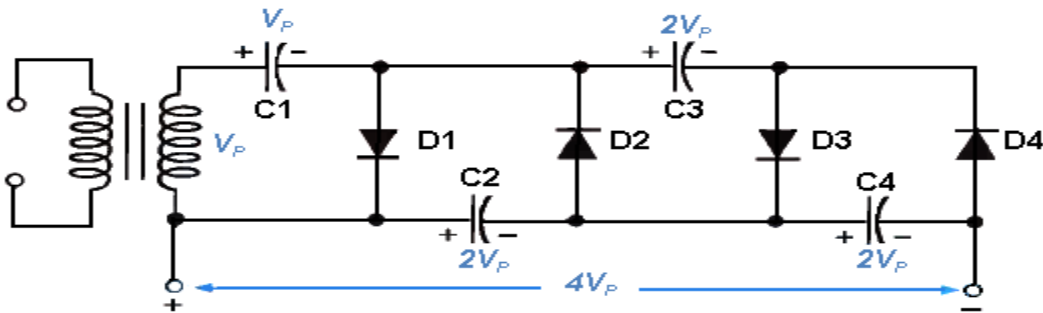


Figura. 1.31 cuadriplicador.

Si a un circuito Triplicador le agregamos un Diodo y un Condensador adicional en cascada obtendremos un circuito cuadriplicador de voltaje que multiplica por 4 el valor del voltaje de entrada.

En este caso C4 se carga durante el semiciclo negativo a través de D4; la salida del voltaje cuadriplicado se toma en los extremos de C2 y C4.

DOBLADOR TENSION DE ONDA COMPLETA

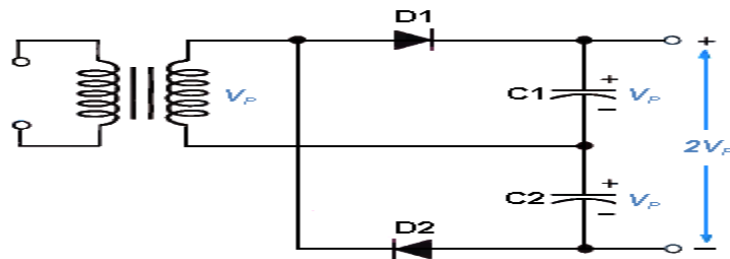


Figura. 1.32 onda completa duplicador.

El circuito funciona de la siguiente manera:

Durante los semiciclos positivos D1 está polarizado en directa y C1 se carga aproximadamente al valor de V_P , luego durante los semiciclos negativos D2 está polarizado en directa y C2 se carga aproximadamente también al valor de V_P ; la salida se toma de un extremo de C1 y C2 y el voltaje resultante es $2V_P$.

1.4 Diodo Zener.

El diodo Zener es un tipo especial de diodo de silicio que se emplea principalmente para estabilizar voltajes en circuitos eléctricos y electrónicos. A diferencia de los diodos convencionales que permiten el paso de corriente principalmente en una sola dirección, el diodo Zener puede operar en la región de ruptura inversa sin dañarse. Este comportamiento único lo hace indispensable en aplicaciones de regulación de voltaje, protección contra sobretensiones y circuitos de referencia de voltaje. Este escrito proporciona una visión general de los principios de operación, características y aplicaciones del diodo Zener.

Principios de Operación

El diodo Zener se basa en el principio de la avalancha y el efecto Zener para funcionar en la región de ruptura inversa. En condiciones normales, un diodo permite el paso de corriente cuando está polarizado en directa (ánodo positivo con respecto al cátodo). Sin embargo, cuando se polariza en inversa, el diodo convencional bloquea el paso de corriente hasta que se alcanza un cierto voltaje, conocido como voltaje de ruptura, lo que generalmente daña el diodo.

El diodo Zener, por otro lado, está diseñado para entrar en conducción en la región de ruptura sin dañarse. Este voltaje de ruptura específico se denomina "voltaje Zener" (VZ). Cuando el voltaje aplicado en inversa alcanza VZ, el diodo Zener comienza a conducir corriente manteniendo el voltaje a través de sus terminales prácticamente constante en VZ. Este fenómeno se debe a dos efectos principales: el efecto Zener y el efecto de avalancha:

1. **Efecto Zener:** Predomina en diodos Zener con bajos voltajes de ruptura ($<5V$). Se produce debido a la fuerte atracción eléctrica que rompe los enlaces covalentes del material semiconductor, liberando electrones.
2. **Efecto de Avalancha:** Ocurre en diodos Zener con altos voltajes de ruptura ($>5V$). Los electrones acelerados por el campo eléctrico fuerte colisionan con átomos del cristal, liberando más electrones y creando una avalancha de portadores de carga.

Características del Diodo Zener

1. **Voltaje Zener (VZ):** El voltaje de ruptura específico en el que el diodo comienza a conducir en inversa. Es una característica clave que define la operación del diodo Zener.
2. **Corriente Zener (IZ):** La corriente que circula a través del diodo cuando está en la región de ruptura. El diodo debe operar dentro de un rango de corriente seguro para evitar daños.
3. **Potencia Nominal (PZ):** La máxima potencia que el diodo Zener puede disipar sin sobrecalentarse. Se calcula como el producto del voltaje Zener y la corriente Zener ($PZ = VZ \times IZ$).
4. **Resistencia Dinámica:** La pequeña variación en el voltaje Zener con respecto a la corriente en la región de ruptura, representada como una pendiente en la curva característica I–VI del diodo.

Aplicaciones del Diodo Zener

1. **Regulación de Voltaje:** Una de las aplicaciones más comunes del diodo Zener es en circuitos reguladores de voltaje. Al conectar un diodo Zener en paralelo con una carga, se puede mantener un voltaje constante a través de la carga. Esto es especialmente útil en fuentes de alimentación donde se requiere un voltaje de salida estable.

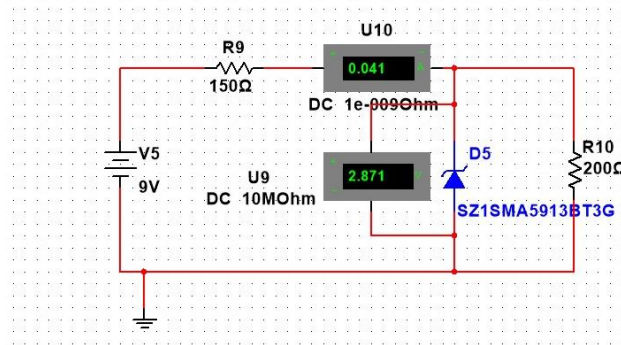


Figura 1.33: Circuito Regulador de Voltaje con Diodo Zener.

2. **Protección contra Sobretensiones:** Los diodos Zener se utilizan para proteger circuitos sensibles de sobretensiones transitorias. Colocando un diodo Zener en paralelo con los componentes sensibles, cualquier sobrevoltaje hará que el diodo conduzca, desviando la corriente y manteniendo el voltaje dentro de límites seguros.
3. **Circuitos de Referencia de Voltaje:** En sistemas donde se requiere un voltaje de referencia preciso, los diodos Zener proporcionan una fuente de referencia estable debido a su capacidad para mantener un voltaje constante en la región de ruptura.
4. **Clipper y Clamper:** Los diodos Zener también se utilizan en circuitos de recorte y clampeo para limitar la amplitud de una señal de CA o para ajustar los niveles de una señal.

Ejemplo Práctico

Considere un regulador de voltaje simple usando un diodo Zener con un VZ de 5.1V. Si se utiliza una fuente de alimentación de 12V y una resistencia serie de 1kΩ, el circuito mantendrá un voltaje constante de 5.1V a través de la carga conectada en paralelo con el diodo Zener.

$$I_R = (V_{in} - V_Z) / R = (12V - 5.1V) / 1k\Omega = 6.9mA$$

La corriente a través del diodo Zener se ajustará automáticamente para mantener el voltaje constante, lo que ilustra la capacidad del diodo Zener para estabilizar el voltaje en presencia de variaciones en la corriente de carga.

El diodo Zener es un componente vital en la electrónica moderna, proporcionando soluciones efectivas para la regulación de voltaje, protección contra sobretensiones y generación de voltajes de referencia precisos. Su capacidad para operar en la región de ruptura inversa sin dañarse lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere un voltaje constante y fiable. Entender los principios de operación, características y aplicaciones del diodo Zener es esencial para los estudiantes de ingeniería electrónica, ya que este componente se encuentra en una amplia variedad de circuitos y sistemas electrónicos.

Referencia de voltaje de diodo Zener

Los diodos Zener están diseñados para mantener un voltaje fijo a través del diodo cuando se polariza inversamente. Esta capacidad se utiliza para proporcionar voltajes de referencia conocidos, una operación importante en las fuentes de alimentación. Los diodos Zener también se usan para recortar o limitar las formas de onda, lo cual evita que excedan los límites de voltaje.

El diodo Zener se fabrica utilizando uniones p-n altamente dopadas que dan como resultado una capa de agotamiento muy delgada. El campo eléctrico resultante en esta región es muy alto, incluso con bajos voltajes aplicados. En estas condiciones, cualquiera de los dos mecanismos da como resultado una disrupción del diodo, lo que provoca una alta corriente inversa:

- En una condición, la disrupción de Zener ocurre a voltajes menores que 5 voltios y es el resultado del túnel cuántico de electrones.
- El segundo mecanismo de disrupción es cuando los voltajes son superiores a 5 voltios; la disrupción es el resultado de un colapso de avalancha o ionización de impacto.

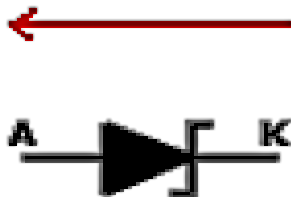
Cuando el diodo Zener tiene polarización directa, se comporta como un diodo estándar. Bajo polarización inversa, exhibe una disrupción cuando el nivel de polarización inversa excede el nivel de voltaje de Zener, V_Z . En este punto, el diodo mantiene un voltaje casi constante entre el cátodo y el ánodo. La corriente mínima para mantener el diodo en la región de disrupción de Zener es I_{Zmin} ; la corriente máxima determinada por la disipación de potencia nominal del diodo es I_{Zmax} . La corriente debe estar limitada por la resistencia externa para evitar el sobrecalentamiento y las fallas.

Un diodo Zener

Es un diodo de silicio que se ha construido para que funcione en las zonas de rupturas. Llamados a veces diodos de avalancha, el diodo zener es la parte esencial de los reguladores de tensión casi constantes con independencia de que se presenten grandes variaciones de la tensión de red y de la resistencia de carga.

El diodo Zener

Es un tipo especial de diodo que diferencia del funcionamiento de los diodos comunes, como el diodo rectificador (en donde se aprovechan sus características de polarización directa y polarización inversa) el diodo Zener siempre se utiliza en polarización inversa, en donde la corriente desea circular en *contra* de la flecha que representa el mismo diodo.



1.34 Símbolo del diodo zener (A - ánodo K - cátodo)

En este caso analizaremos el diodo Zener, pero no como un elemento ideal, si no como un elemento real y debemos tomar en cuenta que cuando éste se polariza en modo inverso si existe una corriente que circula en sentido contrario a la flecha del diodo, pero de muy poco valor.



Figura 1.35 Curva característica del diodo Zener.

Analizando la curva del diodo zener vemos que en el lugar donde se marca como *región operativa*, la corriente (I_f , en la línea vertical inferior) puede variar en un amplio margen, pero el voltaje (V_z) no cambia. Se mantiene aproximadamente en 5.6 V. (para un diodo zener de 5.6 V)

Aplicaciones del diodo Zener

La principal aplicación que se le da al diodo Zener es la de regulador.

¿Qué hace un regulador con Zener?

Un regulador con zener ideal mantiene un voltaje fijo predeterminado, a su salida, sin importar si varía el voltaje en la fuente de alimentación y sin importar como varíe la carga que se desea alimentar con este regulador.

Nota: En las fuentes de voltaje ideales (algunas utilizan, entre otros elementos el diodo zener), el voltaje de salida no varía conforme varía la carga. Pero las fuentes no son ideales y lo normal es que la tensión de salida disminuya conforme la carga va aumentando, o sea conforme la demanda de corriente de la carga aumente.

Para poder saber si una fuente de voltaje es de buena calidad se utiliza la siguiente fórmula:

Porcentaje de regulación =

$$\frac{V(\text{sin carga}) - V(\text{carga total})}{V(\text{carga total})} * 100 \%$$

A **menor** valor de porcentaje de regulación, **mejor** calidad de fuente.

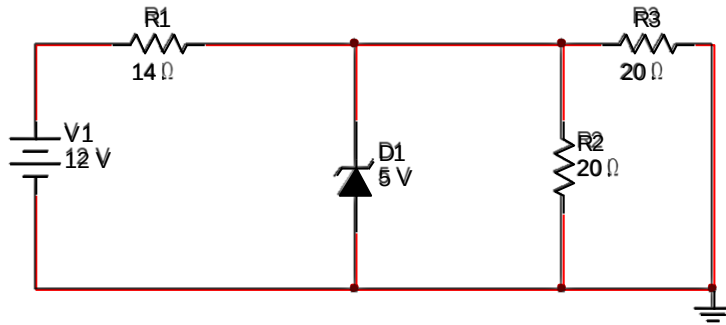


Figura 1.36 Circuito regulador con Zener.

Si medimos en un dado caso el voltaje en las resistencias y obtenemos un valor de 4.972 volts, con la formula anterior podemos sacar el porcentaje de regulación

REGULADOR ZENER CON CARGA.

Para hallar la corriente máxima que se va a manejar utilizamos esta relación

$$V_s = V_z + V_{rs}$$

$$V_s - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{V_s - V_z}{R_{rs}} = I_{rs}$$

No es más que la ley de ohm aplicada a la resistencia en serie

Con esto ya tenemos la corriente máxima que manejaremos según los datos del tipo de diodo zener que utilizemos.

Debemos tener en cuenta la carga que manejaremos si utilizamos una carga que nos demande mas corriente, nos ocasionara una baja en el voltaje y hasta podríamos dañar nuestra resistencia en serie si tenemos un exceso de carga.

EJEMPLOS.

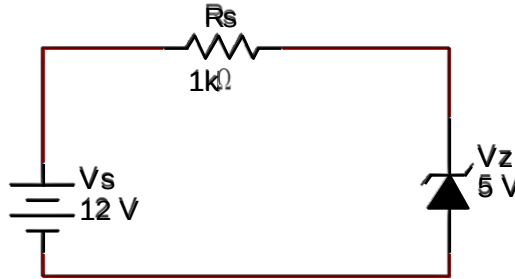
REGULADOR CON ZENER CON CARGA

Para hallar la corriente máxima que se va a manejar utilizamos esta relación

$$V_s = V_z + V_{rs}$$

$$V_s - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{V_s - V_z}{R_{rs}} = I_{rs}$$



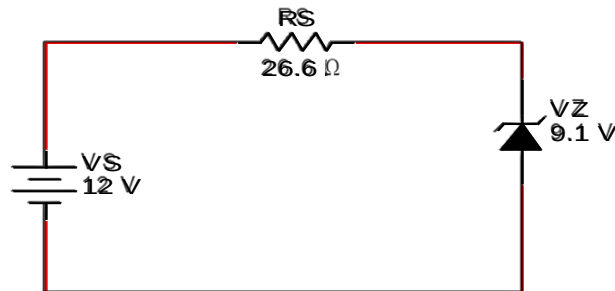
No es más que la ley de ohm aplicada a la resistencia en serie. Con esto ya tenemos la corriente máxima que manejaremos según los datos del tipo de diodo zener que utilicemos. Debemos tener en cuenta la carga que manejaremos si utilizamos una carga que nos demande mas corriente, nos ocasionara una baja en el voltaje y hasta podríamos dañar nuestra resistencia en serie si tenemos un exceso de carga.

CALCULAR LA POTENCIA RS (Resistencia limitadora).

$$V_s = V_z + V_{rs}$$

$$V_s - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{V_s - V_z}{R_{rs}} = I_{rs}$$



ESTE ES UN PROCESO BASICAMENTE SENCILLO PARA SABER DE CUANTOS WATTS VA A SER LA RESISTENCIA EN SERIE QUE MANEJEMOS

$$V_s = V_z + V_{rs}$$

$$V_s - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{12 - 9.1}{26.6} = I_{rs}$$

$$109mA = I_s$$

$$P = I^2 R$$

$$P = (.109)^2 (26.6)$$

$$P = .316mW$$

CON LO QUE VEMOS EN EL RESULTADO SOLO TENEMOS QUE USAR UNA RESISTENCIA DE 1/2 WATT O DE 1 WATT

REGULADOR CON ZENER CON CARGA

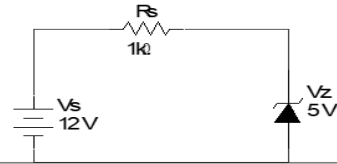
REGULADOR CON ZENER CON CARGA

Para hallar la corriente máxima que se va a manejar utilizamos esta relación

$$V_s = V_z + V_{rs}$$

$$V_s - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{V_s - V_z}{R_{rs}} = I_{rs}$$



No es mas que la ley de ohm aplicada a la resistencia en serie

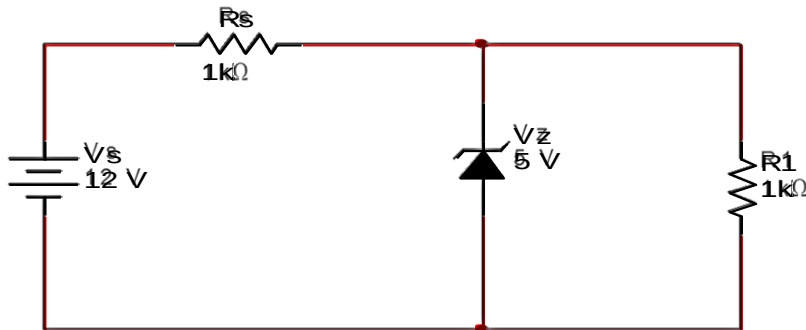
Con esto ya tenemos la corriente máxima que manejaremos según los datos del tipo de diodo zener que utilizemos.

Debemos tener en cuenta la carga que manejaremos si utilizamos una carga que nos demande mas corriente, nos ocasionara una baja en el voltaje y hasta podríamos dañar nuestra resistencia en serie si tenemos un exceso de carga.

$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{V_{en} - V_z}{I_s} = R_s$$



$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{V_{en} - V_z}{R_s} = I_s$$

$$I_z = \frac{1W}{9.1V}$$

$$I_z = 109mA$$

$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{12 - 9.1}{109 \times 10^{-3}} = R_s$$

$$26.60\Omega = R_s$$

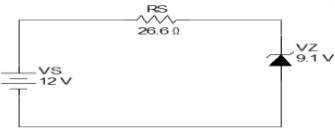
El diodo zener y la resistencia de carga están en paralelo. La suma de sus corrientes tiene que ser igual a la corriente total, que es la misma que hay en la resistencia en serie.

CALCULAR LA POTENCIA RS

$$V_S = V_z + V_{rs}$$

$$V_S - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{V_S - V_z}{R_{rs}} = I_{rs}$$



ESTE ES UN PROCESO BASICAMENTE SENCILLO PARA SABER DE CUANTOS WATTS VAA SER LA RESISTENCIA EN SERIE QUE MANEJEMOS

$$V_S = V_z + V_{rs}$$

$$V_S - V_z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{12 - 9.1}{26.6} = I_{rs}$$

$$109mA = I_s$$

$$P = I^2 R$$

$$P = (.109)^2 (26.6)$$

$$P = .316mW$$

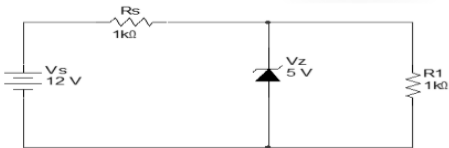
CON LO QUE VEMOS EN EL RESULTADO SOLO TENEMOS QUE USAR UNA RESISTENCIA DE 1/2 WATT O DE 1 WATT

REGULADOR CON ZENER CON CARGA

$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{V_{en} - V_z}{I_s} = R_s$$



$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{V_{en} - V_z}{R_s} = I_s$$

$$V_{en} = V_z + V_{rs}$$

$$V_{en} - V_z = R_s I_s$$

$$\frac{12 - 9.1}{26.60 \times 10^{-3}} = R_s$$

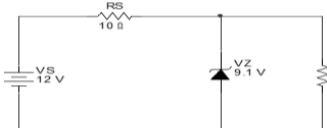
$$26.60 \Omega = R_s$$

$$I_z = \frac{1W}{9.1V}$$

$$I_z = 109mA$$

El diodo zener y la resistencia de carga están en paralelo. La suma de sus corrientes tiene que ser igual ala corriente total, que es la misma que hay en la resistencia en serie.

Tenemos un circuito en el que vamos a regular el voltaje de una carga que funciona a un voltaje mínimo de 9V con una fuente de 12V, ¿que resistencia en serie tenemos que usar si la corriente máxima en el circuito va a ser 300mA?



$$\frac{V_s - V_z}{I_s} = R_s$$

$$\frac{12 - 9.1}{300mA} = R_s$$

$$R_s = 9.6 \approx 10 \Omega$$

Con lo que tendremos que usar una resistencia de 10 ohms

Ahora hallaremos la potencia máxima que soportara el diodo y la resistencia en serie

$$P_R = (.3)^2 (10)$$

$$P_R = .9W \approx 1W$$

$$P_D = (9.1)(.3)$$

$$P_D = 2.73W \approx 3W$$

La resistencia que usaremos será de 10 ohm a 1 watt

Tendremos que usar un diodo que soporte hasta 3 watts, con lo que usaremos un diodo de la serie 1SMB5924BT3, que soporta hasta 3 watts, pero según los datos del fabricante la potencia que realmente soporta son 1.5 watts como muestra en su hoja de datos.

Circuitos Reguladores.

REGULADOR CON DIODO DE ZENER.

Un diodo zener puede utilizarse para regular una fuente de tensión Ver el siguiente circuito:

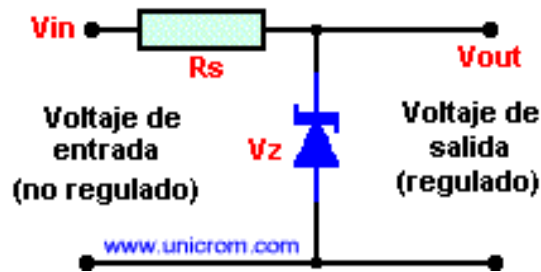


Figura 1.37 Regulador con diodo Zener.

El diodo zener se fabrica en una amplia variedad de voltajes y potencias

Estos van desde menos de 2 voltios hasta varios cientos de voltios, y la potencia que pueden disipar va desde 0.25 watts (vatios) hasta 50 watts (vatios) o más

La potencia que disipa un diodo zener es simplemente la multiplicación del voltaje para el que fue fabricado por la corriente que circula por el.

Esto significa que la máxima corriente que puede atravesar un diodo zener es: $I_z = P_z / V_z$.

Donde:

- I_z = Corriente que pasa por el diodo Zener
- P_z = potencia del diodo zener (dato del fabricante)
- V_z = Voltaje del diodo zener (dato del fabricante)

Ejemplo: La corriente máxima que un diodo zener de 10 Voltios y 50 Watts (vatios), podrá aguantar será: $I_z = P_z / V_z = 50 / 10 = 5$ Amperios

Los diodos Zener mantienen la tensión entre sus terminales prácticamente constante, cuando están polarizados inversamente, en un amplio rango de intensidades y temperaturas, por ello, este tipo de diodos se emplean en circuitos estabilizadores o reguladores de la tensión tal y como el mostrado en la figura 1.38.

Eligiendo la resistencia R y las características del diodo, se puede lograr que la tensión en la carga (R_L) permanezca prácticamente constante dentro del rango de variación de la tensión de entrada V_S .

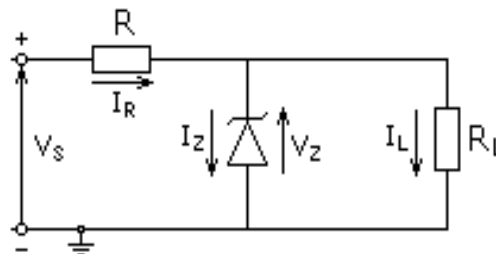


Figura 1.38 circuitos estabilizadores o reguladores de la tensión.

Para elegir la resistencia limitadora R adecuada hay que calcular primero cual puede ser su valor máximo y mínimo, después elegiremos una resistencia R que se adecue a nuestros cálculos.

$$R_{min} = \frac{V_{smax} - V_z}{I_{Lmin} + I_{zmax}} \quad R_{max} = \frac{V_{smin} - V_z}{I_{Lmax} + I_{zmin}}$$

Donde:

1. R_{min} es el valor mínimo de la resistencia limitadora.
2. R_{max} es el valor máximo de la resistencia limitadora.
3. V_{smax} es el valor máximo de la tensión de entrada.
4. V_{smin} es el valor mínimo de la tensión de entrada.
5. V_z es la tensión Zener.
6. I_{Lmin} es la mínima intensidad que puede circular por la carga, en ocasiones, si la carga es desconectable, I_{Lmin} suele tomar el valor 0.
7. I_{Lmax} es la máxima intensidad que soporta la carga.
8. I_{zmax} es la máxima intensidad que soporta el diodo Zener.

I_{zmin} es la mínima intensidad que necesita el diodo zener para mantenerse dentro de su zona zener o conducción en inversa.

Cálculo de la resistencia limitadora R_s .

El cálculo de R_s está determinado por la corriente que pedirá la carga (lo que vamos a conectar a esta fuente). Esta resistencia (resistor) se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$R_s = [V_{en}(\min) - V_z] / 1.1 \times I_L(\max)$$

donde:

- $V_{en}(\min)$: es el valor mínimo del voltaje de entrada. (acordarse que es un voltaje no regulado y puede variar)
- $I_L(\max)$: es el valor de la máxima corriente que pedirá la carga.

Una vez que se obtuvo R_s , se obtiene la potencia máxima del diodo zener, con ayuda de la siguiente fórmula:

$$P_D = [[V_{e}(\min) - V_z] / R_s - I_L(\min)] \times V_z$$

Ejemplo de un diseño:

Una fuente de 15 voltios debe alimentar una carga con 9 Voltios, que consume una corriente que varía entre 200 y 350 mA. (mili amperios). Se escoge un diodo zener de 9.1 voltios pues no hay de 9 y...:

- Cálculo de R_s : $R_s = (15 - 9.1) / (1.1 \times 0.35) = 15$ ohmios (ohms)
- Cálculo de la potencia del diodo zener: $P_D = [(15 - 9.1) / 15] \times 9.1 = 3.58$ watts o vatios.

Como no hay un diodo zener de 3.58 Vatios, se escoge uno de 5 vatios que es el más cercano

- Potencia de R_s : Un cálculo adicional es la potencia de la resistencia R_s . Este se hace con la fórmula: $P = I^2 \times R$

Los datos actuales son: $I(\max) = 350$ miliamperios = 0.35 amperios y $R_s = 15$ Ohmios (ohms) aplicando la fórmula, $P_{Rs} = 0.352 \times 15 = 1.84$ Watts (vatios)

Esto significa que a la hora de comprar esta resistencia (resistor) deberá ser de 2 Watts o más

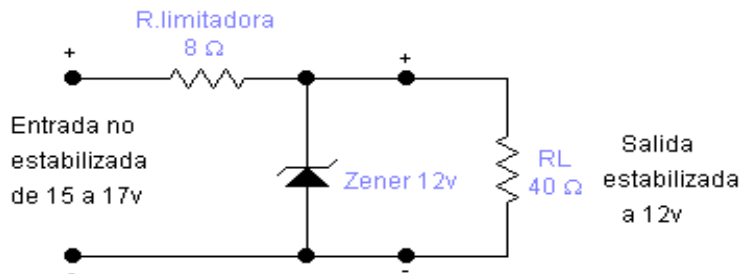


Figura 1.39 Curva característica del diodo Zener.

Analizando la curva del diodo zener se ve, que en el lugar donde se marca como *región operativa*, la corriente (I_r , en la línea vertical inferior) puede variar en un amplio margen, pero la tensión (V_z) varía muy poco. Esta se mantiene aproximadamente en 5.6 V. (para un diodo zener de 5.6 V)

Circuito ejemplo:

El diodo zener se utiliza en los circuitos, con polarización inversa, es decir positivo en el cátodo y negativo en el ánodo.



Continuación de Ejercicios

Diseñe un regulador de voltaje utilizando el circuito mostrado. Suponga que el diodo Zener tiene un voltaje de ruptura de $V_z = 10V$, la fuente de voltaje está en el intervalo $20V < V < 24V$ y la resistencia de carga varía de 100 a 500. Determine R_i y el valor de potencia requerido del diodo Zener.

Solución:

La corriente de carga máxima y mínima son:

$$I_L (\text{máx}) = V_z / R_L (\text{mín}) = 10 \text{ v} / 100 = 100 \text{ mA}$$

$$I_L (\text{mín}) = V_z / R_L (\text{máx}) = 10 \text{ v} / 500 = 20 \text{ mA}$$

Empleando la ecuación de la $I_z (\text{máx})$ se tiene:

$$I_z (\text{máx}) = (I_L (\text{máx}) \times [V(\text{máx}) - (V_z)] - I_L (\text{mín}) \times [V(\text{mín}) - V_z]) / V(\text{mín}) - 0,9V_z - 0,1v (\text{máx}).$$

sustituyendo los valores:

$$I_z (\text{máx}) = (.100) \times (24 - 10) - (.20) \times (20 - 10) / 20 - (0,9) (10) - (0,1)(24) = 140\text{mA}$$

La máxima disipación de potencia en el diodo Zener es:

$$P_z (\text{máx}) = I_z (\text{máx}). V_z = (0.14). (10) = 1.4\text{W}$$

Luego de las ecuaciones siguientes se escoge cualquiera de las dos:

$$R_i = [V (\text{min}) - V_z] / [I_z(\text{min}) + I_L(\text{máx})]$$

$$R_i = [V (\text{máx}) - V_z] / [I_z(\text{máx}) + I_L(\text{min})]$$

Reguladores Lineales

Los reguladores lineales de tensión, también llamados reguladores de voltaje son circuitos integrados diseñados para entregar una tensión constante y estable.

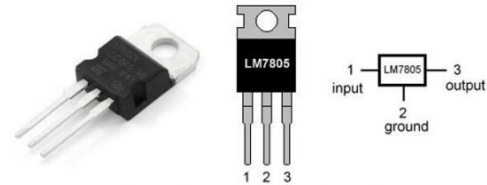
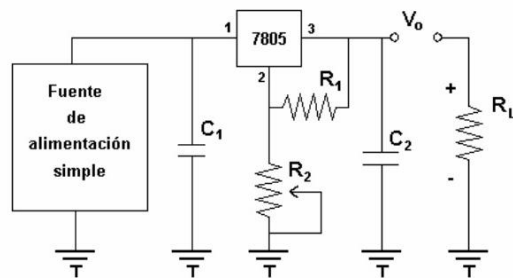


Figura 2.6: Regulador integrado LM7805

Figura 1.40 Diagrama y forma física de un regulador lineal.

El **regulador de voltaje** también conocido como estabilizador de **voltaje** es un dispositivo de protección eléctrica que se encarga de controlar el **voltaje** que reciben tus aparatos, impidiendo el paso de variaciones de tensión dañinas y suministrando un **voltaje** en un rango de operación seguro.

En electrónica, un **regulador lineal** es un regulador de tensión basado en un elemento activo (como un transistor bipolar, transistor de efecto campo o una válvula de vacío) operando en su "zona lineal" (al contrario que un regulador conmutado que está basado en forzar la actuación de un transistor para que funcione como un interruptor on/off) o uno pasivo como un diodo zener operando en su zona de ruptura. El dispositivo regulador está diseñado para actuar como una resistencia variable, ajustada continuamente a una red divisor de tensión para mantener constante una tensión de salida.

La **regulación de línea** es una medida de la capacidad que tiene una fuente de alimentación para mantener la tensión de salida nominal con variación de la tensión de alimentación. Habitualmente la tensión de alimentación es una tensión continua no regulada.

Es decir, una fuente no debe variar la tensión que se le haya requerido independientemente de que la tensión de la línea exterior varíe, siempre que esté dentro de los límites que admite la fuente.

▪ **Introducción Teórica** Un regulador de voltaje proporciona un voltaje de salida de cd constante que es esencialmente independiente del voltaje de entrada, de la corriente de carga de salida y de la temperatura. El regulador de voltaje es parte de una fuente de alimentación, su voltaje de entrada proviene de la salida filtrada de un rectificador producida por un voltaje de ca o por una batería, en el caso de sistemas portátiles. La mayoría de los reguladores de voltaje caen dentro de dos amplias categorías: reguladores lineales (como los que se probarán en esta práctica) y reguladores de conmutación. Los reguladores lineales normalmente están disponibles para voltaje de salida positivo o negativo, fijo o variable. Un regulador doble proporciona salidas tanto positivas como negativas. En la categoría de regulador de conmutación se tienen tres configuraciones generales: reductora, elevadora e inversora. Un regulador de voltaje puede construirse con diversos componentes como amplificadores operacionales, transistores, diodos Zener, etc. como el mostrado en la Figura 1 o pueden utilizarse circuitos integrados específicos para ese fin, hay muchos tipos de reguladores integrados disponibles comercialmente. Los tipos más populares son el regulador de voltaje fijo de tres terminales y el regulador de voltaje ajustable de tres terminales como el LM317 cuyo circuito de conexión se muestra en la Figura 3.

Regulador Transistor El circuito regulador de la Figura 1 contiene un transistor que está conectado como un colector común, la base es mantenida a una tensión constante igual a la tensión del diodo Zener V_Z . La tensión de salida V_o se obtiene con (1).

$$V_o = V_Z - V_{BE} \quad (1)$$

Como la tensión del diodo Zener no varía mucho, la tensión de salida también varía poco y no depende del valor de R_L no cambiarán la tensión de salida de CC.

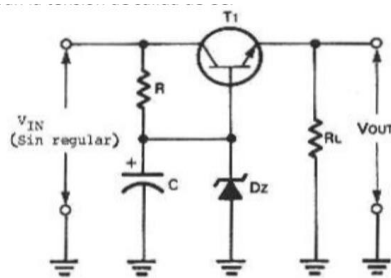


Figura 1. Regulador de voltaje con transistor y zener.

Figura 1.41 Regulador de voltaje con transistor y Zener.

Regulador Transistor Mejorado El circuito regulador puede ser mejorado mediante el uso de una realimentación negativa y de una red de control de la tensión, como lo muestra la Figura 2. El transistor T1 es denominado “transistor de Serie” o “de paso”, porque por él debe pasar la corriente que es suministrada a la carga. El transistor T2 protege a T1 limitando la corriente a un valor seguro. EL resistor R_C y el transistor T3 proveen al circuito una realimentación negativa que ajusta el circuito automáticamente, para evitar los cambios en la tensión de salida.

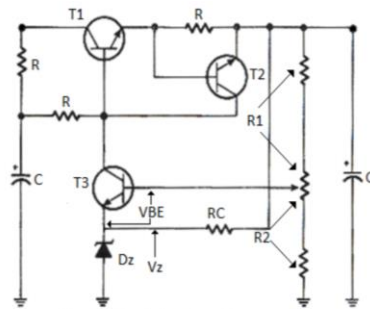


Figura 2. Regulador a transistores completo.

Figura 1.42 Regulador a transistores.

El valor de la tensión de salida puede ser cambiado ajustando el potenciómetro en la red de control de tensión y La tensión de salida V_o se obtiene con (2).

$$V_{out} = R_2 R_1 + R_2 (V_Z + V_{BE}) \quad (2)$$

Regulador en Circuito Integrado LM317. El LM317 es un regulador de tensión positiva ajustable de 3 terminales, capaz de suministrar hasta 1.5 A sobre una gama de tensión de 1.2 a 37 voltios. Para ajustar el valor de la tensión de salida solamente requiere de dos resistores externos, como lo muestra la Figura 1.43. El LM317 provee un desempeño alto, protección contra sobrecarga, limitación de corriente y protección térmica contra sobrecarga. El capacitor de entrada C_1 es necesario si el regulador está ubicado a gran distancia del rectificador. El capacitor C_2 de salida es utilizado para mejorar la respuesta a transitorios. El voltaje de salida se calcula con (3).

$$V_{out} = 1.25 (1 + R_2 / R_1) \quad (3)$$

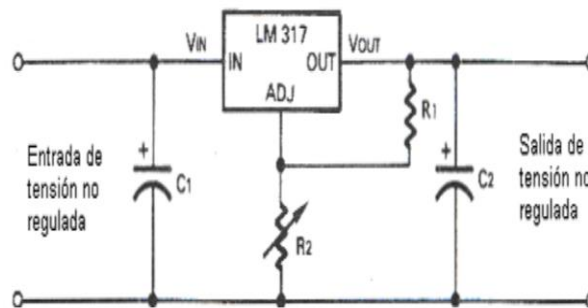


Figura 1.43 Circuito de conexión del regulador de voltaje con C.I. lineal.

1.5 Otros Diodos (Varactor, Schottki, PIN, Avalancha, Gunn, Túnel, LASER, etc.) características y circuitos de aplicación.

Diodo Varactor o Varicap

El diodo Varicap, conocido como diodo de capacidad variable o varactor, es un diodo que aprovecha determinadas técnicas constructivas para comportarse, ante variaciones de la tensión aplicada, como un condensador variable. Polarizado en inversa, este dispositivo electrónico presenta características que son de suma utilidad en circuitos sintonizados (L-C), donde son necesarios los cambios de capacidad.

Los diodos varactores se utilizan como condensadores para almacenar y no para conducir carga. Conduce cuando tiene polarización directa y bloquea (almacena) la carga cuando tiene polarización inversa. Por lo tanto, los diodos varicap se usan solo en polarización inversa y nunca en polarización directa.



Figura 1.44 Símbolo del diodo varicap.

Operación

Cuando un diodo Varicap es polarizado en inversa, se dice que la barrera de potencial o juntura que forman los materiales N y P a partir del punto de unión de las junturas se produce una capacitancia. Visto en forma metafórica y práctica, es el equivalente a dos placas de un condensador que van separándose a medida que la tensión de alimentación se incrementa. Este incremento de tensión provoca una disminución de la capacidad equivalente final en los terminales del diodo (a mayor distancia entre placas, menor capacidad final). Por este motivo queda claro el concepto de que la mayor capacidad que puede brindar un diodo de esta naturaleza se encuentra en un punto de baja tensión de alimentación (no cero), mientras que la mínima capacidad final estará determinada por cuánta tensión inversa pueda soportar entre sus terminales. Sin llegar a valores extremos, los más habituales suelen encontrarse entre 3 o 4 picofaradios y 50 picofaradios para ejemplos como el diodo BB148 de NXP. Con una tensión menor a un voltio alcanza su máxima capacidad, llegando al mínimo valor con 12 o 13V, según podemos ver en la gráfica obtenida de su hoja de datos.

Para poder medir la capacidad de estos diodos se puede recurrir a la fórmula de MBR:

donde C = capacidad del diodo con polarización inversa (Faradios)

V_d = voltaje de polarización inversa del diodo (Voltios), (es la magnitud del voltaje de polarización inversa del diodo, siempre positiva)

$C_d = C$

APLICACIONES DEL DIODO VARACTOR

Algunas aplicaciones de los diodos **varicap** son los siguientes.

sistema de radiofrecuencia – El diodo varactor se usa ampliamente en muchos diseños en sistemas de radiofrecuencia (RF). Un voltaje de control aplicado puede variar la capacitancia dentro de un circuito usando diodos varicap. Esto les da una capacidad excepcional porque los diodos varactores se utilizan en la industria de RF.

Receptores de radio – Los diodos Varicap se utilizan en los receptores de Radio para la sintonización.

multiplicador de frecuencia – Se utiliza en el bucle de enganche de fase para la modulación de frecuencia. Los diodos Varactor ayudan a lograr la modulación de frecuencia. Los diodos varicap juegan un papel vital en los dispositivos de comunicación.

Amplificadores paramétricos – El diodo varicap se utiliza en amplificadores paramétricos como un componente importante. Estos diodos se utilizan en muchos circuitos y dos sectores principales.

Filtros RF – Es posible sintonizar filtros utilizando diodos varactores. Es posible que se requieran filtros de seguimiento en los circuitos del receptor frontal donde los filtros están habilitados para rastrear la frecuencia de las señales recibidas.

Osciladores controlados por voltaje (VCO) – Los VCO se utilizan para muchas aplicaciones y los osciladores dentro de un bucle de sincronización de fase son la región principal. Los osciladores controlados por voltaje (VCO) están presentes en casi todos los receptores y radios inalámbricos. Estos diodos ofrecen un alto voltaje disruptivo, voltajes de polarización de hasta 28 voltios y se pueden aplicar en un amplio rango de sintonización. El voltaje de control debe aplicarse al varactor para no alterar la polarización de la siguiente etapa; generalmente está acoplado capacitivamente como se muestra en la Figura 1.45.

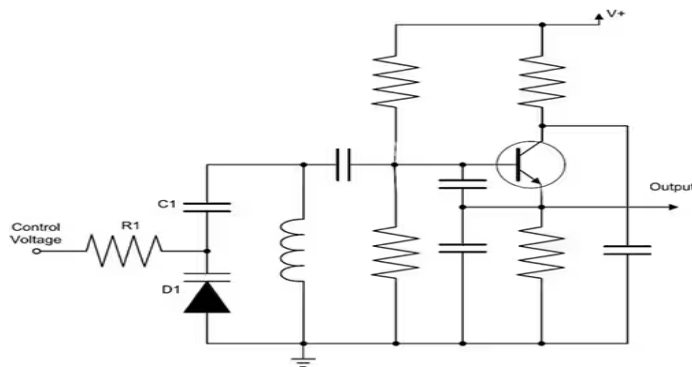


Figura 1.45 Un oscilador sintonizado de varactor CA acopla el varactor, D1, al oscilador a través del condensador C1. La tensión de control se aplica a través de la resistencia R1.

El varactor está acoplado a CA al circuito del tanque oscilador a través de un condensador grande, C1. Esto aísla el varactor, D1, de los voltajes de polarización del transistor, y viceversa. La tensión de control se aplica a través de la resistencia de aislación, R1.

Los varactores pueden reemplazar condensadores variables en otras aplicaciones, como sintonizar filtros de RF o microondas, en moduladores de frecuencia o fase, en desplazadores de fase o en multiplicadores de frecuencia.

Diodo Schottky

El **diodo Schottky** o **diodo de barrera Schottky**, llamado así en honor del físico alemán Walter H. Schottky, es un dispositivo semiconductor que proporciona conmutaciones muy rápidas entre los estados de conducción directa e inversa (menos de 1ns en dispositivos pequeños de 5 mm de diámetro) y muy bajas tensiones umbral (también conocidas como tensiones de codo, aunque en inglés se refieren a ella como "knee", es decir, rodilla).



Figura 1.46 Forma física y símbolo del diodo Schottky.

Funcionamiento

A frecuencias bajas un diodo normal puede conmutar fácilmente cuando la polarización cambia de directa a inversa, pero a medida que aumenta la frecuencia el tiempo de conmutación puede llegar a ser muy alto, poniendo en peligro el dispositivo.

El diodo Schottky está constituido por una unión metal-semiconductor (barrera de Schottky), en lugar de la unión convencional semiconductor P - semiconductor N utilizada por los diodos normales.

Así se dice que el diodo Schottky es un dispositivo semiconductor de "*portador mayoritario*". Esto significa que, si el cuerpo semiconductor está dopado con impurezas tipo N, solamente los portadores tipo N (electrones móviles) desempeñarán un papel significativo en la operación del diodo y no se realizará la recombinación aleatoria y lenta de portadores tipo N y P que tiene lugar en los diodos rectificadores normales, con lo que la operación del dispositivo será mucho más rápida.

Características

La alta velocidad de conmutación permite rectificar señales de muy alta frecuencia y eliminar excesos de corriente en circuitos de alta intensidad.

A diferencia de los diodos convencionales de silicio, que tienen una tensión umbral —valor de la tensión en directa a partir de la cual el diodo conduce de unos 0,7 V, los diodos Schottky tienen una tensión umbral de aproximadamente 0,2 V a 0,4 V empleándose, por ejemplo, como protección de descarga de células solares con baterías de plomo ácido.

La limitación más evidente del diodo de Schottky es la dificultad de conseguir resistencias inversas relativamente elevadas cuando se trabaja con altos voltajes inversos. El diodo Schottky encuentra una gran variedad de aplicaciones en circuitos de alta velocidad para computadoras, donde se necesiten grandes velocidades de conmutación. Además, mediante su baja caída de voltaje en directo, permite su operación con un reducido gasto de energía. Otra aplicación del diodo Schottky es en variadores de frecuencia (*inverters*) y circuitos controladores de motores paso a paso: cuando el circuito controlador efectúa la desconexión de los bobinados del motor estos diodos se encargan de drenar los picos de corriente inductiva que regresan de los bobinados de un motor y devolverlos al bus de continua, para que no quemen los transistores IGBT del *chopper*, destruyendo el dispositivo. Cuando el motor se comporta como generador, la corriente circula hacia el bus de continua a través de los diodos y no es absorbida por los IGBTs.

El diodo Schottky se emplea en varios circuitos integrados de lógica TTL. Por ejemplo los circuitos de las series 74S, LS, ALS y AS (Schottky, Low Power Schottky, Advanced Low Power Schottky, etc.) permiten que los tiempos de conmutación entre los transistores sean

mucho menores, puesto que son más superficiales y de menor tamaño, por lo que se da una mejora en la relación velocidad/potencia. El tipo ALS permite mayor potencia y menor velocidad que la LS, mientras que las AL presentan el doble de velocidad que las Schottky TTL con la misma potencia.

Aplicaciones del Diodo Schottky.

Los diodos Schottky se utilizan ampliamente en la industria electrónica, encontrando muchos usos como diodos rectificadores. Sus propiedades únicas permiten su uso en una serie de aplicaciones en las que otros diodos no podrían ofrecer el mismo nivel de rendimiento. En particular, se utiliza en áreas como:

- **Diodo mezclador y detector de RF:** El diodo Schottky es un componente muy útil para aplicaciones de radiofrecuencia por su alta velocidad de conmutación y su capacidad de alta frecuencia. Por ello, los diodos de barrera Schottky se utilizan en muchos mezcladores de anillo de diodos de alto rendimiento. Además, su baja tensión de conexión y su baja capacidad de unión hacen que este tipo de diodo sea ideal para su uso en detectores de RF.
- **Rectificador de potencia:** Los diodos Schottky también se utilizan como rectificadores de alta potencia. Su alta densidad de corriente y su baja caída de tensión de avance hacen que se desperdicie menos energía que si se utilizaran diodos de unión PN ordinarios. Este aumento de la eficiencia significa que hay que disipar menos calor y que se pueden utilizar disipadores de calor más pequeños, con lo que se ahorra peso y costes.
- **Circuitos de potencia:** Los diodos Schottky pueden utilizarse en aplicaciones en las que una carga es accionada por dos fuentes de alimentación distintas. Un ejemplo puede ser una fuente de alimentación de red y otra de batería. En estos casos es necesario que la energía de una fuente no entre en la otra. Esto puede conseguirse utilizando diodos. Sin embargo, es importante minimizar la caída de tensión en los diodos para garantizar la máxima eficacia. Como en muchas otras aplicaciones, este diodo es ideal para ello por su baja caída de tensión hacia delante. Los diodos Schottky suelen tener una elevada corriente de fuga inversa. Esto puede provocar problemas en los circuitos de detección que se utilicen. Las vías de fuga en circuitos de alta impedancia pueden dar lugar a lecturas falsas. Por lo tanto, esto debe tenerse en cuenta en el diseño del circuito.
- **Aplicaciones en paneles solares:** Los paneles solares suelen estar conectadas a baterías recargables, a menudo baterías de plomo-ácido, porque la energía puede ser necesaria las 24 horas del día y el Sol no está siempre disponible. A los paneles solares no les gusta que se les aplique la carga inversa, por lo que se requiere un diodo en serie con los paneles solares. Cualquier caída de tensión provocará una reducción de la eficiencia y, por tanto, se necesita un diodo de baja tensión. Al igual que en otras aplicaciones, la baja caída de tensión del diodo Schottky es especialmente útil, por lo que es la forma de diodo preferida en esta aplicación.
- El diodo Schottky se utiliza en muchas aplicaciones. Su particularidad es que se utiliza tanto para la detección de señales de muy baja potencia como para la rectificación de alta potencia. Las propiedades del diodo Schottky lo hacen idóneo para su uso en ambos extremos del espectro.
- El diodo Schottky también se utiliza en otros dispositivos, desde fotodiodos hasta MESFET. De este modo, esta forma de diodo no sólo se utiliza en muchos circuitos en su formato discreta, sino que también es una parte esencial de muchos otros componentes y tecnologías.

La otra característica importante de estos diodos es su tiempo de conmutación muy rápido. A diferencia de los diodos estándar que tardan en eliminar la carga de la capa de agotamiento cuando se cambia de una condición de encendido a apagado, el diodo Schottky no tiene una capa de agotamiento asociada con la unión de metal-semiconductor.

Los diodos Schottky tienen voltaje nominal inverso de pico limitado en comparación con los diodos de unión de silicio. Esto generalmente limita su uso a fuentes de alimentación conmutadas de bajo voltaje. El 1N5822RLG de ON Semiconductor tiene una clasificación respetable de pico de voltaje inverso (PRV) de 40 voltios y una corriente directa máxima de 3 A. Se puede aplicar en varias áreas de una fuente de alimentación de modo conmutado (Figura 1.47).

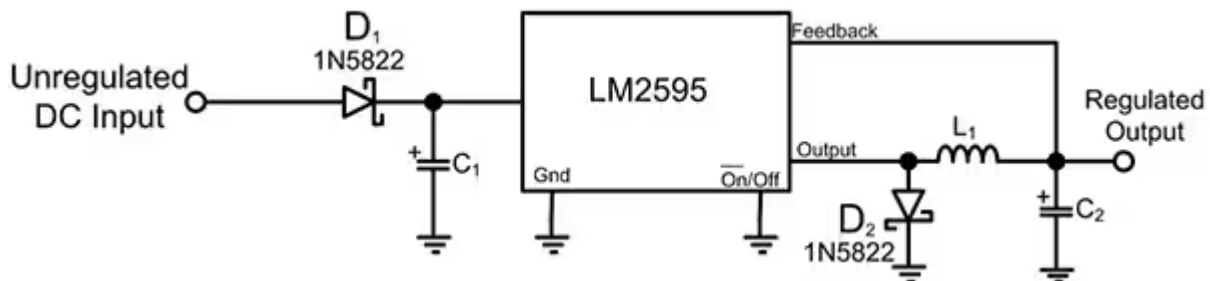


Figura 1.47 Los ejemplos de aplicaciones típicas de diodos Schottky en fuentes de alimentación de modo conmutado incluyen su uso para protección de potencia inversa (D1) y supresión transitoria (D2).

Los diodos Schottky se pueden usar para proteger los circuitos reguladores contra la aplicación accidental de polaridad invertida en la entrada. El diodo D1 cumple ese propósito en el ejemplo. La principal ventaja del diodo en esta aplicación es su baja caída de voltaje directo. Una función más importante para un diodo Schottky, en este caso D2, es proporcionar una ruta de retorno para la corriente a través del inductor, L_1 , cuando el interruptor se apaga. D2 tiene que ser un diodo rápido conectado con un cableado corto de baja inductancia para realizar esta función. Los diodos Schottky proporcionan el mejor rendimiento en esta aplicación para suministros de bajo voltaje.

Los diodos Schottky también encuentran aplicaciones en diseños de RF donde su conmutación rápida, bajas caídas de voltaje directo y baja capacitancia los hacen útiles para detectores e interruptores de muestreo y retención.

DIODO PIN

Se llama **diodo PIN** a una estructura de tres capas, siendo la intermedia semiconductor intrínseco, y las externas, una de tipo P y la otra tipo N (estructura P-I-N que da nombre al diodo). Sin embargo, en la práctica, la capa intrínseca se sustituye bien por una capa tipo P de alta resistividad (π) o bien por una capa n de alta resistividad (v).¹

La amplia región intrínseca contrasta con un diodo p-n ordinario. La amplia región intrínseca hace que el diodo PIN sea un rectificador inferior (una función típica de un diodo p-n), pero lo hace adecuado para ser atenuadores, interruptores rápidos (microondas y RF), fotodetectores y aplicaciones de electrónica de potencia de alto voltaje.¹

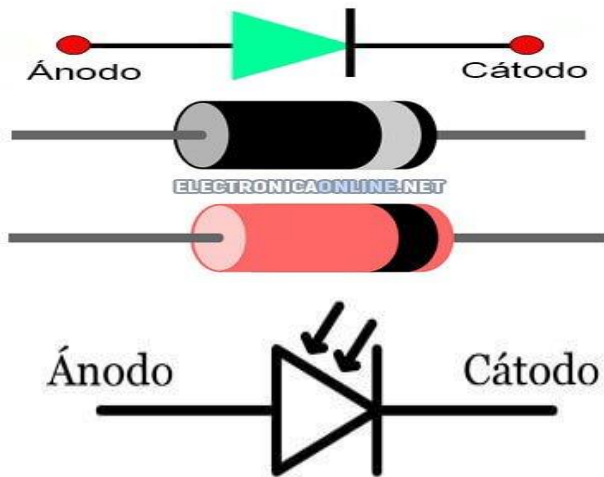


Figura 1.48 Símbolo del Fotodiodo PIN.

La representación simbólica del fotodiodo PIN es la misma que la del diodo de unión p-n estándar, excepto por las flechas hacia abajo sobre el diodo, que indican la luz.

Características del Diodo PIN.

- **Baja Capacitancia:** Como ya hemos comentado un diodo PIN ofrece un menor valor de capacitancia debido a la mayor distancia entre la región p y n. Cuando se aplica un pequeño potencial inverso, la región de agotamiento se agota totalmente. A medida que la región de agotamiento se agota, la capacitancia no mostrará variación con el potencial aplicado. Debido a la presencia de una pequeña cantidad de carga en la región intrínseca.
- **Alta tensión de ruptura:** Debido a la presencia de la región intrínseca, el diodo PIN presenta un valor más alto de tensión de ruptura. Esto es así porque se requiere una tensión más alta para destruir la gruesa región de agotamiento.
- **Sensible a la fotodetección:** La región de agotamiento es la encargada de generar energía cuando la radiación incide sobre su superficie. La existencia de una región intrínseca aumenta el área de absorción de la radiación. De ahí que se utilicen ampliamente como fotodetectores.
- **Almacenamiento de portadores:** Esta es la característica más importante del diodo PIN. La región intrínseca aumenta el área de almacenamiento de portadores. La carga almacenada en la región de agotamiento es responsable de la cantidad de corriente que fluye a través del circuito. Cuando se proporciona una polarización directa al dispositivo, entonces, en este caso, el dispositivo exhibe características de resistencia variable. Por lo tanto, no produce distorsión ni rectificación.

Aplicaciones de los diodos PIN

Fotodiodo PIN

El fotodiodo PIN es uno de los fotodetectores más comunes, debido a que la capa intrínseca se puede modificar para optimizar su eficiencia cuántica y margen de frecuencia, siendo así un material intrínseco semiconductor. Viene dado por tres parámetros característicos:

- Eficiencia cuántica.
- Velocidad de respuesta.

- Ruido del dispositivo.

Conmutador

El diodo PIN se puede utilizar como conmutador de microondas. Tiene capacidad para manejar alta potencia.

Aplicaciones del Diodo PIN

Los diodos pin se utilizan para un gran número de aplicaciones. Algunos de los usos más importantes de este tipo de diodos son:

- **Conmutador de Radiofrecuencia (RF):** Como se ha comentado anteriormente, un diodo PN puede utilizarse como interruptor de RF. Debido a la capa intrínseca entre las uniones PN, el nivel de capacitancia disminuye. Como consecuencia, el nivel de aislamiento se incrementa cuando el diodo recibe una polarización inversa. Esto lo convierte en un conmutador de RF ideal.
- **Rectificador de alta tensión:** Debido a la capa intrínseca, la distancia entre las uniones p-n se incrementa y permite así una mayor tolerancia de voltaje entre las uniones.
- **Fotodetector:** La conversión de la luz en corriente eléctrica depende de la región de agotamiento del fotodiodo. En un diodo PIN, la región de agotamiento se aumenta añadiendo una capa intrínseca entre las uniones p-n. Debido al aumento de la región de agotamiento, el volumen de conversión se incrementa y la eficiencia del fotodiodo también. De ahí que el diodo PIN se utiliza como fotodiodo.

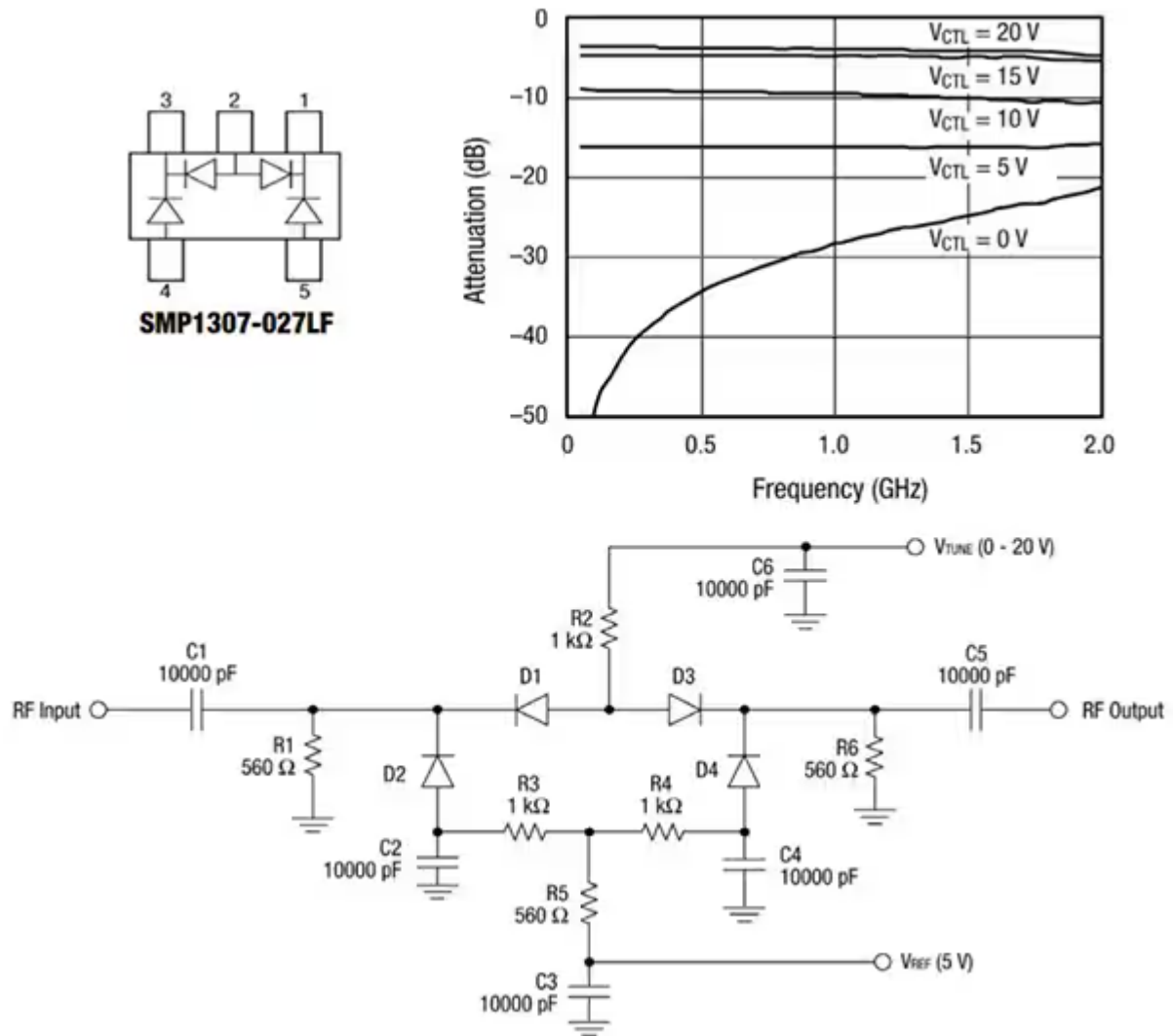


Figura 1.49: Circuito atenuador de diodos PIN basado en la matriz de diodos PIN SMP1307-027LF. El gráfico muestra la atenuación frente a la frecuencia con voltaje de control como parámetro.

La matriz de diodos PIN está diseñada para atenuadores de configuración Pi y Tee de baja distorsión. La resistencia efectiva, R_s , tiene un máximo de 100 Ω a 1 mA y 10 Ω a 10 mA, que se basa en una vida útil del portador de 1,5 microsegundos (μs). Está pensada para aplicaciones de distribución de señal de TV.

Estos diodos de propósito especial se han convertido en pilares de los diseños de circuitos electrónicos al proporcionar una solución elegante a las funciones clave que antes se realizaban con tecnología ahora obsoleta. Los diodos Zener permiten referencias de bajo voltaje; los diodos Schottky reducen las pérdidas de potencia y proporcionan una conmutación rápida; los diodos varactores permiten la sintonización electrónica y reemplazan los condensadores variables mecánicos voluminosos; y los diodos PIN reemplazan los interruptores de RF electromecánicos con interruptores de RF de acción rápida.

Diodo Avalancha

Un **diodo avalancha** es un dispositivo semiconductor diseñado especialmente para trabajar en tensión inversa. En estos diodos, poco dopados, cuando la tensión en polarización inversa alcanza el valor de la tensión de ruptura, los electrones que han saltado a la banda de conducción por efecto de la temperatura se aceleran debido al campo eléctrico incrementando su energía cinética, de forma que al colisionar con electrones de valencia los liberan; éstos a su vez, se aceleran y colisionan con otros electrones de valencia liberándolos también, produciéndose una avalancha de electrones cuyo efecto es incrementar la corriente conducida por el diodo sin apenas incremento de la tensión.

Como el diodo Zener, **diodo de avalancha** es un diodo semiconductor que opera especialmente en la región **de polarización inversa**. Es un tipo de diodo de unión PN que tiene el mismo símbolo que el diodo Zener. El diodo de avalancha está diseñado de tal manera que puede resistir la ruptura de la avalancha sin ser dañado por el aumento repentino y brusco de la corriente inversa.

Se ve que un diodo de unión PN normal se daña debido a un aumento de la temperatura causado por un aumento repentino de la corriente. Para evitar tales daños al diodo en aplicaciones específicas, los diodos de avalancha están diseñados y utilizados.

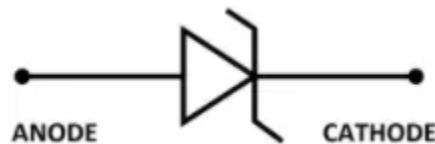


Figura 1.50 Símbolo del diodo de avalancha.

Un diodo de avalancha tiene dos terminales, es decir, ánodo y cátodo. Está hecho de material semiconductor tipo P y tipo N. Funciona en condiciones de polarización inversa.

El dopaje del diodo de avalancha difiere del de un diodo Zener. El diodo de avalancha está ligeramente dopado a diferencia de un diodo Zener y, por lo tanto, forma una capa de agotamiento que tiene un ancho alto. Dado que el ancho de la capa de agotamiento decide el voltaje de ruptura en un diodo. Por lo tanto, el voltaje de ruptura de avalancha ocurre a un voltaje más alto que el voltaje de ruptura de Zener.

FUNCIONAMIENTO DEL DIODO DE AVALANCHA

El funcionamiento del diodo de avalancha en la condición de polarización directa es similar al diodo de unión PN normal. También permite que la corriente fluya en la condición de polarización inversa cuando se aplica un voltaje inverso mayor que el voltaje de ruptura inverso. Esto se debe a la avería de la avalancha. Por lo tanto, generalmente se usa en la condición de reserva sesgada.

El diodo de avalancha está en la condición de polarización inversa, lo que se logra conectando la terminal positiva de la fuente con el material tipo N del diodo y el material tipo P del diodo con la terminal negativa de la fuente.

Cuando se aplica un voltaje inverso a este diodo, una pequeña corriente de fuga inversa fluye a través del diodo debido a los portadores de carga minoritarios. Cuando este voltaje de polarización inversa aumenta aún más, induce un fuerte campo eléctrico en la región de

agotamiento; aumenta la ganancia de energía del portador de carga minoritario. Esto da como resultado el movimiento rápido de los portadores de carga minoritarios.

Estos portadores de carga minoritarios de rápido movimiento chocan con los átomos y separan el electrón de valencia del átomo. Ahora este electrón de valencia se vuelve libre. Este proceso ocurre continuamente. Esto hace que una gran cantidad de electrones se liberen de los átomos. Esto dará como resultado un aumento en la corriente inversa a través de la unión PN. A medida que el voltaje aplicado alcanza el voltaje, conocido como **voltaje de ruptura de avalancha**, el diodo entra en la condición de ruptura. Una gran corriente inversa aumenta rápidamente. Este tipo de desglose donde los transportistas se multiplican se conoce como **desglose de avalancha**. Como la palabra avalancha significa gran masa, la producción de la gran corriente debido a la ruptura de la avalancha se conoce como **corriente de avalancha**.

La característica del diodo de avalancha es casi similar a la del diodo Zener. La ruptura de la avalancha se produce debido a los portadores minoritarios presentes en el cruce. Los diodos de avalancha están contruidos de tal manera que la caída de voltaje que ocurre en la región de ruptura es menor que la caída de voltaje en el diodo Zener.

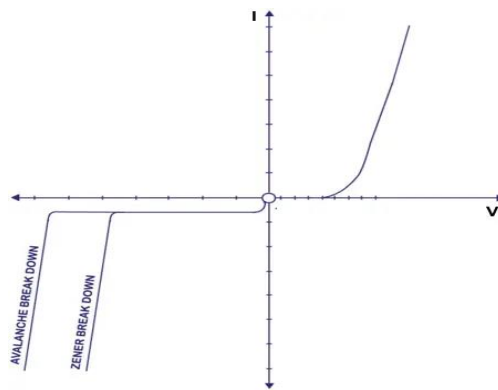


Figura 1.51 La característica IV de un diodo de avalancha.

APLICACIONES DE DIODOS DE AVALANCHA

Las aplicaciones de un diodo de avalancha son

1. Para proteger un circuito, se utiliza el diodo de avalancha. Debido al efecto de avalancha, el diodo exhibe protección contra la alta corriente ascendente.
2. El diodo funciona sin problemas sin dañarse a altas temperaturas.
3. Para proteger los dispositivos conectados al circuito del voltaje excesivo, se conecta un diodo de avalancha al circuito.
4. El diodo de avalancha se utiliza para generar un ruido tranquilo y relajante.
5. En los equipos de radio, estos diodos se utilizan como generadores de ruido para los dispositivos de radiofrecuencia.

6. El diodo de avalancha se utiliza en la detección de frecuencia de microondas, ya que actúa como un dispositivo de resistencia negativa.
7. El diodo de avalancha se utiliza como detector de un solo fotón en varias aplicaciones.
8. Los dispositivos que requieren alta corriente usan diodo de avalancha ya que tiene capacidad de multiplicación de corriente.

Diodo Gunn

El **diodo Gunn** es un tipo de diodo usado en la electrónica de potencia y de alta frecuencia. A diferencia de los diodos ordinarios contruidos con regiones de dopaje P o N, solamente tiene regiones del tipo N, razón por lo que impropiamente se le conoce como diodo. Existen en este dispositivo tres regiones; dos de ellas tienen regiones tipo N fuertemente dopadas y una delgada región intermedia de material ligeramente dopado. Cuando se aplica un voltaje determinado a través de sus terminales, en la zona intermedia el gradiente eléctrico es mayor que en los extremos. Finalmente esta zona empieza a conducir esto significa que este diodo presenta una zona de resistencia negativa.¹

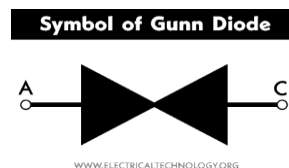


Figura 1.52 Símbolo del diodo Gunn.

La frecuencia de la oscilación obtenida a partir de este efecto, es determinada parcialmente por las propiedades de la capa o zona intermedia del diodo, pero también puede ser ajustada exteriormente. Los diodos Gunn son usados para construir osciladores en el rango de frecuencias comprendido entre los 10 Gigahertz y frecuencias aún más altas (hasta Terahertz). Este diodo se usa en combinación con circuitos resonantes contruidos con guías de ondas, cavidades coaxiales y resonadores YIG (monocristal de granate Itrio y hierro, *Yttrium Iron Garnet* por sus siglas en inglés) y la sintonización es realizada mediante ajustes mecánicos, excepto en el caso de los resonadores YIG en los cuales los ajustes son eléctricos.

Los diodos Gunn suelen fabricarse de arseniuro de galio para osciladores de hasta 200 GHz, mientras que los de nitruro de galio pueden alcanzar los 3 Terahertz.

El dispositivo recibe su nombre del científico británico, nacido en Egipto, John Battiscombe Gunn quien produjo el primero de estos diodos basado en los cálculos teóricos del profesor y científico británico Cyril Hilsum.

Efecto Gunn

El efecto fue descubierto por John B. Gunn en 1963. Este efecto es un instrumento eficaz para la generación de oscilaciones en el rango de las microondas en los materiales semiconductores. Gunn observó esta característica en el arseniuro de galio (GaAs) y el fosfuro de indio (InP).

El efecto Gunn es una propiedad del cuerpo de los semiconductores y no depende de la unión misma, ni de los contactos, tampoco depende de los valores de tensión y corriente y no es afectado por campos magnéticos.

Cuando se aplica una pequeña tensión continua a través de una placa delgada de arseniuro de galio, esta presenta características de resistencia negativa. Todo esto ocurre bajo la condición de que el campo eléctrico aplicado a la placa sea mayor a los 3,3 kilovoltios/cm. Si dicha placa es conectada a una cavidad resonante, se producirán oscilaciones y todo el conjunto se puede utilizar como oscilador.

Este efecto solo se da en materiales tipo N (material con exceso de electrones) y las oscilaciones se dan solo cuando existe un campo eléctrico. Estas oscilaciones corresponden aproximadamente al tiempo que los electrones necesitan para atravesar la placa de material tipo N cuando se aplica la tensión continua.

Funcionamiento de resistencia positiva

El arseniuro de galio es uno de los pocos materiales semiconductores que en una muestra con dopado tipo N, tiene una banda de energía vacía más alta que la más elevada de las que se encuentran ocupadas parcial o totalmente.

Cuando se aplica una tensión a una placa (tipo N) de arseniuro de galio, los electrones, que el material tiene en exceso, circulan y producen corriente. Si se aumenta la tensión, la corriente aumenta.

Funcionamiento de resistencia negativa.

Si a la placa anterior se le sigue aumentando la tensión, se les comunica a los electrones una mayor energía, pero en lugar de moverse más rápido, los electrones saltan a una banda de energía más elevada, que normalmente está vacía, disminuyen su velocidad y, por ende, la corriente. Así, una elevación de la tensión en este elemento causa una disminución de la corriente.

Finalmente, la tensión en la placa se hace suficiente para extraer electrones de la banda de mayor energía y menor movilidad, por lo que la corriente aumentará de nuevo con la tensión. La característica tensión contra corriente se parece mucho a la del diodo túnel.

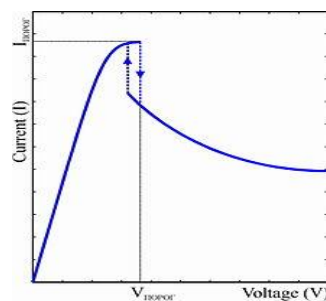


Figura 1.53 Curva característica del diodo Gunn.

Aplicaciones del diodo Gunn

El diodo Gunn se utiliza en una variedad de aplicaciones de alta frecuencia, como la generación de señales de microondas, la detección de radar y la medición de velocidad. Algunas de sus aplicaciones más comunes son:

- Osciladores de microondas: el diodo Gunn se utiliza como fuente de señales de alta frecuencia en osciladores de microondas.
- Detección de radar: el diodo Gunn se utiliza en sistemas de radar para detectar objetos y

medir su velocidad.

– Medición de velocidad: el diodo Gunn se utiliza en sistemas de medición de velocidad, como los utilizados en el control del tráfico aéreo.

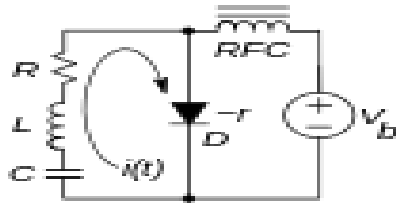


Figura 1.54 Circuito oscilador de diodo Gunn.

Circuito oscilador de resistencia negativa que utiliza un diodo Gunn . Consiste en un circuito resonante en serie (L y C) conectado a través de un diodo Gunn D . Una fuente de voltaje de CC V_b polariza el diodo en su región de resistencia negativa y proporciona energía. Un estrangulador RFC evita que la corriente de señal de CA fluya a través de la fuente de voltaje. R es la resistencia de amortiguamiento equivalente debido a las pérdidas en el circuito sintonizado. Los osciladores de diodo Gunn reales utilizan un circuito resonante en paralelo; este circuito utiliza un circuito resonante en serie porque es más fácil de analizar matemáticamente.

Diodo Túnel

Introducción El diodo túnel, también conocido como diodo Esaki, es un dispositivo semiconductor que presenta características de conducción únicas debido a su mecanismo de "tunelización cuántica". Inventado por Leo Esaki en 1958, este diodo se utiliza en aplicaciones donde se requiere alta velocidad y respuesta a frecuencias muy altas. En este escrito, exploraremos los principios de operación, características, aplicaciones y ventajas del diodo túnel, proporcionando una base sólida para estudiantes de licenciatura en ingeniería electrónica.



Figura 1.55 Símbolo del Diodo túnel.

Principios de Operación El principio de operación del diodo túnel se basa en el fenómeno de tunelización cuántica, donde los electrones pueden atravesar una barrera de potencial en lugar de superar la energía necesaria para cruzarla. Este comportamiento es consecuencia de la mecánica cuántica y no se observa en dispositivos semiconductores convencionales.

Estructura y Fabricación: El diodo túnel se fabrica con una unión pn fuertemente dopada, lo que resulta en una región de deplexión extremadamente delgada. Este alto nivel de dopaje

reduce significativamente la barrera de potencial en la unión, permitiendo que los electrones "túneen" a través de ella.

Aplicaciones del Diodo Túnel

El diodo túnel, con su distintivo comportamiento de resistencia negativa y su capacidad para operar a frecuencias extremadamente altas, se utiliza en diversas aplicaciones avanzadas en la electrónica y las comunicaciones. A continuación, se presentan algunas de las aplicaciones más importantes del diodo túnel.

Oscilador

Los osciladores de alta frecuencia son esenciales en sistemas de comunicaciones, equipos de radiofrecuencia y tecnologías de radar. La región de resistencia negativa del diodo túnel permite la generación de oscilaciones de alta frecuencia con gran estabilidad y eficiencia. Los diodos túnel se emplean en osciladores de microondas y terahercios, donde la alta frecuencia de operación

Dispositivos de memoria

Los diodos túnel están siendo investigados para su uso en dispositivos de memoria de próxima generación, como las memorias de acceso aleatorio no volátiles. Estos dispositivos se benefician de la rápida conmutación y alta densidad de integración de los diodos.

El diodo túnel es un componente versátil y avanzado en la electrónica moderna, con aplicaciones que abarcan desde osciladores de alta frecuencia hasta sistemas de memoria avanzada. Su capacidad para operar a velocidades extremadamente altas y su comportamiento de resistencia negativa lo hacen indispensable en muchas tecnologías emergentes y avanzadas. Para los estudiantes de licenciatura en ingeniería electrónica, comprender las aplicaciones y ventajas del túnel de diodo es esencial para explorar y desarrollar la innovación en el campo de la electrónica

El diodo túnel, debido a su característica única de resistencia negativa y capacidad para operar a frecuencias muy altas, se utiliza en varios circuitos avanzados. A continuación, se presentan algunos de los circuitos más comunes y útiles que emplean diodos túnel, junto con explicaciones sobre su funcionamiento y aplicaciones. ##### 1. Oscilador de Alta Frecuencia Un oscilador de alta frecuencia que utiliza un diodo túnel aprovecha la región de resistencia negativa para generar señales de oscilación. Este tipo de osciladores son esenciales en sistemas de comunicación y equipos de radiofrecuencia. Circuito básico ![Oscilador de diodo túnel]

El circuito mostrado es de una documentación sobre diodos túnel de los años 80. La frecuencia depende de la línea de retardo formada por los resistores y el capacitor. La salida es una señal de poca intensidad.

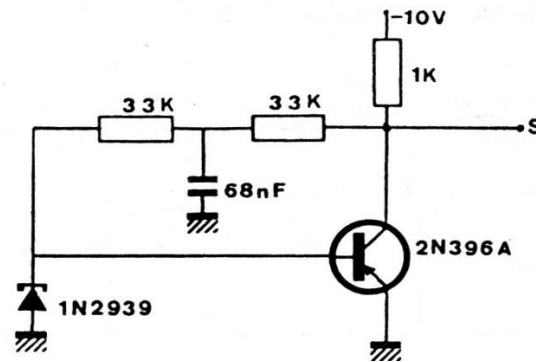


Figura 1.56 Circuito básico Oscilador de diodo túnel.

Diodos Laser

El diodo láser es un dispositivo semiconductor que emite luz coherente a partir de la recombinación de electrones y huecos en una región activa. A diferencia de los LED (diodos emisores de luz) que emiten luz incoherente y dispersa, los diodos láser generan un haz de luz monocromático, coherente y altamente direccional. Esta propiedad los hace ideales para una amplia variedad de aplicaciones tecnológicas y científicas. En este documento, exploraremos los principios de operación, las características clave y las aplicaciones del diodo láser.

El diodo láser es un tipo de diodo semiconductor que emite luz coherente cuando se le aplica una corriente eléctrica. A diferencia de los LED (diodos emisores de luz) que emiten luz incoherente, los diodos láser generan un haz de luz coherente con una longitud de onda específica. Este dispositivo es fundamental en diversas aplicaciones tecnológicas, desde las comunicaciones ópticas hasta los dispositivos de almacenamiento de datos y la medicina.

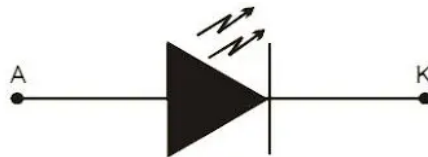


Figura 1.57 Símbolo del diodo Laser.

Principios de Operación

1. **Estructura del Diodo Láser:** Un diodo láser típico consta de una unión p-n con capas adicionales para facilitar la emisión de luz coherente. Las capas semiconductoras se componen generalmente de materiales como arseniuro de galio (GaAs) o fosfuro de indio y galio (InGaP).
2. **Ganancia Óptica:** Al aplicar una corriente a la unión p-n, los electrones y huecos se recombinan en la región activa del diodo. Esta recombinación provoca la emisión de fotones. Si la corriente es suficientemente alta, se alcanza la "condición de umbral", donde la ganancia óptica supera las pérdidas y se inicia la emisión láser.
3. **Cavidad Resonante:** Los diodos láser incorporan una cavidad resonante formada por las superficies reflejantes en las capas del semiconductor. Esta cavidad amplifica la luz emitida y garantiza que solo ciertas longitudes de onda se refuercen, produciendo un haz de luz coherente.

4. **Emisión Estimulada:** La clave del funcionamiento del diodo láser es la emisión estimulada. Cuando un fotón pasa cerca de un electrón excitado, puede inducir que el electrón se recombine y emita un fotón adicional con la misma fase, frecuencia y dirección, amplificando así la luz coherente.

Características del Diodo Láser

1. **Alta Coherencia:** La luz emitida por un diodo láser es altamente coherente, lo que significa que los fotones tienen fases sincronizadas y una longitud de onda bien definida.
2. **Alta Intensidad:** Los diodos láser pueden emitir luz con alta intensidad en comparación con otros dispositivos de emisión de luz.
3. **Direccionalidad:** Los diodos láser producen un haz de luz altamente direccional, ideal para aplicaciones que requieren precisión en la emisión de luz.
4. **Capacidad de Modulación:** Los diodos láser pueden ser modulados a altas velocidades, lo que los hace adecuados para comunicaciones ópticas de alta velocidad.

Aplicaciones del Diodo Láser

1. **Comunicaciones Ópticas**
 - **Fibra Óptica:** Los diodos láser son componentes esenciales en los sistemas de comunicación por fibra óptica, ya que pueden ser modulados a altas velocidades para transmitir grandes volúmenes de datos a largas distancias con mínima pérdida.
 - **Transceptores Ópticos:** Se utilizan en transceptores ópticos para convertir señales eléctricas en señales ópticas y viceversa.
2. **Dispositivos de Almacenamiento de Datos**
 - **Lectores de CD/DVD/Blu-ray:** Los diodos láser son fundamentales en los dispositivos de lectura y escritura de discos ópticos. La alta coherencia y precisión del haz láser permiten la lectura y escritura de datos en los discos con alta densidad.
 - **Memorias Ópticas:** Las futuras tecnologías de almacenamiento pueden aprovechar las capacidades de los diodos láser para desarrollar memorias ópticas de alta densidad.
3. **Medicina**
 - **Cirugía Láser:** Los diodos láser se utilizan en diversos procedimientos quirúrgicos debido a su capacidad para cortar y cauterizar tejido con alta precisión.
 - **Terapia Fotodinámica:** En tratamientos contra el cáncer, los diodos láser se emplean para activar medicamentos fotosensibles que destruyen células cancerosas.
 - **Diagnóstico Médico:** Se utilizan en dispositivos de imagenología, como las tomografías de coherencia óptica (OCT), para obtener imágenes detalladas de tejidos biológicos.
4. **Industria y Manufactura**
 - **Corte y Soldadura Láser:** Los diodos láser se utilizan para cortar y soldar materiales con alta precisión y control, lo que es esencial en la fabricación de componentes electrónicos y mecánicos.
 - **Impresión Láser:** En las impresoras láser, los diodos láser se utilizan para transferir imágenes y texto al tambor fotoconductor.
5. **Tecnología de Consumo**

- **Punteros Láser:** Utilizados en presentaciones y conferencias para señalar información en pantallas y pizarras.
- **Proyectores Láser:** Los diodos láser se emplean en proyectores de alta definición para generar imágenes claras y brillantes.



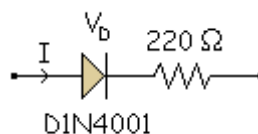
Figura 1.58 Ejemplos de equipos donde se utiliza el diodo laser.

PROBLEMAS U1.

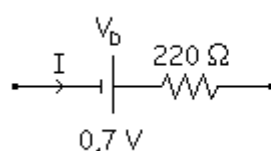
Problema 1

Un diodo está en serie con una resistencia de $220\ \Omega$. Si la tensión en la resistencia es de 4 V , ¿cuál es la corriente por el diodo? Si hemos aplicado la 2ª aproximación, ¿cuál es la potencia disipada en el diodo?

Solución:



Al tomar la 2ª aproximación el diodo es una pila de $0,7\text{ V}$.

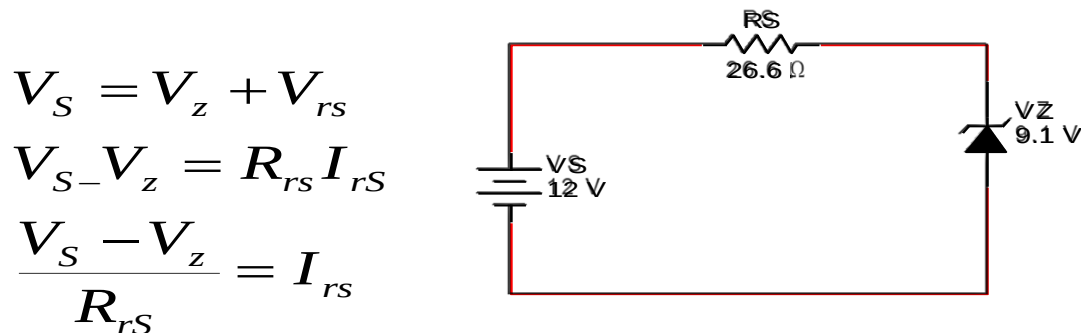


$$I = \frac{4\text{ V}}{220\ \Omega} = 18,2\text{ mA}$$

$$P_D = 0,7\text{ V} \cdot 18,2\text{ mA} = 12,7\text{ mW}$$

Problema 2

CALCULAR LA POTENCIA RS (Resistencia limitadora).del circuito regulador con Zener.



ESTE ES UN PROCESO BASICAMENTE SENCILLO PARA SABER DE CUANTOS WATTS VA A SER LA RESISTENCIA EN SERIE QUE MANEJEMOS

$$V_S = V_Z + V_{rs}$$

$$V_S - V_Z = R_{rs} I_{rs}$$

$$\frac{12 - 9.1}{26.6} = I_{rs}$$

$$109mA = I_s$$

$$P = I^2 R$$

$$P = (.109)^2 (26.6)$$

$$P = .316mW$$

Problema 3

Diseñe un regulador de voltaje utilizando el circuito mostrado. Suponga que el diodo Zener tiene un voltaje de ruptura de $V_Z = 10V$, la fuente de voltaje está en el intervalo $20V < V < 24V$ y la resistencia de carga varía de 100 a 500. Determine R_i y el valor de potencia requerido del diodo Zener.

Solución:

La corriente de carga máxima y mínima son:

$$I_L (\text{máx}) = V_Z / R_L (\text{min}) = 10 \text{ v} / 100 = 100 \text{ mA}$$

$$I_L (\text{min}) = V_Z / R_L (\text{máx}) = 10 \text{ v} / 500 = 20 \text{ mA}$$

Empleando la ecuación de la $I_Z (\text{máx})$ se tiene:

$$I_Z (\text{máx}) = (I_L (\text{máx}) \times [V(\text{máx}) - (V_Z)] - I_L (\text{min}) \times [V(\text{min}) - V_Z] / V(\text{min}) - 0.9V_Z - 0.1 \text{v} (\text{máx}).$$

sustituyendo los valores:

$$I_Z (\text{máx}) = (.100) \times (24 - 10) - (.20) \times (20 - 10) / 20 - (0.9)(10) - (0.1)(24) = 140 \text{ mA}$$

La máxima disipación de potencia en el diodo Zener es:

$$P_Z (\text{máx}) = I_Z (\text{máx}). V_Z = (0.14). (10) = 1.4 \text{ W}$$

Luego de las ecuaciones siguientes se escoge cualquiera de las dos:

$$R_i = [V(\min) - V_z] / [I_z(\min) + I_L(\max)]$$

$$R_i = [V(\max) - V_z] / [I_z(\max) + I_L(\min)]$$

Problema 4

Determinar las corrientes I_1 , I_2 , y I_{D2} para la red de la figura.

Aplicando la LVK:

$$V_2 = 18.6V$$

$$I_2 = V_2 / R_2 = 3.32 \text{ mA}$$

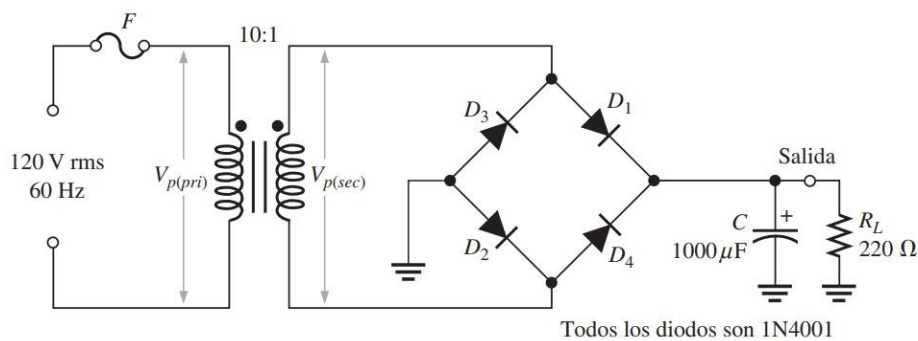
Aplicando la LCK:

$$I_{D2} = 3.108 \text{ mA}$$

$I_1 = V_{T2} / R_1 = 0.7V / 3.3k\Omega$
 $I_1 = 0.212 \text{ mA}$

Problema 5

Determine el factor de rizo para el rectificador de puente filtrado con una carga como se indica en la figura.



Solución La relación de vueltas del transformador es $n = 0.1$. El voltaje pico del primario es

$$V_{p(\text{pri})} = 1.414 V_{\text{rms}} = 1.414(120 \text{ V}) = 170 \text{ V}$$

El voltaje pico del secundario es:

$$V_{p(\text{sec})} = n V_{p(\text{pri})} = 0.1(170 \text{ V}) = 17.0 \text{ V}$$

El voltaje rectificado de onda completa pico sin filtrado es:

$$V_{p(rect)} = V_{p(sec)} - 1.4 \text{ V} = 17.0 \text{ V} - 1.4 \text{ V} = 15.6 \text{ V}$$

La frecuencia de un voltaje rectificado de onda completa es de 120 Hz. El voltaje de rizo pico a pico aproximado a la salida es

$$V_{r(pp)} \cong \left(\frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(rect)} = \left(\frac{1}{(120 \text{ Hz})(220 \Omega)(1000 \mu\text{F})} \right) 15.6 \text{ V} = 0.591 \text{ V}$$

El valor de cd aproximado del voltaje de salida se determina como sigue:

$$V_{CD} = \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)} = \left(1 - \frac{1}{(240 \text{ Hz})(220 \Omega)(1000 \mu\text{F})} \right) 15.6 \text{ V} = 15.3 \text{ V}$$

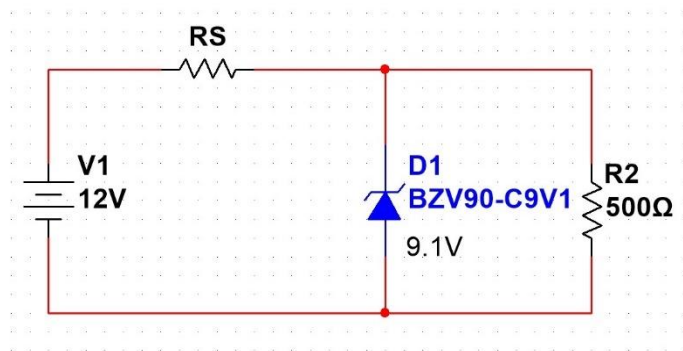
El factor de rizo resultante es

$$r = \frac{V_{r(pp)}}{V_{CD}} = \frac{0.591 \text{ V}}{15.3 \text{ V}} = \mathbf{0.039}$$

Problema propuesto.

Problema 1

Tenemos un circuito en el que vamos a regular el voltaje de una carga que funciona a un voltaje mínimo de 9V con una fuente de 12V, ¿que resistencia en serie tenemos que usar si la corriente máxima en el circuito va a ser 300mA?



Tema 2 Transistor Bipolar (BJT).

Sería imposible entender la evolución de la electrónica digital en general, y de la informática en particular sin una buena comprensión de lo que es, y lo que ha aportado el transistor a estas ciencias.

El transistor de unión bipolar (del inglés Bipolar Junction Transistor, o sus siglas BJT) es un dispositivo electrónico de estado sólido consistente en dos uniones PN muy cercanas entre sí, que permite controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. La denominación de bipolar se debe a que la conducción tiene lugar gracias al desplazamiento de portadores de dos polaridades (huecos positivos y electrones negativos), y son de gran utilidad en gran número de aplicaciones; pero tienen ciertos inconvenientes, entre ellos su impedancia de entrada bastante baja. Los transistores bipolares son los transistores más conocidos y se usan generalmente en electrónica analógica, aunque también en algunas aplicaciones de electrónica digital, como la tecnología TTL o BICMOS: Dispositivo semiconductor que permite el control y la regulación de una corriente grande mediante una señal muy pequeña. Existe una gran variedad de transistores. En principio, se explicarán los bipolares. Los símbolos que corresponden a este tipo de transistor son los siguientes:



Figura 2.1 Símbolos y estructuras de los transistores NPN y PNP.

El transistor es un dispositivo semiconductor de tres capas que consta de dos capas de material tipo N y una de material tipo P o de dos capas de material tipo P y una de material tipo N. El primero se llama transistor NPN y el segundo transistor PNP. Ambos se muestran en la figura 2.1 con la polarización de cd apropiada. La polarización de cd es necesaria para establecer la región de operación apropiada para la amplificación de ca. La capa del emisor está muy dopada, la base ligeramente, y el colector sólo un poco dopado. Los grosores de las capas externas son mucho mayores que las del material tipo P o N central. Para los transistores mostrados en la figura 2.1 la relación entre el grosor total y el de la capa central es de 0.150/0.001 150:1. El dopado de la capa central también es considerablemente menor que el de las capas externas (por lo común de 10:1 o menor). Este menor nivel de dopado reduce la conductividad (incrementa la resistencia) de este material al limitar el número de portadores “libres”. Con la polarización mostrada en la figura 2.1, las terminales se identificaron por medio de las letras mayúsculas E para emisor, C para colector y B para base. La conveniencia de esta notación se pondrá de manifiesto cuando analicemos la operación básica del transistor. La abreviatura BJT (de bipolar junction transistor) se suele aplicar a este dispositivo de tres terminales. El término bipolar refleja el hecho de que huecos y electrones participan en el proceso de inyección hacia

el material opuestamente polarizado. Si se emplea sólo un portador (electrón o hueco), se considera que es un dispositivo unipolar.



Figura 2.2 Tipos de transistores PNP y NPN.

2.1. Características, parámetros y punto de operación.

A continuación, describiremos la operación básica del transistor utilizando el transistor PNP de la figura 2.2a. La operación del transistor NPN es exactamente la misma con los roles de los electrones y huecos intercambiados. En la figura 2.3 se volvió a dibujar el transistor PNP sin polarización entre la base y el emisor. Observe las semejanzas entre esta situación y la del diodo polarizado en directa. El ancho de la región de empobrecimiento se redujo a causa de la polarización aplicada y el resultado fue un intenso flujo de portadores mayoritarios del material tipo P al material tipo N. Eliminemos ahora la polarización de la base al emisor del transistor PNP de la figura 2.2a como se muestra en la figura 2.3a. Considere las semejanzas entre esta situación y la del diodo polarizado en inversa. Recuerde que el flujo de portadores mayoritarios es cero, y el resultado es sólo un flujo de portadores minoritarios, como se indica en la figura 2.3 En suma, por consiguiente: La unión P-N de un transistor se polariza en inversa en tanto que la otra se polariza en directa.

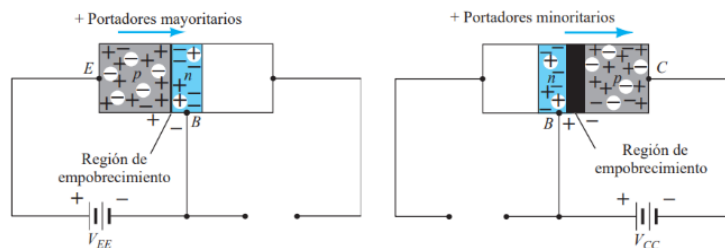


Figura 2.3 Uniones polarizadas en directa y en inversa de un transistor PNP.

En la figura 3.5 se aplicaron ambos potenciales de polarización a un transistor PNP, con los flujos de portadores mayoritarios y minoritarios resultantes indicados. Observe en la figura 3.5 los anchos de las regiones de empobrecimiento donde se ve con claridad cuál unión es polarizada en directa y cual lo está polarizada en inversa. Como se indica en la figura 3.5, una gran cantidad de portadores mayoritarios se difundirá a través de la unión P-N polarizada en directa hacia el material tipo N. La pregunta es entonces si estos portadores contribuirán directamente con la corriente de base I_B o si pasarán directamente al material tipo P. Como el material tipo N central es muy delgado y su conductividad es baja, un número muy pequeño de estos portadores tomarán esta ruta de alta resistencia hacia la base. La magnitud de la corriente de base es por lo general del orden de microamperes, en comparación con los miliamperes de las corrientes del emisor y el colector. El mayor número de estos portadores mayoritarios se difundirá a través de la unión polarizada en inversa hacia el material tipo n conectado al colector

como se indica en la figura 3.5. La razón de la facilidad relativa con que los portadores mayoritarios pueden atravesar la unión polarizada en inversa es fácil de entender si consideramos que en el caso del diodo polarizado en inversa los portadores mayoritarios inyectados aparecerán como portadores minoritarios en el material tipo P. En otras palabras, ha habido una inyección de portadores minoritarios en el material tipo n de la región de la base. Si se combina esto con el hecho de que todos los portadores minoritarios de la región de empobrecimiento atravesarán la unión polarizada en inversa de un diodo explica el flujo indicado en la figura 3.5.

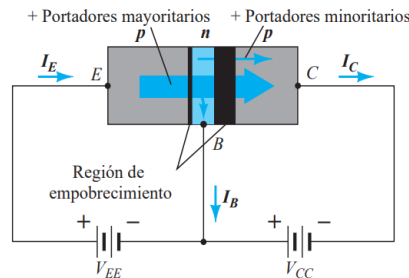


Figura 2.4 Flujo de portadores mayoritarios y minoritarios de un transistor PNP.

Aplicando la ley de las corrientes de Kirchhoff al transistor de la figura 2.4 como si fuera un nodo único obtenemos:

$$I_E = I_C + I_B$$

y hallamos que la corriente en el emisor es la suma de las corrientes en el colector y la base. La corriente del colector, sin embargo, consta de dos componentes, los portadores mayoritarios y los minoritarios como se indica en la figura 2.4. El componente de corriente de portadores minoritarios se llama corriente de fuga y se le da el símbolo I_{CO} [corriente I_C con el emisor abierto (Open)]. La corriente del colector, por consiguiente, está determinada en su totalidad por:

$$I_C = I_{C \text{ mayoritarios}} + I_{CO \text{ minoritarios}}$$

Para transistores de uso general, I_C se mide en miliamperes e I_{CO} en microamperes o nanoamperes. I_{CO} , como la I_s para un diodo polarizado en inversa, es sensible a la temperatura y hay que examinarla con cuidado cuando se consideren aplicaciones de amplios intervalos de temperatura. Puede afectar severamente la estabilidad de un sistema a alta temperatura si no se considera como es debido. Mejoras en las técnicas de construcción han reducido significativamente los niveles de I_{CO} , al grado en que su efecto a menudo puede ser ignorado.

2.2. Configuraciones de polarización.

Una polarización correcta permite el funcionamiento de este componente. No es lo mismo polarizar un transistor NPN que PNP.

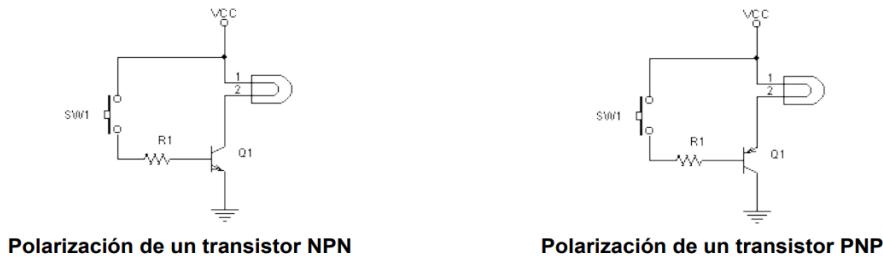


Figura 2.5 Configuración de polarización del transistor NPN y PNP.

Generalmente podemos decir que la unión base - emisor se polariza directamente y la unión base-colector inversamente. Para que un transistor bipolar funcione adecuadamente, es necesario polarizarlo correctamente. Para ellos se debe cumplir que:

- La juntura BASE - EMISOR este polarizado directamente, y
- La juntura COLECTOR – BASE este polarizado inversamente.

Ejemplo: Si el transistor es NPN, la base debe tener un voltaje positivo con respecto al emisor y el colector debe tener un voltaje también positivo, pero, mayor que el de la base. En el caso de un transistor PNP debe ocurrir lo contrario.

NPN

NPN es uno de los dos tipos de transistores bipolares, en los cuales las letras "N" y "P" se refieren a los portadores de carga mayoritarios dentro de las diferentes regiones del transistor. La mayoría de los transistores bipolares usados hoy en día son NPN, debido a que la movilidad del electrón es mayor que la movilidad de los "huecos" en los semiconductores, permitiendo mayores corrientes y velocidades de operación. Los transistores NPN consisten en una capa de material semiconductor dopado P (la "base") entre dos capas de material dopado N. Una pequeña corriente ingresando a la base en configuración emisor-común es amplificada en la salida del colector. La flecha en el símbolo del transistor NPN está en la terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.

PNP

El otro tipo de transistor de unión bipolar es el PNP con las letras "P" y "N" refiriéndose a las cargas mayoritarias dentro de las diferentes regiones del transistor. Pocos transistores usados hoy en día son PNP, debido a que el NPN brinda mucho mejor desempeño en la mayoría de las circunstancias. Los transistores PNP consisten en una capa de material semiconductor dopado N entre dos capas de material dopado P. Los transistores PNP son comúnmente operados con el colector a masa y el emisor conectado al terminal positivo de la fuente de alimentación a través de una carga eléctrica externa. Una pequeña corriente circulando desde la base permite que una corriente mucho mayor circule desde el emisor hacia el colector. La flecha en el transistor PNP está en el terminal del emisor y apunta en la dirección en la que la corriente convencional circula cuando el dispositivo está en funcionamiento activo.

Condiciones de Funcionamiento.

Las condiciones normales de funcionamiento de un transistor NPN se dan cuando el diodo B-E se encuentra polarizado en directa y el diodo B-C se encuentra polarizado en inversa. En esta

situación gran parte de los electrones que fluyen del emisor a la base consiguen atravesar ésta, debido a su poco grosor y débil dopado, y llegar al colector.

El transistor posee tres zonas de funcionamiento:

1. Zona de saturación: El diodo colector está polarizado directamente y el transistor se comporta como una pequeña resistencia. En esta zona un aumento adicional de la corriente de base no provoca un aumento de la corriente de colector, ésta depende exclusivamente de la tensión entre emisor y colector. El transistor se asemeja en su circuito emisor-colector a un interruptor cerrado.
2. Zona activa: En este intervalo el transistor se comporta como una fuente de corriente, determinada por la corriente de base. A pequeños aumentos de la corriente de base corresponden grandes aumentos de la corriente de colector, de forma casi independiente de la tensión entre emisor y colector. Para trabajar en esta zona el diodo B-E ha de estar polarizado en directa, mientras que el diodo B-C, ha de estar polarizado en inversa.
3. Zona de corte: El hecho de hacer nula la corriente de base, es equivalente a mantener el circuito base emisor abierto, en estas circunstancias la corriente de colector es prácticamente nula y por ello se puede considerar el transistor en su circuito C-E como un interruptor abierto.

Los transistores se usan en su zona activa cuando se emplean como amplificadores de señales. Las zonas de corte y saturación son útiles en circuitos digitales.

2.2.1. Emisor Común.

La configuración de transistor que más frecuentemente se encuentra aparece en la figura 2.6 para los transistores PNP y NPN. Se llama configuración en emisor común porque el emisor es común o sirve de referencia para las terminales de entrada y salida (en este caso es común para las terminales base y colector). De nueva cuenta se requieren dos conjuntos de características para describir plenamente el comportamiento de la configuración en emisor común: uno para el circuito de entrada o de base-emisor y uno para el circuito de salida o de colector-emisor. Ambos se muestran en la figura 2.6.

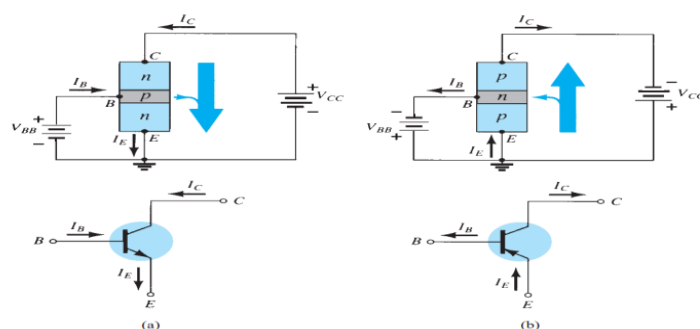


Figura 2.6 Notación y símbolos utilizados con la configuración en emisor común.

Polarización por emisor común

En este tipo de circuito, la señal de entrada se aplica en la base del transistor, mientras que el emisor se conecta a la terminal de tierra y es común para los circuitos de entrada y salida; finalmente, la señal de salida del circuito se obtiene

en el colector. Observa que la figura 10A corresponde a un circuito de emisor común con un transistor tipo NPN, en tanto que la figura 10B corresponde al mismo tipo de circuito, pero con un transistor tipo PNP.

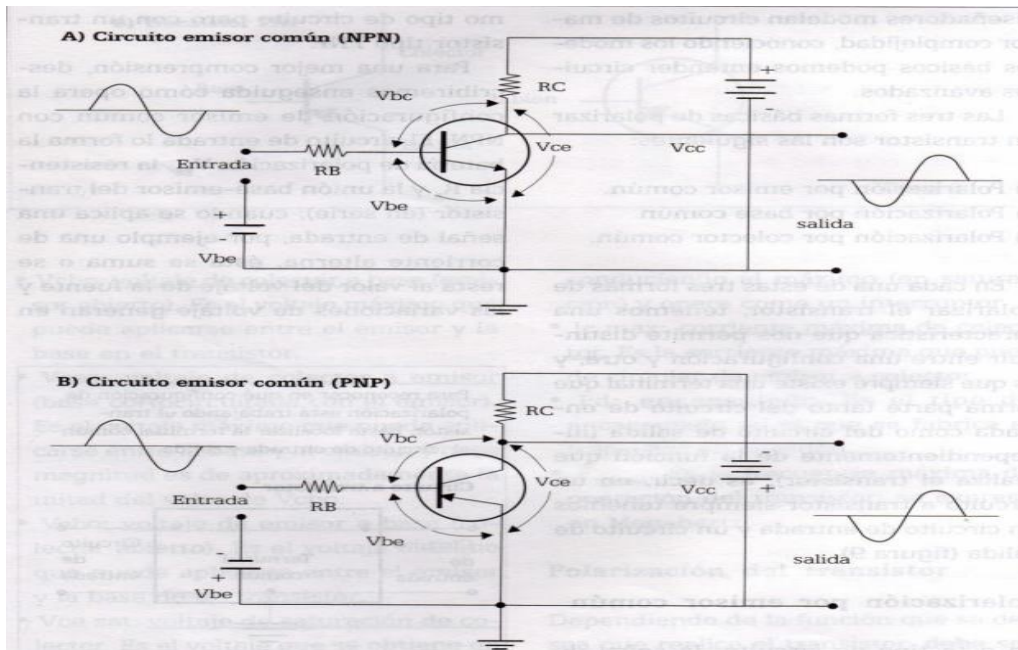


Figura 2.7 Circuito emisor común NPN(A) y PNP(B).

Para una mejor comprensión, describiremos enseguida cómo opera la configuración de emisor común con NPN. El circuito de entrada lo forma la batería de polarización V_{be} la resistencia R_B y la unión base-emisor del transistor (en serie); cuando se aplica una señal de entrada, por ejemplo, una de corriente alterna, ésta se suma o se resta al valor del voltaje de la fuente y las variaciones de voltaje generan en la unión base-emisor el incremento o decremento en la conducción de la corriente eléctrica (o portadores dentro del material).

El circuito de salida está formado por la batería V_{cc} , el transistor de emisor a colector y la resistencia R_C (en serie).

Hay que destacar que los voltajes que se manejan en el circuito de entrada son pequeños en comparación con los voltajes del circuito de salida, al igual que el de las baterías.

La conducción del transistor de emisor a colector y del circuito de salida dependen de la cantidad de portadores que se producen en la base: a menor cantidad de portadores, menor es la corriente eléctrica en el circuito de salida. Y como la generación de portadores en la base depende de las variaciones de la señal de entrada, entonces, el circuito de salida sigue estas variaciones, pero entregando una corriente y un voltaje mucho más grande que el de la señal de entrada.

La operación del transistor la podemos entender mediante la siguiente analogía (figura 2.8): imaginemos que por una tubería circula un flujo constante de agua, y que para controlarlo se coloca una llave de paso; lógicamente, cuando ésta se cierra se reduce el flujo de agua que logra pasar al otro lado de la llave y cuando se abre entonces aumenta el líquido que pasa.

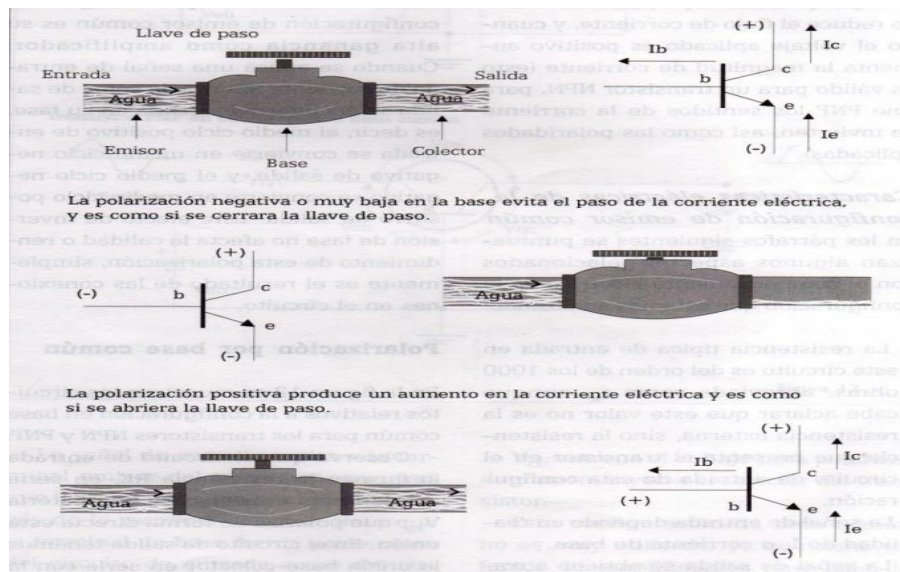


Figura 2.8 Analogía con un sistema hidráulico.

El control del flujo de la llave es parecido al efecto de la base del transistor sobre la corriente eléctrica que circula de emisor a colector, cuando la base se polariza negativamente o el voltaje aplicado es pequeño entonces se reduce el flujo de corriente, y cuando el voltaje aplicado es positivo aumenta la magnitud de corriente (esto es válido para un transistor NPN, para uno PNP los sentidos de la corriente se invierten, así como las polaridades aplicadas).

Características eléctricas de la configuración de emisor común.

En los párrafos siguientes se puntualizan algunos aspectos relacionados con el comportamiento eléctrico de la configuración que estamos analizando:

La resistencia típica de entrada en este circuito es del orden de los 1000 ohms, abreviada como r_i , aunque cabe aclarar que este valor no es la resistencia externa, sino la resistencia que presenta el transistor en el circuito de entrada de esta configuración.

La señal de entrada depende en realidad de I_b o corriente de base.

La señal de salida se obtiene a través del terminal colector.

El voltaje V_{cc} polariza de manera inversa al colector.

La resistencia típica del circuito de salida es del orden de los 50 a 60 Kilohms.

El voltaje de polarización de emisor a base es positivo, es decir, se polariza de forma directa.

Una característica que distingue a la configuración de emisor común es su alta ganancia como amplificador. Cuando se aplica una señal de entrada de corriente alterna, la señal de salida se encuentra invertida en su fase, es decir, el medio ciclo positivo de entrada se convierte en medio ciclo negativo de salida, y el medio ciclo negativo se convierte en medio ciclo positivo de salida. Este efecto de inversión de fase no afecta la calidad o rendimiento de esta polarización, simplemente es el resultado de las conexiones en el circuito.

2.2.1.1. Polarización fija.

Este es el tipo más sencillo de polarización. Esta no posee resistencia en el emisor, pues este se encuentra conectado directamente a tierra, las corrientes son mostradas en la siguiente gráfica, al igual que las fórmulas de apoyo para este análisis. A través del estudio del circuito de polarización, se logra obtener el punto de operación, siempre se debe buscar una de las corrientes y utilizar las relaciones que existen para hallar las faltantes, por lo general la corriente de base es la primera que se determina.

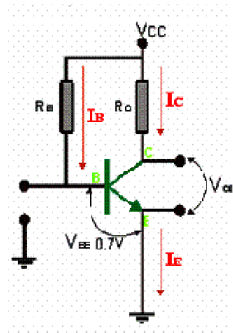


Figura 2.9 Circuito general de polarización fija.

Analizaremos a continuación la malla que va de base (empezando con V_{CC}) a emisor (tierra del circuito), teniendo en cuenta:

- El sentido de la flecha que indica la dirección de la corriente y determina la polaridad, en este caso se tomará el signo de donde sale.
- La caída de voltaje en la resistencia de base, expresado a través de la ley de ohm
- La caída de voltaje presente entre las terminales de base y emisor del transistor, la cual es igual a 0.7V

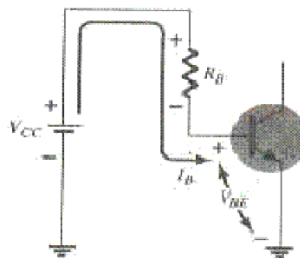


Figura 2.10 Recorrido malla base-emisor.

La malla base-emisor de acuerdo a la figura mostrada anteriormente, sería:

$$V_{CC} - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

Si despejamos la corriente de la base de la expresión anterior, quedaría:

$$I_B = (V_{CC} - V_{BE}) / R_B$$

Conociendo esta corriente de base se puede hallar fácilmente la de colector y la de emisor, a través de las fórmulas que las relacionan que incluyen parámetros de α y β . Si se tiene el valor de las corrientes es fácil determinar los voltajes de base, colector y emisor y finalmente hallar el modo de operación del transistor analizando los resultados de los voltajes de VBC y VBE.

Por otra parte, si se aplica la ley de voltaje de Kirchhoff en la sección de colector-emisor planteada en la figura, teniendo en cuenta la dirección indicada de la corriente I_C , se obtendría la siguiente expresión:

$$V_{CC} - I_C R_C - V_C = 0$$

El voltaje VCE es igual a VC porque al emisor está conectado directamente a tierra presentando una caída de 0V, entonces:

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

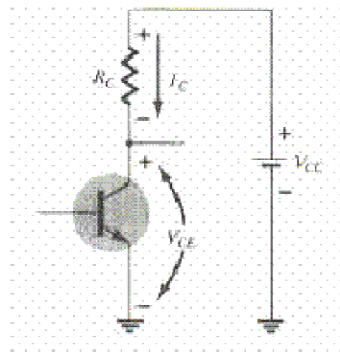


Figura 2.11 Malla colector-emisor.

Un parámetro muy importante, para el buen funcionamiento de este tipo de circuitos es la corriente máxima que puede soportar el transistor, la cual es denominada I_{Csat} . Las condiciones de saturación se evitan por lo general debido a que la unión de base a colector ya no está inversamente polarizada y la señal amplificada de salida estará distorsionada. Si se necesita conocer la corriente máxima de colector aproximada (nivel de saturación) para un diseño en particular, simplemente inserte un corto circuito equivalente entre el colector y el emisor del transistor y calcule la corriente de colector resultante. Quedando la ecuación:

$$I_{Csat} = V_{CC} / R_C$$

Después de obtener todas las corrientes y voltajes se pueden hallar el punto de operación del transistor, que no es mas que la pareja ordenada de (V_{CE}, I_C) , y el modo de operación del transistor a través de la inspección de VBE y VBC.

2.2.1.2. Polarización de emisor.

La polarización del emisor es una técnica esencial en el diseño de circuitos electrónicos que utilizan transistores bipolares de unión (BJT). Esta técnica se emplea para estabilizar el punto de operación del transistor y asegurar su funcionamiento en la región activa, permitiendo así la amplificación lineal de señales. La polarización del emisor es crucial para mejorar la estabilidad térmica del circuito y minimizar las variaciones de corriente debidas a cambios en

la temperatura. En este escrito, exploraremos los principios de la polarización del emisor, su configuración de circuito y sus beneficios en el diseño de amplificadores.

Principios de la Polarización del Emisor

1. Concepto Básico:

- La polarización del emisor implica el uso de un resistor en serie con el emisor del transistor. Este resistor proporciona una caída de voltaje que es proporcional a la corriente de emisor, estabilizando así la operación del transistor.
- El uso de un resistor de emisor (R_E) introduce una retroalimentación negativa en el circuito, lo que ayuda a mantener el punto de operación del transistor estable frente a variaciones en la temperatura y en el suministro de voltaje.

2. Funcionamiento:

- Cuando la temperatura del transistor aumenta, la corriente de fuga del colector (I_C) también aumenta. Sin una adecuada polarización, esto podría llevar al transistor a la saturación.
- Con un resistor de emisor presente, un incremento en I_C provoca un aumento en la caída de voltaje a través de R_E . Esto reduce el voltaje base-emisor (V_{BE}), disminuyendo la corriente de base (I_B) y compensando el aumento inicial en I_C .

Configuración del Circuito de Polarización del Emisor

1. Elementos del Circuito:

- **Fuente de Voltaje (V_{CC}):** Suministra el voltaje necesario para el funcionamiento del circuito.
- **Resistor de Base (R_B):** Controla la corriente que fluye hacia la base del transistor.
- **Resistor de Colector (R_C):** Determina el voltaje en el colector y ayuda a establecer el punto de operación del transistor.
- **Resistor de Emisor (R_E):** Proporciona estabilidad térmica y retroalimentación negativa.

2. Circuito Típico:

- La fuente de voltaje V_{CC} se conecta al colector a través del resistor R_C .
- La base se polariza mediante un divisor de voltaje formado por R_{B1} y R_{B2} o mediante una resistencia única R_B .
- El emisor se conecta a tierra a través del resistor R_E .

Cálculos del Circuito

1. Corriente de Base (I_B):

- La corriente de base se calcula utilizando la ecuación:

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B$$

- donde V_{BB} es el voltaje en la base y V_{BE} es el voltaje base-emisor ($\sim 0.7V$ para un transistor NPN).

2. Corriente de Emisor (I_E):

- La corriente de emisor está relacionada con la corriente de colector (I_C) y la corriente de base (I_B) por la ecuación:

$$I_E = I_C + I_B \approx I_C$$

3. Voltaje en el Emisor (VE):

- El voltaje en el emisor se determina mediante:

$$V_E = I_E R_E$$

4. Voltaje Colector-Emisor (VCE):

- La tensión en el colector se calcula mediante:

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

Beneficios de la Polarización del Emisor

1. Estabilidad Térmica:

- La polarización del emisor mejora significativamente la estabilidad térmica del circuito. La retroalimentación negativa introducida por R_E compensa las variaciones de corriente debidas a cambios en la temperatura.
- Esto es especialmente importante en aplicaciones donde las condiciones de temperatura pueden variar considerablemente.

2. Mejora de la Linealidad:

- La presencia de R_E ayuda a mejorar la linealidad del amplificador al reducir la distorsión no lineal.
- Esto es crucial en aplicaciones de amplificación de señales de audio y RF, donde la fidelidad de la señal es importante.

3. Simplificación del Diseño:

- La polarización del emisor facilita el diseño de amplificadores al proporcionar un método sencillo y efectivo para estabilizar el punto de operación del transistor.
- Esto reduce la necesidad de ajustes precisos y simplifica el proceso de diseño.

Aplicaciones

1. Amplificadores de Señal:

- La polarización del emisor es ampliamente utilizada en amplificadores de señal debido a su capacidad para proporcionar una amplificación lineal y estable.
- Es común en amplificadores de audio, RF y otros circuitos de amplificación de señales pequeñas.

2. Sistemas de Comunicación:

- En sistemas de comunicación, la estabilidad y linealidad proporcionadas por la polarización del emisor son cruciales para mantener la integridad de la señal transmitida.
- Se utiliza en etapas de amplificación en transmisores y receptores de radio y telecomunicaciones.

3. Circuitos Electrónicos Generales:

- La polarización del emisor se encuentra en una variedad de circuitos electrónicos, incluidos los osciladores, mezcladores y circuitos de control de potencia.

- Su versatilidad y eficacia la hacen una técnica esencial en el diseño de circuitos electrónicos.

Circuito de polarización estabilizado por emisor: anteriormente analizamos el comportamiento del transistor BJT en polarización fija. Para este tipo de polarización hay que mencionar que el punto Q no es muy estable y que a medida que el transistor este trabajando, este punto tiende a desplazarse. Para compensar las variaciones de tensión y corriente que se producen en el transistor, podemos agregar una resistencia en el emisor.

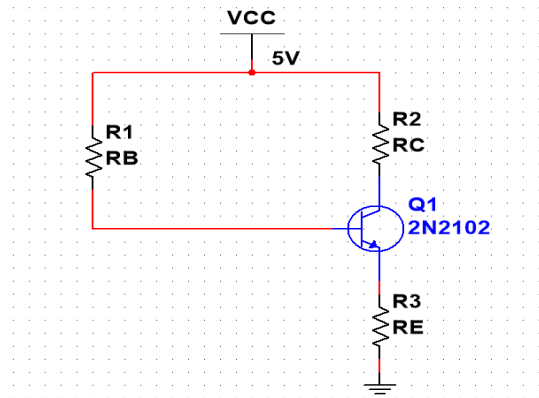


Figura 2.12 Circuito estabilizado por emisor.

Si lo que queremos es mantener el mismo punto Q del circuito anterior (polarización fija), debemos recalcular las resistencias de base y colector, y calcular la nueva resistencia de emisor.

Desde el punto de vista teórico podríamos hallar éstos valores desarrollando nuestras ecuaciones de malla en el circuito, aunque también podemos hacer uso de ciertos criterios de diseño que nos permiten simplificar nuestras ecuaciones, dichos criterios son válidos pues tienen como finalidad asegurar una mayor estabilidad del punto de trabajo. Para nuestro caso el principal criterio de diseño que utilizaremos es el siguiente: el voltaje en la resistencia de emisor (V_{RE}) debe ser menor o igual a la décima parte del voltaje de la fuente (V_{CC}), para los cálculos teóricos asumiremos la relación de igualdad, entonces: $V_{RE} = V_{CC}/10$.

Si además tenemos como dato el punto Q (V_{CEQ} y I_{CQ}), la beta del transistor (β) y las resistencias de base (R_B) y colector (R_C) anteriores, podemos hallar los nuevos valores R_B' y R_C' , así como R_E .

Sabemos que: $V_{RE} = I_{EQ} \cdot R_E$

además, $I_{EQ} = [(1+\beta)/\beta] \cdot I_{CQ}$

entonces, $R_E = [(b/1+b)] \cdot (V_{CC}/10I_{CQ})$

De la ecuación de la recta :

$$I_C = - [1/\{R_C' + [(1+\beta)/\beta] \cdot R_E\}] \cdot V_{CE} + [1/\{R_C' + [(1+\beta)/\beta] \cdot R_E\}] \cdot V_{CC}$$

podemos concluir que para que se mantenga el mismo punto de trabajo, la pendiente

no debe cambiar, por lo tanto se debe cumplir que:

$$RC' + [(1+b)/b] * RE = RC$$

de donde despejamos:

$$RC' = RC - [(1+b)/b] * RE$$

Haciendo un análisis similar en la malla de entrada, podemos encontrar la siguiente relación:

$$RB' = RB - (1+b) * RE$$

La polarización estabilizada por emisor, presenta una mejor estabilidad que la polarización fija. Esta polarización tiene una mayor estabilidad de funcionamiento que la polarización de base y de colector, gracias al efecto de la realimentación negativa y a la independencia de las mallas de base

y colector. Si la ganancia de corriente del transistor aumentase, debido a un cambio

De temperatura o sustitución del transistor por otro de β mayor; las corrientes de colector y emisor aumentarán también. Esto generará un aumento de la caída de tensión en RE . Al estar la tensión de base fijada, de forma independiente, por $R1$ y $R2$ provocará una disminución del valor de veces decir, tenderá a llevar el transistor más hacia el corte que hacía saturación.

2.2.1.3. Polarización por divisor de voltaje.

Es el tipo de polarización a la que le afecta en menor proporción los cambios de beta frente a la temperatura, su punto de operación llega a ser casi independiente de las variaciones del factor de amplificación. Figura 71.

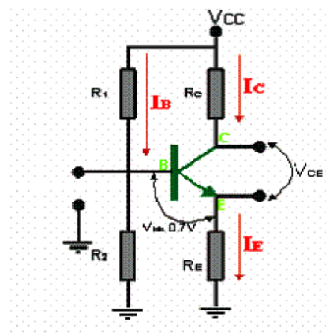


Figura 2.13 Polarización por divisor de voltaje.

Observamos que la base cuenta con dos resistencias que se encuentran en paralelo, para analizar esta red es necesario hallar la caída de voltaje en $R2$ (a través de un divisor de voltaje), que será el voltaje equivalente al momento de realizar la malla y hallar el equivalente thevenin de las resistencias (resistencias en paralelo), como se muestra a continuación:

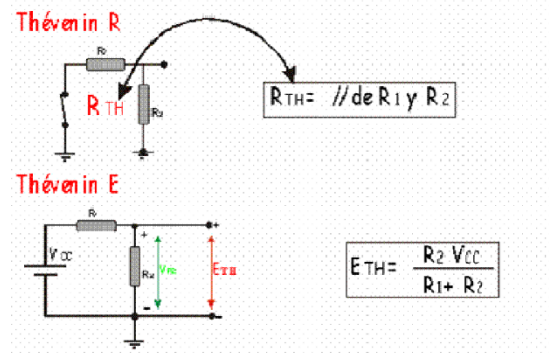


Figura 2.14 Equivalente thevenin.

Teniendo el circuito con una fuente y una resistencia equivalente, se procede a hacer el análisis. La malla de base a emisor sería la siguiente:

$$E_{Th} - I_B R_{Th} - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

En la expresión anterior se tiene una ecuación con dos incógnitas, utilizamos la relación de la corriente de emisor con la base y se deja la expresión en términos de una sola incógnita (I_B), y se despeja, quedando así:

$$I_B = \frac{E_{Th} - V_{BE}}{R_{Th} + (\beta + 1)R_E}$$

Si se conoce el valor de una corriente se pueden conocer todas las que recorren el circuito, a través de las fórmulas conocidas. Cuando se tiene el circuito de polarización equivalente con E_{Th} y R_{Th} , se puede hacer el análisis completo de manera muy similar a la autopolarización.

2.2.1.4. Polarización por realimentación de colector.

Consiste en conectar la resistencia de polarización al terminal del colector en vez de a la fuente de alimentación.

Cuando la ganancia de la corriente β tienda a aumentar, aumentará también la corriente del colector y con ella la caída de tensión que aparece en la resistencia del colector R_C .

Esto provoca una disminución de la tensión que alimenta la base, lo que da lugar a una reducción de la corriente de base, por lo que en el último término también queda reducida la propia corriente del colector.

De esta forma se consigue que los aumentos de corriente de colector queden compensados por el efecto de realimentación del colector.

Esta polarización proporciona una estabilidad bastante aceptable para los cambios de β .

El circuito además es relativamente simple ya que solo requiere de la utilización de dos resistencias.

2.2.2. Base común.

Polarización por base común

En la figura 2.15 se muestran los circuitos relativos a la configuración en base común para los transistores NPN y PNP.

Observa que el circuito de entrada lo forman la resistencia R_E , en serie con la unión emisor-base y la batería V_{EB} que polariza de forma directa esta unión. En el circuito de salida la unión base-colector en serie con la resistencia R_C y la batería V_{CC} .

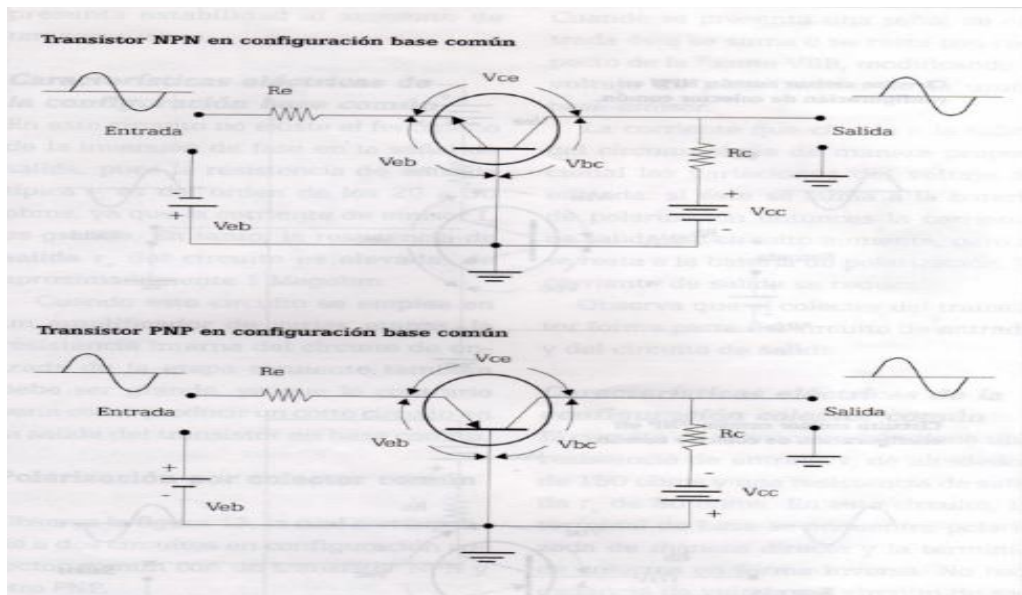


Figura 2.15 Circuitos emisor común NPN y PNP en configuración de base común.

La señal de entrada excita a la terminal emisor del transistor, mientras que la señal de salida se obtiene a través de la terminal colector. Nota que la terminal de base forma parte tanto del circuito de entrada como del circuito de salida.

V_{CE} entrega el voltaje para polarizar de manera inversa al colector del transistor.

Esta configuración de base común no es muy utilizada, ya que tiene un factor de amplificación muy bajo, la única característica favorable es que presenta estabilidad al aumento de temperatura.

Características eléctricas de la configuración base común.

En este circuito no existe el fenómeno de la inversión de fase en la señal de salida, pues la resistencia de entrada típica R_{in} ; es del orden de los 20 a 30 ohms, ya que la corriente de emisor I_E es grande. En tanto, la resistencia de salida R_{out} del circuito es elevada, de aproximadamente 1 megohm. Cuando este circuito se emplea en un amplificador de varias etapas, la resistencia interna del circuito de entrada de la etapa siguiente también debe ser grande, ya que lo contrario sería como producir un corto circuito en la salida del transistor en base común.

2.2.3. Colector común.

La tercera y última configuración de transistores es la de colector común, mostrada en la figura 2.16 que se encuentra a continuación, en la cual se observa la dirección apropiada de la corriente y la notación de voltaje correspondiente. La configuración de colector común se emplea fundamentalmente para propósitos de acoplamiento de impedancia ya que tiene una

elevada impedancia de entrada y una baja impedancia de salida, que es lo opuesto a las configuraciones de base común y de emisor común.

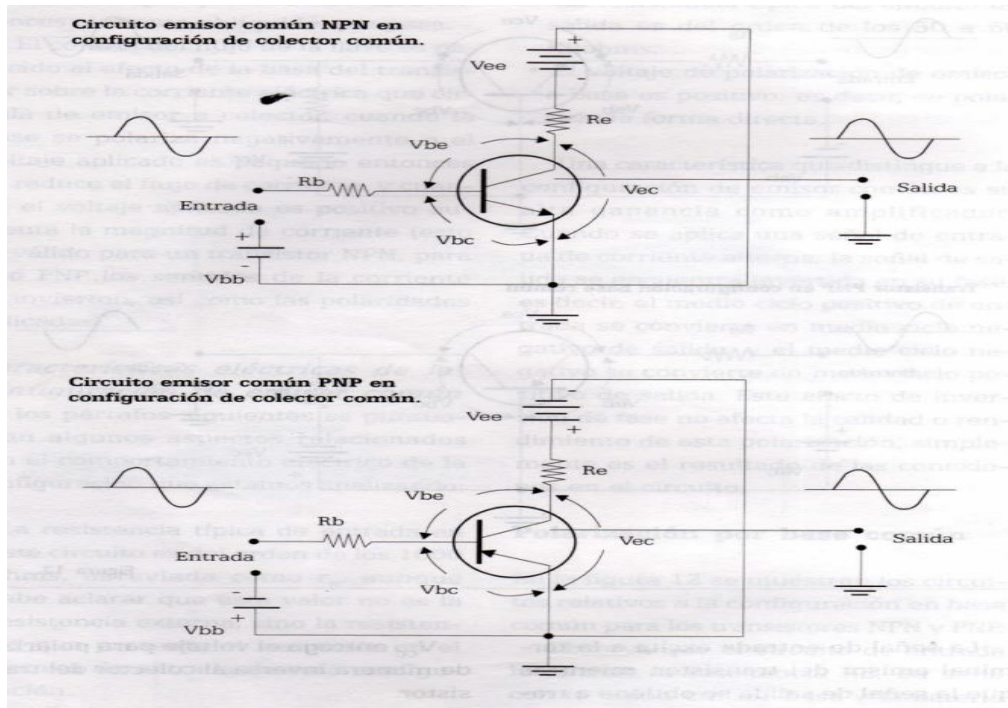


Figura 2.16 Circuitos emisor común NPN y PNP en configuración de colector común.

Características eléctricas de la configuración colector común.

El circuito de colector común tiene una resistencia de entrada R_i de alrededor de 150 ohms y una resistencia de salida R_o de 80 ohms. En este circuito la terminal de la base se encuentra polarizada de manera directa y la terminal del colector en forma inversa.

No hay ganancia de voltaje del circuito de salida respecto del circuito de entrada, debido a que R_E entrega una retroalimentación negativa necesaria para el circuito de entrada a la base.

2.3 Conmutación.

El interruptor a transistor.

Un circuito básico a transistor como el ilustrado en la Figura 2.17a), conforma un circuito inversor; es decir que su salida es de bajo nivel cuando la señal de entrada es alta y viceversa. El mismo está calculado de manera que el transistor esté en la zona de corte (punto B) o saturación (punto A), Figura 2.17d), dependiendo si el valor de la función de entrada vale 0 ó +V, respectivamente. Trabajando de esta manera el transistor se comporta como un interruptor controlado, realizando transiciones entre la saturación y el corte. Se observa que el interruptor está controlado por la corriente de base: Cuando el transistor está al corte no fluye corriente y el interruptor está abierto (Figura 2.17c), cuando el transistor está saturado fluye la máxima corriente de colector y el interruptor está cerrado (Figura 2.17b).

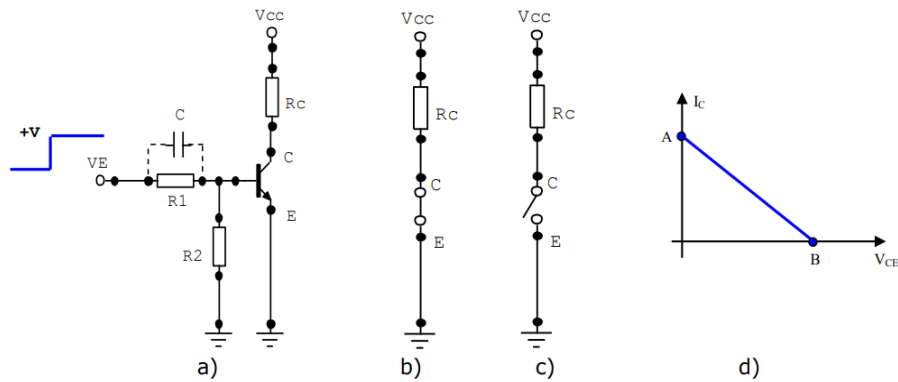


Figura 2.17 Circuito de conmutación básico.

La figura 2-18 ilustra la operación básica de un BJT como dispositivo de conmutación. En la parte a), el transistor está en la región de corte porque la unión base-emisor no está polarizada en directa. En esta condición, existe, idealmente, una abertura entre el colector y el emisor, como lo indica el equivalente de interruptor. En la parte b), el transistor está en la región de saturación porque la unión base-emisor y la unión base-colector están polarizadas en directa y la corriente en la base llega a ser suficientemente grande para provocar que la corriente en el colector alcance su valor de saturación. En esta condición, existe, idealmente, un corto entre el colector y el emisor, como lo indica el equivalente de interruptor. En realidad, normalmente ocurre una pequeña caída de voltaje a través del transistor de unos cuantos décimos de volt, la cual es el voltaje de saturación, $V_{CE(sat)}$

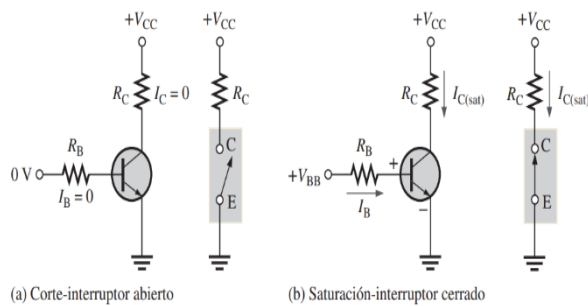


Figura 2.18 Acción de conmutación de un transistor ideal.

Condiciones en corte.

Como se mencionó, un transistor está en la región de corte cuando la unión base-emisor no está polarizada en directa. Si se ignora la corriente de fuga, todas las corrientes son cero y V_{CE} es igual a V_{CC} .

$$V_{CE(\text{corte})} = V_{CC}$$

Condiciones en saturación.

Como ya lo aprendió, cuando la unión base-emisor está polarizada en directa y existe suficiente corriente en la base para producir una corriente máxima en el colector, el transistor está en saturación.

La fórmula para la corriente de saturación de colector es

$$I_{C(\text{sat})} = \frac{V_{CC} - V_{CE(\text{sat})}}{R_C}$$

Puesto que $V_{CE(sat)}$ es muy pequeño comparado con V_{CC} , casi siempre puede ser despreciado. El valor máximo de la corriente en base requerida para producir saturación es

$$I_{B(min)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{CD}}$$

Normalmente, I_B debe ser significativamente más grande que $I_{B(min)}$ para garantizar que el transistor esté en saturación.

Una aplicación simple de un interruptor con un transistor.

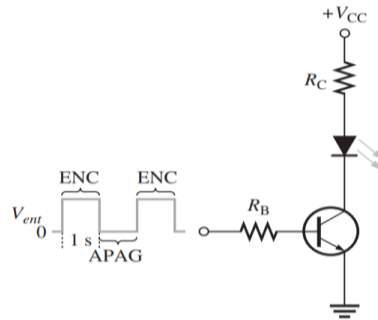


Figura 2.19 Un transistor utilizado para prender y apagar un LED.

El transistor de la figura 2.19 se utiliza como interruptor para encender y apagar un LED. Por ejemplo, se aplica un voltaje de entrada de onda cuadrada con un periodo de 2 s a la entrada, como se indica. Cuando la onda cuadrada es de 0 V, el transistor está en corte; y en vista de que no hay corriente en el colector, el LED no emite luz. Cuando la onda cuadrada alcanza un nivel alto, el transistor se va a saturación. Esto polariza en directa el LED, y la corriente resultante en el colector que pasa a través del LED hace que emita luz. De este modo, el LED prende durante 1 segundo y se apaga durante 1 segundo.

2.4 Estabilidad.

La estabilidad de funcionamiento de los circuitos con transistores es un aspecto fundamental en el diseño de los mismos. El diseñador no sólo ha de asegurar que el circuito funciona, sino que lo hace dentro de los límites máximos y mínimos indicados por las especificaciones del mismo. Además, ha de prever posibles eventualidades al funcionamiento que puedan hacer que el circuito deje de funcionar. La elección de la red de polarización de un transistor puede resultar clave a la hora de garantizar que el circuito se adaptará a nuestras expectativas. Estabilidad en el punto de trabajo Punto de trabajo de un transistor Entendemos por punto de trabajo de un trabajo del transistor la combinación de tensiones y corrientes continuas que existen en el mismo en funcionamiento normal. En función de la aplicación del circuito el punto de trabajo de un transistor puede variar mucho. Se puede polarizar el transistor en cualquiera de las tres regiones de funcionamiento dependiendo del uso que se haga del circuito. Aquí se hablará de las variaciones que puede sufrir el mismo, debido a factores externos.

Variación del punto de trabajo En esencia, el punto de trabajo de un transistor en un circuito variará cuando cambie alguno de los elementos de los que depende. Estos elementos pueden ser bien internos al propio dispositivo (Tensiones o corrientes, características), bien externos, como por ejemplo variaciones en las resistencias, alimentaciones, ... En la figura podemos ver el efecto de la variación de la resistencia de colector sobre el punto de funcionamiento del transistor. Es evidente que si dicha resistencia disminuye, tendremos un incremento en la corriente de colector (I_C) para la misma tensión colector-emisor (V_{CE}), luego se ve claramente

que la variación de un componente afecta directamente a la posición del punto de trabajo, el cual con una resistencia R_{C1} se encuentra en Q_1 y con otra resistencia menor (R_{C2}) pasa a ser Q_2 .

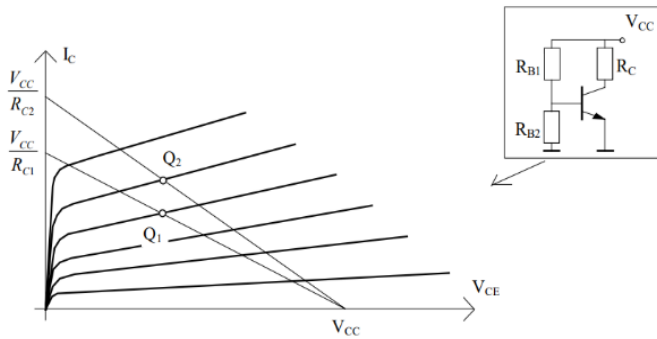


Figura 2.20 Los componentes y las características del transistor pueden variar.

Los componentes, y las características del transistor, pueden variar por numerosos motivos, entre los cuales los más importantes son:

Debido a cambios de temperatura

Debido a cambio del componente en sí por otro igual o diferente

Variación con la temperatura.

La temperatura afecta a todos los componentes y dispositivos, aunque a unos más que a otros. Por ejemplo, un incremento de temperatura afectará a la resistividad de una resistencia, provocando una bajada de su valor, sin embargo, este efecto suele ser despreciable. El efecto de la temperatura se hace mucho más importante cuando afecta a un semiconductor en sí. Concretamente existen dos características del mismo que dependen de la temperatura de forma importante:

- La tensión base-emisor (V_{BE}): Su variación para transistores de silicio suele ser

$$\Delta V_{BE}(T^a) = -2,5 \text{ mV} / ^\circ \text{C}, \text{ es decir, disminuye al aumentar la temperatura}$$

- La corriente inversa de la unión colector-base (I_{C0}): El valor de este parámetro se duplica aproximadamente por cada 10 grados de incremento de la temperatura, por lo que

$$\text{podemos obtener su valor aplicando la siguiente fórmula: } I_{C0}(T_2) = I_{C0}(T_1) \cdot 2^{\frac{(T_2 - T_1)}{10}}$$

Variación por cambio de componentes o dispositivos. Es evidente que al cambiar un componente de un circuito nunca vamos a conseguir que tenga exactamente las mismas características y valores que el antiguo, debido a las tolerancias de fabricación. Así, si estábamos usando una resistencia de 1K (con 10% de tolerancia), el valor real de la resistencia podía ser, por ejemplo, 980Ω. Si cambiamos esta resistencia por otra del mismo valor nominal (es decir, 1K) podemos encontrarnos fácilmente que la nueva tiene una resistencia real igual a 1080Ω, valor que está dentro de los márgenes de tolerancia del componente, pero que sin embargo puede hacer que nuestro circuito deje de funcionar correctamente.

La dispersión de valores, y las tolerancias, son mucho más acusadas con los dispositivos semiconductores. Así, por ejemplo, dentro de una misma serie de transistores, podemos tener unidades con grandes diferencias en sus características. En las hojas características de los

mismos podemos observar este hecho, por ejemplo, en la β ; los fabricantes suelen dar un margen de tolerancia al parámetro, y en ocasiones del valor mínimo al máximo puede haber diferencias de más de 100 unidades o más. Teniendo lo anterior en cuenta, a la hora de diseñar un circuito hay que tener en cuenta que cualquier cambio de componentes que hay que hacer puede llevar al mismo a dejar de funcionar correctamente, por variar su punto de trabajo fuera de los límites admisibles.

PROBLEMAS U2.

Problema 1

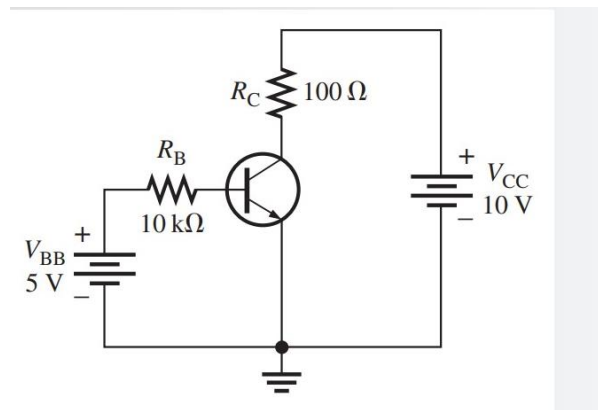
Determine la ganancia corriente de cd, β_{CD} y la corriente de emisor I_e para un transistor con $I_B = 50 \mu A$ e $I_C = 3.65 \text{ mA}$

Solución $\beta_{CD} = I_C / I_B = 3.65 \text{ mA} / 50 \mu A = 73$

$$I_E = I_C + I_B = 3.65 \text{ mA} + 50 \mu A = \mathbf{3.70 \text{ mA}}$$

Problema 2

Determine I_B , I_C , I_E , V_{BE} , V_{CE} y V_{CB} en el circuito de la figura. El transistor tiene una $\beta_{CD} = 150$.



Solución De acuerdo con la ecuación, $V_{be} = 0.7V$. Calcule la corriente de base, de colector y de emisor de la siguiente manera:

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B = 5V - 0.7V / 10k\Omega = \mathbf{430 \mu A}$$

$$I_C = (\beta_{DC})(I_B) = (150)(430 \mu A) = \mathbf{64.5 \text{ mA}}$$

Despejando V_{CE} y V_{CB} .

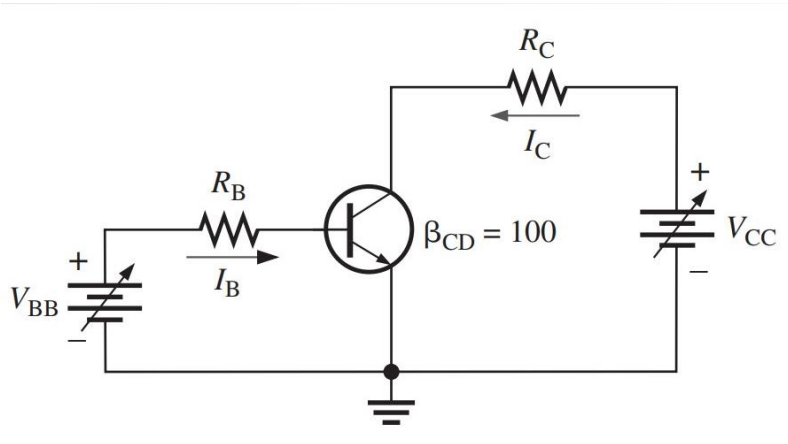
$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 10V - (64.5 \text{ mA})(100 \Omega) = 10V - 6.45V = \mathbf{3.55V}$$

$$V_{CB} = V_{CE} - V_{BE} = 3.55V - 0.7V = \mathbf{2.85V}$$

Como el colector está a un voltaje más alto que la base, la unión colector-base está polarizada en inversa.

Problema 3

Trace una familia ideal de curvas de colector para el circuito de la figura con $I_B = 5 \mu\text{A}$ a $25 \mu\text{A}$ en incrementos de $5 \mu\text{A}$. Suponga $\beta_{CD} = 100$ y que V_{CE} no excede la condición de ruptura.



Solución

Utilizando la relación $I_C = \beta_{CD} I_B$, los valores de I_C se calculan y tabulan en la tabla 1. Las curvas resultantes aparecen en la figura 1.

TABLA 1

I_B	I_C
$5 \mu\text{A}$	0.5 mA
$10 \mu\text{A}$	1.0 mA
$15 \mu\text{A}$	1.5 mA
$20 \mu\text{A}$	2.0 mA
$25 \mu\text{A}$	2.5 mA



Figura 1 Familia ideal de curvas de colector.

Problema 4

Cierto transistor tiene que ser operado con $V_{CE} = 6 \text{ V}$. Si su valor nominal de potencia máxima es de 250 mW , ¿cuál es la corriente colector máxima que puede manejar?

Solucion

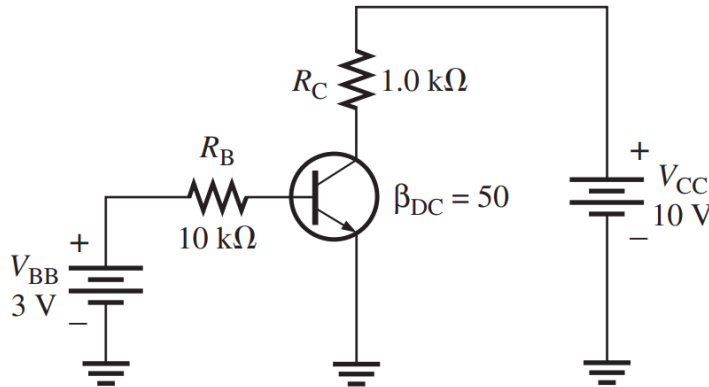
$$I_C = P_D(\text{máx}) / V_{CE} = 250 \text{ mW} / 6 \text{ V} = \mathbf{41.7 \text{ mA}}$$

Esta es la corriente máxima para este valor particular de V_{CE} . El transistor puede manejar más corriente de colector si V_{CE} se reduce, en tanto $P_D(\text{máx})$ e $I_C(\text{máx})$ no sean excedidas.

Problema 5

Determine si el transistor de la figura se encuentra o no en saturación.

Suponga $V_{CE}(\text{sat}) = 0.2 \text{ V}$.



Solución Primero, determine $I_C(\text{sat})$

$$I_C(\text{sat}) = V_{CC} - V_{CE}(\text{sat}) / R_C = 10 \text{ V} - 0.2 \text{ V} / 1.0 \text{ k}\Omega = 9.8 \text{ V} / 1.0 \text{ k}\Omega = \mathbf{9.8 \text{ mA}}$$

Ahora, vea si I_B es suficientemente grande para producir $I_C(\text{sat})$

$$I_B = V_{BB} - V_{BE} / R_B = 3 \text{ V} - 0.7 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = 2.3 \text{ V} / 10 \text{ k}\Omega = \mathbf{0.23 \text{ mA}}$$

$$I_C = (\beta_{CD})(I_B) = (50)(0.23 \text{ mA}) = \mathbf{11.5 \text{ mA}}$$

Esto comprueba que con la β_{CD} especificada, esta corriente de base es capaz de producir una I_C más grande que $I_C(\text{sat})$. Por consiguiente, el transistor está en saturación y nunca

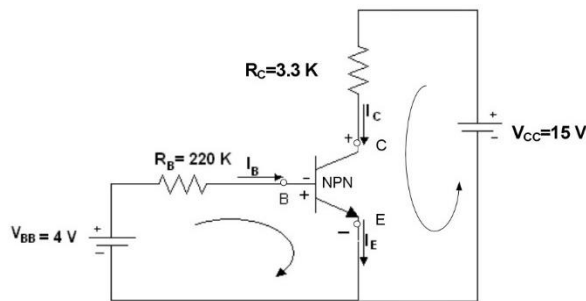
se alcanza el valor de la corriente de colector de 11.5 mA. Si I_B se incrementa más, la corriente de colector permanece en su valor de saturación de 9.8 mA.

Problemas Propuestos.

Problema 1

Se tiene el siguiente circuito de polarización del BJT en configuración de Emisor Común. Si el TBJ es de silicio ($V_C = 0.7 \text{ V}$) con un $\beta = 100$ y con $I_{Co} = 30 \text{ nA}$ hallar:

- La corriente de polarización de la base.
- La corriente de polarización del colector.
- Determinar si el transistor trabaja en la región activa.



Tema 3 Transistor unipolar (FET, MOSFET).

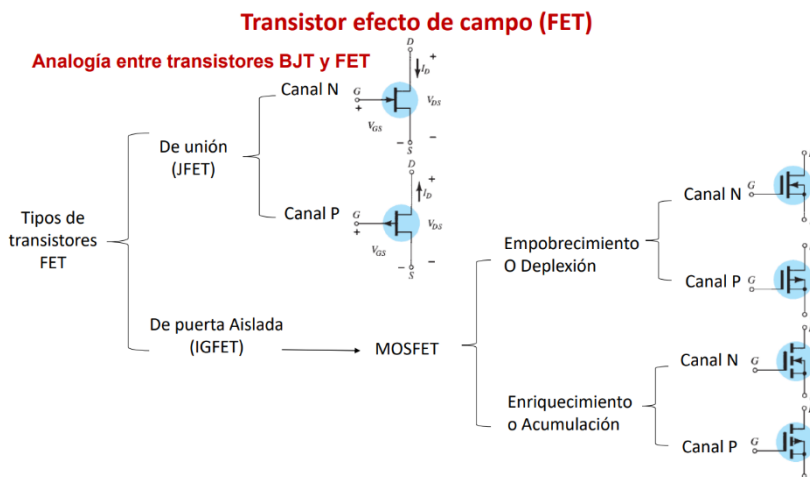


Figura 3.1 Tipos de transistores FET.

Transistor efecto de campo (FET)
Analogía entre transistores BJT y FET

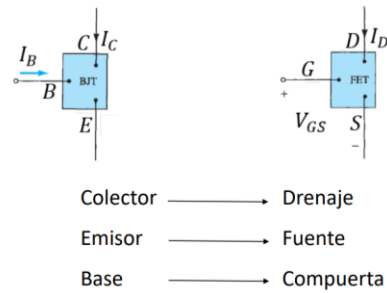


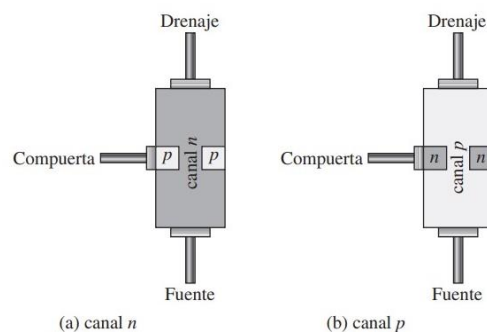
Figura 3.2 Analogía entre transistores BJT y FET.

Los transistores más conocidos son los llamados bipolares (NPN y PNP), llamados así porque la conducción tiene lugar gracias al desplazamiento de portadores de dos polaridades (huecos positivos y electrones negativos), y son de gran utilidad en gran número de aplicaciones, pero tienen ciertos inconvenientes, entre los que se encuentra su impedancia de entrada bastante baja.

Existen unos dispositivos que eliminan este inconveniente en particular y que pertenece a la familia de dispositivos en los que existe un solo tipo de portador de cargas, y por tanto, son unipolares. **Se llama transistor de efecto campo.**

Un transistor de efecto campo (**FET**) típico está formado por una barrita de material p ó n, llamada canal, rodeada en parte de su longitud por un collar del otro tipo de material que forma con el canal una unión p-n.

En los extremos del canal se hacen sendas conexiones óhmicas llamadas respectivamente sumidero (d-drain) y fuente (s-source), más una conexión llamada puerta (g-gate) en el collar.



La figura 3.3 Muestra el croquis de un FET con canal N y uno canal P.

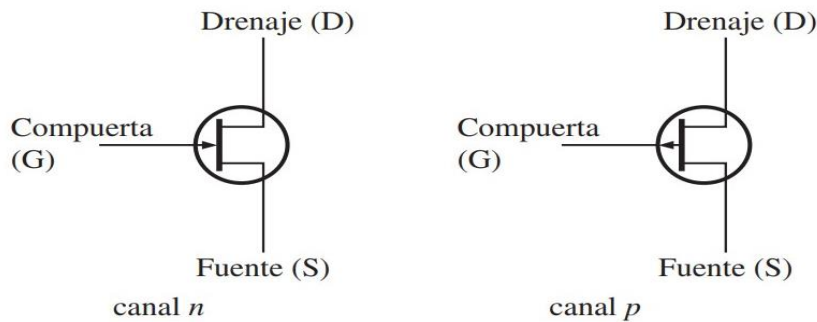


Figura 3.4 Símbolos gráficos para un FET de canal N y FET canal P.

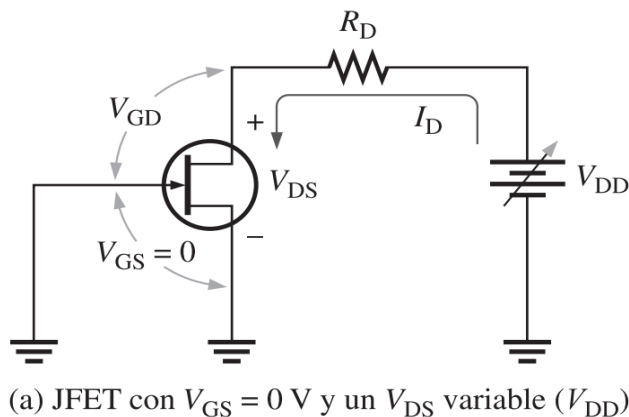


Figura 3.5 Disposición de las polarizaciones para un FET de canal N.

La Figura muestra un esquema que ayudará a comprender el funcionamiento de un FET. En este caso se ha supuesto que el canal es de material de tipo N.

La puerta está polarizada negativamente respecto a la fuente, por lo que la unión P-N entre ellas se encuentra polarizada inversamente y existe (se crea) una capa desierta.

Si el material de la puerta está más dopado que el del canal, la mayor parte de la capa estará formada por el canal. Si la tensión de la puerta es cero, y $V_{ds} = 0$, las capas desiertas profundizan poco en el canal y son uniformes a todo lo largo de la unión.

Si V_{ds} se hace positiva (y V_{gs} sigue siendo cero) por el canal circulará una corriente entre sumidero y fuente, que hará que la polarización inversa de la unión no sea uniforme en toda su longitud y, en consecuencia, en la parte más próxima al sumidero, que es la más polarizada, la capa desierta penetrará más hacia el interior del canal.

Para valores pequeños de V_{ds} , la corriente de sumidero es una función casi lineal de la tensión, ya que la penetración de la capa desierta hacia el interior del canal no varía substancialmente de su valor inicial. Sin embargo, a medida que aumenta la tensión aumenta también la polarización inversa, la capa desierta profundiza en el canal y la conductancia de éste disminuye. El ritmo de incremento de corriente resulta, en consecuencia, menor y llega un momento en que el canal se ha hecho tan estrecho en las proximidades del sumidero que un

incremento de V_{ds} apenas tiene efecto sobre la corriente de sumidero. Entonces se dice que el transistor está trabajando en la zona de estricción (pinch-off), nombre cuyo origen se evidencia en la figura anterior, llamándose tensión de estricción V_p a la del punto de transición entre el comportamiento casi lineal y el casi saturado.

Figura 3.6 Zonas de funcionamiento del FET.

Si a la puerta se le aplica una polarización negativa estacionaria, la capa desierta penetra más en el interior que con la polarización nula; por tanto, para pasar a la zona de estricción se necesita menos tensión de sumidero. El aumentar la polarización negativa permite tener la transición a la zona de estricción a corrientes de sumidero aún inferiores.

El funcionamiento del FET se basa en la capacidad de control de la conductancia del canal por parte de la tensión de puerta y, como la unión puerta-canal se encuentra siempre polarizada inversamente, el FET es por esencia un elemento de alta impedancia de entrada.

PARAMETROS DEL FET

La corriente de sumidero I_d es función tanto de la tensión de sumidero V_{ds} como de la puerta V_{gs} . Como la unión está polarizada inversamente, suponemos que la corriente de puerta es nula, con lo que podemos escribir:

$$I_g = 0 \quad \text{e} \quad I_d = f(V_{ds}, V_{gs})$$

En la zona de estricción (saturación) en que las características son casi rectas (en el gráfico, son horizontales, pero en realidad tienen una pendiente positiva) podemos escribir la respuesta del transistor para pequeños incrementos de V_{ds} y V_{gs} en esta forma.

El parámetro r_d se llama resistencia diferencial del sumidero del FET, y es la inversa de la pendiente de la curva. Que como en el gráfico, dicha pendiente es cero (en la realidad, como he dicho antes existe algo de pendiente), entonces la r_d es infinita (muy grande).

El parámetro g_m se le denomina conductancia mutua o transconductancia, y es igual a la separación vertical entre las características que corresponden a diferencias de valor de V_{gs} de 1 voltio.

3.1. Configuraciones de polarización.

Los transistores de efecto de campo (FET) son dispositivos semiconductores que utilizan un solo tipo de portador de carga, ya sean electrones (en FET de canal n) o huecos (en FET de canal p). Debido a su alta impedancia de entrada y bajo ruido, son ampliamente utilizados en diversas aplicaciones electrónicas, incluyendo amplificadores, osciladores y conmutadores. La polarización adecuada de los FET es crucial para su funcionamiento eficiente y estable. Existen varias configuraciones de polarización que se emplean para fijar el punto de operación de estos dispositivos, cada una con sus propias características y ventajas. A continuación, se discutirán las configuraciones de polarización más comunes para los FET. La polarización adecuada de los FET es fundamental para asegurar su funcionamiento eficiente y estable en diversas aplicaciones electrónicas. Las configuraciones de polarización discutidas – Polarización fija, Autopolarización, Polarización por divisor de voltaje, Configuración en compuerta y drenador común ofrecen diferentes ventajas y desventajas según las necesidades específicas del

diseño del circuito. La elección de la configuración de polarización adecuada depende de factores como la estabilidad térmica, la impedancia de entrada y la complejidad del circuito. Entender estas configuraciones permite a los ingenieros diseñar sistemas electrónicos más robustos y eficientes, aprovechando al máximo las características únicas de los FET.

3.1.1. Fija.

Circuito de polarización fija para JFET

Sea el circuito de la Figura 3.8

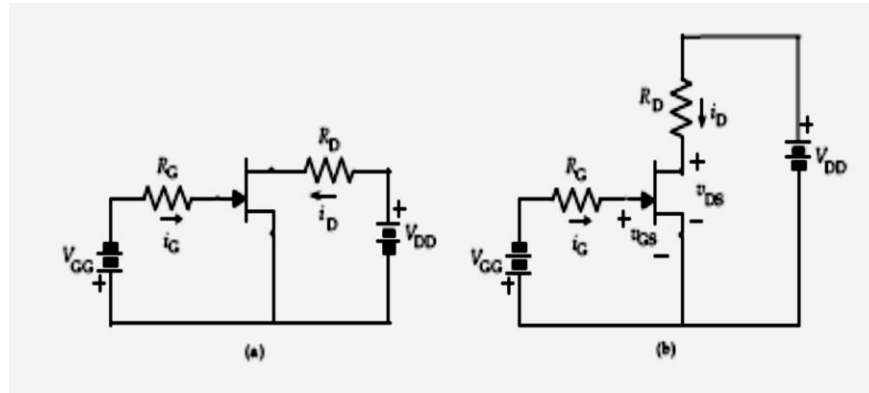


Figura 3.7 Circuito de polarización fija para el FET.

Para la malla de entrada, dado que $i_G = 0$ (la unión compuerta-fuente se encuentra inversamente polarizada).

$$-V_{GG} = i_G R_G + v_{GS} \quad (1)$$

$$v_{GS} = -V_{GG}$$

Para la malla de salida

(2)

(3)

$$\begin{aligned} V_{DD} &= i_D R_D + v_{DS} \\ i_D &= -\frac{v_{DS}}{R_D} + \frac{V_{DD}}{R_D} \end{aligned}$$

Donde (3) es la recta de carga de salida.

Adicionalmente se tiene la ecuación de Shockley

$$i_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{v_{GS}}{V_p} \right)^2$$

Donde V_p es la tensión de estrangulación del canal, también llamado **VGS(OFF)** e **IDSS** la corriente de saturación, datos provistos por el fabricante.

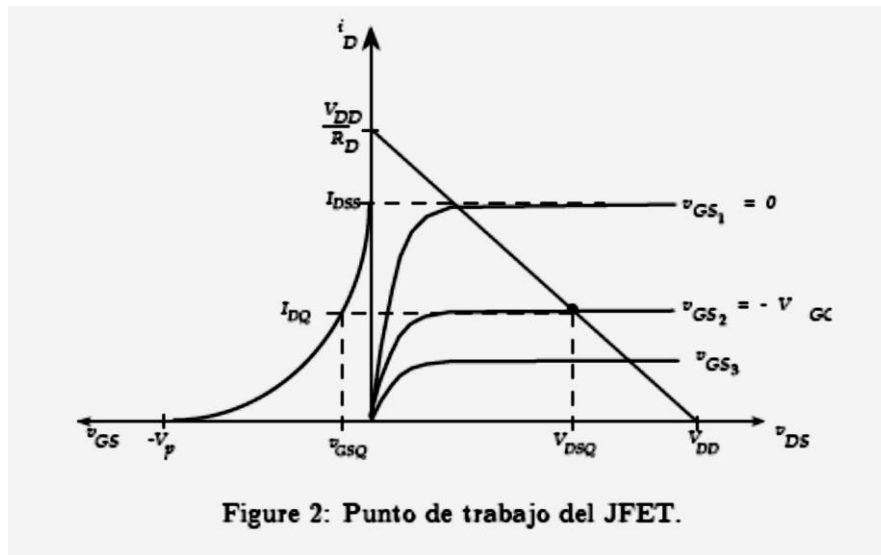
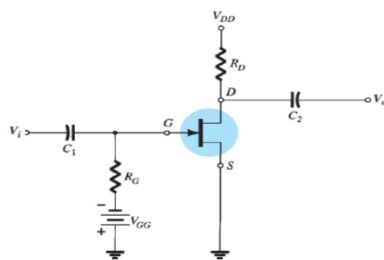


Figura 3.8 Punto de trabajo del FET.

Para un punto Q dado (I_{DSQ} ; V_{DSQ}), se determina R_D de (2), como

De (4), se determina v_{GS} , luego de (1) se obtiene V_{GG} .

$$R_D = \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{I_{DQ}}$$



Configuración de polarización fija.

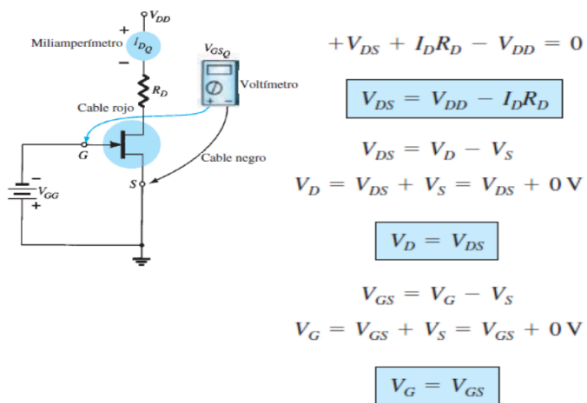
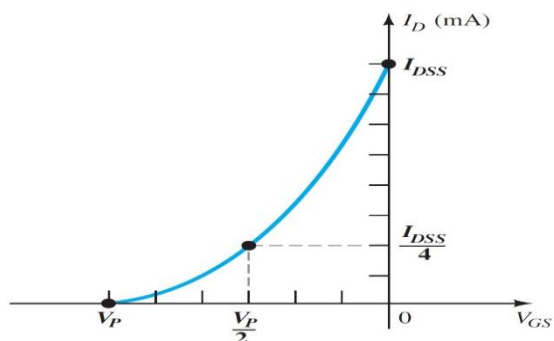
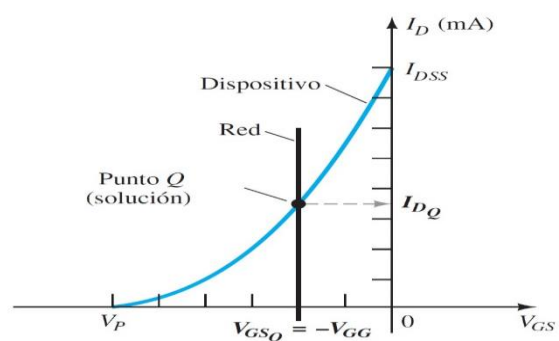


Figura 3.9 Diagrama y resolución Polarizacion fija.



Representación gráfica de la ecuación de Shockley.



Determinación de la solución para la configuración de polarización fija.

Figura 3.10 Gráficamente.

3.1.2. Autopolarización.

La autopolarización es el tipo de polarización de JFET más común. Recuerde que un JFET debe ser operado de tal forma que la unión compuerta-fuente siempre esté polarizada en inversa. Esta condición requiere un VGS negativo para un JFET de canal n y un VGS positivo para un JFET de canal p. Esto se puede lograr con la configuración de autopolarización mostrada en la figura 8-16. El resistor, R_G , en serie con la compuerta, no afecta la polarización porque en esencia no hay caída de voltaje a través de él, y por consiguiente, la compuerta permanece a 0 V. R_G se requiere sólo para hacer que la compuerta esté a 0 V y aislar una señal de ca de la tierra en aplicación de amplificador, como más adelante se verá

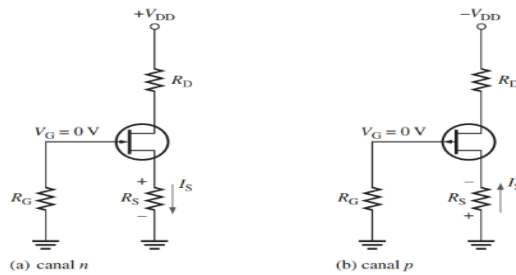


Fig. 3.11 JFET autopolarizados ($I_S = I_D$) en todos los FET.

Para el JFET de canal n mostrado en la figura 3.1.2.1(a), I_S produce una caída de voltaje a través de R_S que hace a la fuente positiva con respecto a tierra. Puesto que $I_S = I_D$ y $V_G = 0$, entonces $V_S = I_D R_S$. El voltaje de compuerta a fuente es:

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - I_D R_S = -I_D R_S$$

Por lo tanto,

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

Para el JFET de canal p mostrado en la figura 3.1.2.1(b), la corriente que fluye a través de R_S produce un voltaje negativo en la fuente, lo que hace a la compuerta positiva con respecto a la fuente. Por consiguiente, como $I_S = I_D$,

$$V_{GS} = +I_D R_S$$

En el ejemplo siguiente se utiliza el JFET de canal n mostrado en la figura 3.1.2.1(a) como ilustración. Tenga en cuenta que el análisis del JFET de canal p es el mismo, excepto por los voltajes de polaridad opuesta. El voltaje en el drenaje con respecto a tierra se determina como de la siguiente manera: Como $V_S = I_D R_S$, el voltaje entre drenaje y fuente es

Circuito de autopolarización para JFET

Un JFET se autopolariza usando un resistor en la fuente, de acuerdo a la Fig. 3. Para la malla de entrada

$$i_G R_G + v_{GS} + R_S i_D = 0 \quad (6)$$

$$i_D = -\frac{v_{GS}}{R_S} \quad (7)$$

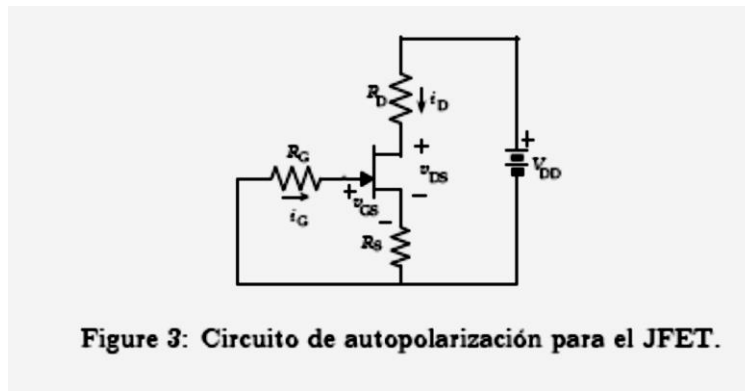


Figura 3.12 Circuito de autopolarización para el JFET.

Para la malla de salida

$$V_{DD} = v_{DS} + (R_D + R_S)i_D \quad (8)$$

Así la recta de carga de salida será

$$i_D = \frac{V_{DD}}{(R_D + R_S)} - \frac{v_{DS}}{(R_D + R_S)} \quad (9)$$

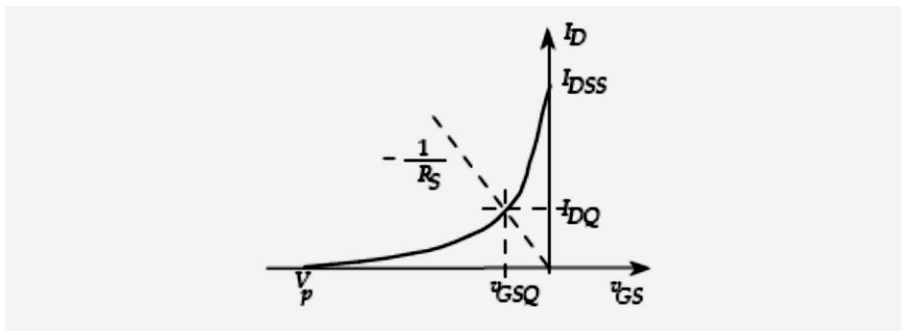
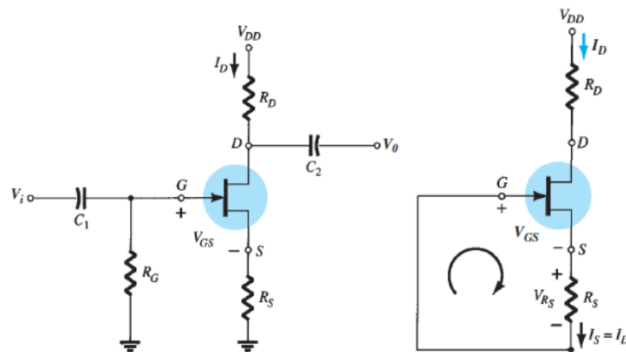


Figura 3.13 Interseccion ecuacion de Shockley y la malla de entrada.

CONFIGURACIÓN DE AUTOPOLARIZACIÓN



Configuración de autopolarización.

$$-V_{GS} - V_{RS} = 0$$

$$V_{GS} = -V_{RS}$$

$$V_{GS} = -I_D R_S$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 + \frac{I_D R_S}{V_P} \right)^2$$

$$I_D^2 + K_1 I_D + K_2 = 0$$

$$V_{RS} + V_{DS} + V_{RD} - V_{DD} = 0$$

$$V_{DS} = V_{DD} - V_{RS} - V_{RD} = V_{DD} - I_S R_S - I_D R_D$$

Figura 3.14 Configuración de autopolarización.

3.1.2.1. Utilizando la curva de polarización universal.

Curva universal de Polarización para FET.

Curva útil para cualquier nivel de I_{DSS} y V_p .

Eje horizontal definido por V_{GS}/V_P , con la indicación V_P , solo se toma en cuenta la magnitud mas no el signo.

Eje vertical definido por I_D/I_{DSS} .

La escala vertical llamada **m** puede utilizarse por si misma para encontrar la solución a las configuraciones de Polarización fija.

La escala **M** se utiliza junto con la escala **m** para encontrar la solución para la configuración de divisor de voltaje.

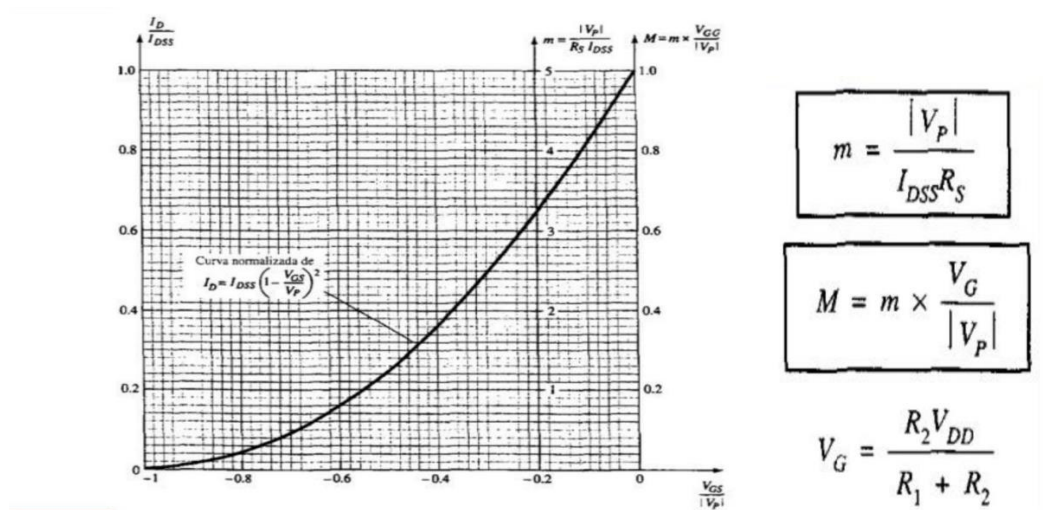


Figura 3.15 Curva universal de Polarización para FET.

Se elimina la necesidad de dos fuentes de V_{DD} ya que el voltaje de alimentación lo da R_S

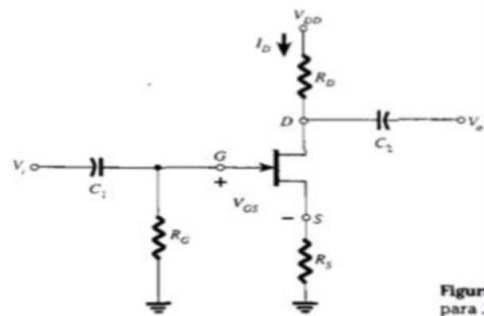
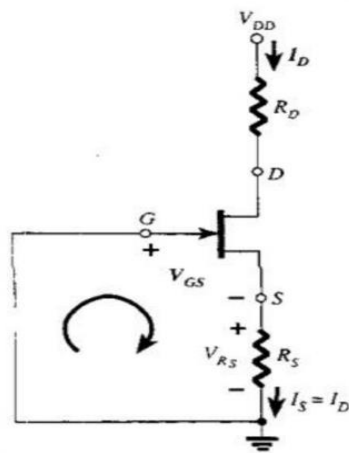


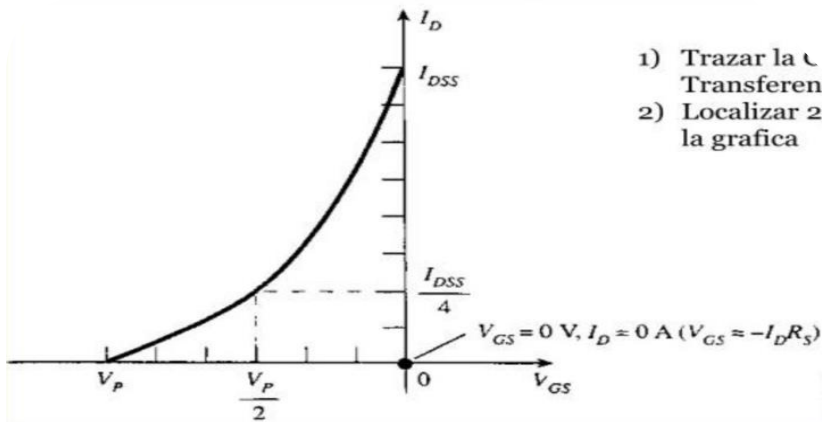
Figura 3.16 autopolarización del FET.



- $V_{rs} = I_D R_S$
- $-V_{gs} - V_{rs} = 0$
- $V_{gs} = -V_{rs}$
- $V_{gs} = -I_D R_S$
- Ec. De Schokley
- $I_D = I_{DSS} (1 - V_{gs}/V_p)^2$
- $I_D = I_{DSS} (1 + I_D R_S / V_p)^2$

Figura 3.17 Ecuación de Schokley.

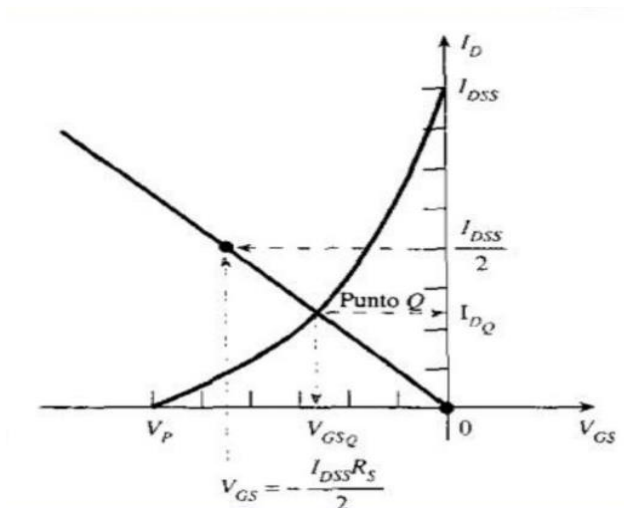
Método Grafico Autopolarizacion



- 1) Trazar la $\hookleftarrow$ Transferen
- 2) Localizar 2 la grafica

Figura 3.18 Método Grafico autopolarizacion.

- 1) Trazar la curva de transferencia.
- 2) Localizar 2 puntos sobre la gráfica.



Localización de dos puntos

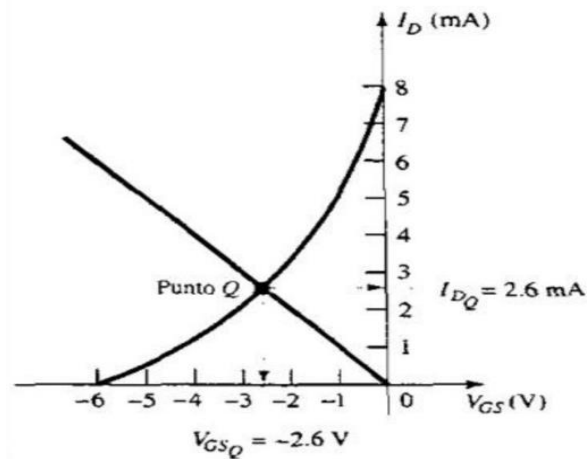
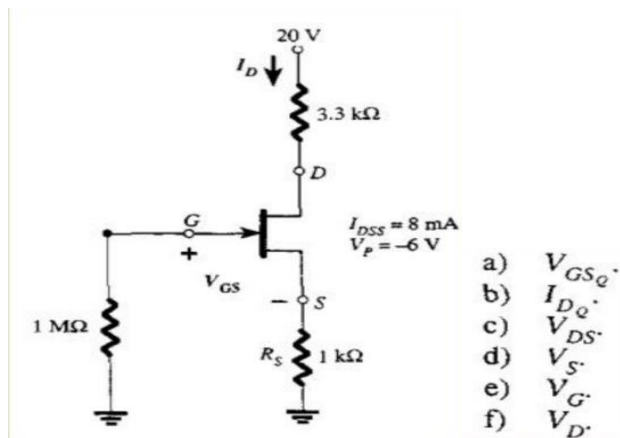
$$V_{GS} = -I_D R_S = (0 \text{ A}) R_S = 0 \text{ V.}$$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$$

$$V_{GS} = -I_D R_S = -\frac{I_{DSS} R_S}{2}$$

Figura 3.19 Localización de dos puntos.

Ejemplo.



A) $V_{GS} = -(4 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) = -4 \text{ V}$

b) En el punto estable:

$$I_{DQ} = 2.6 \text{ mA}$$

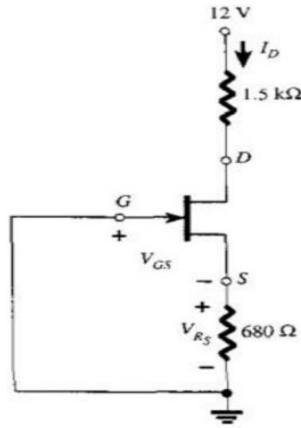
c) La ecuación (6.11): $V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D)$
 $= 20 \text{ V} - (2.6 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega + 3.3 \text{ k}\Omega)$
 $= 20 \text{ V} - 11.18 \text{ V}$
 $= 8.82 \text{ V}$

d) La ecuación (6.12): $V_S = I_D R_S$
 $= (2.6 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega)$
 $= 2.6 \text{ V}$

e) La ecuación (6.13): $V_G = 0 \text{ V}$

f) La ecuación (6.14): $V_D = V_{DS} + V_S = 8.82 \text{ V} + 2.6 \text{ V} = 11.42 \text{ V}$

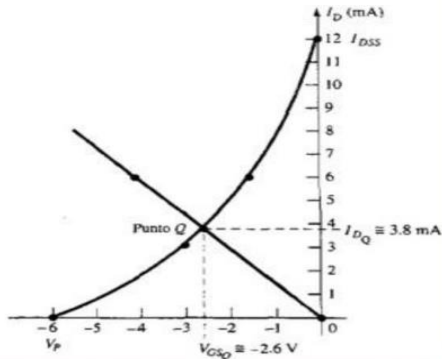
o $V_D = V_{DD} - I_D R_D = 20 \text{ V} - (2.6 \text{ mA})(3.3 \text{ k}\Omega) = 11.42 \text{ V}$



$$V_{GS_Q} \cong -2.6 \text{ V}$$

b) De la figura 6.19.

$$I_{D_Q} \cong 3.8 \text{ mA}$$



$$\begin{aligned} \text{c) } V_D &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 12 \text{ V} - (3.8 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega) = 12 \text{ V} - 5.7 \text{ V} \\ &= 6.3 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\text{d) } V_G = 0 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } V_S &= I_D R_S = (3.8 \text{ mA})(680 \Omega) \\ &= 2.58 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{f) } V_{DS} &= V_D - V_S \\ &= 6.3 \text{ V} - 2.58 \text{ V} \\ &= 3.72 \text{ V} \end{aligned}$$

3.2. Polarización por divisor de voltaje.

La Figura 3.20a muestra un circuito de polarización mediante divisor de tensión. El divisor de tensión genera una tensión de puerta que es una fracción de la tensión de alimentación. Restando la tensión puerta-fuente, obtenemos la tensión en la resistencia de fuente:

$$V_S = V_G - V_{GS} \quad (1)$$

Dado que V_{GS} es negativa, la tensión de fuente será ligeramente mayor que la tensión de puerta. Si dividimos esta tensión de fuente entre la resistencia de fuente, obtenemos la corriente de drenador:

$$I_D = \frac{V_G - V_{GS}}{R_S} \approx \frac{V_G}{R_S} \quad (2)$$

Cuando la tensión de puerta es grande, las variaciones de V_{GS} de un JFET al siguiente se pueden despreciar. Idealmente, la corriente de drenador es igual a la tensión de puerta dividida entre la resistencia de fuente. En consecuencia, la corriente de drenador es casi constante para cualquier JFET, como se muestra en la Figura 3.20 b. La Figura 3.20.c muestra la recta de carga en continua. En un amplificador, el punto Q tiene que encontrarse en la región activa. Esto significa que V_{DS} tiene que ser mayor que $I_{DQ}R_{DS}$ (región óhmica) y menor que V_{DD} (corte). Cuando se dispone de una tensión de alimentación elevada, la polarización mediante divisor de tensión puede proporcionar un punto Q estable. Si se necesita determinar con más precisión el punto Q de un circuito de polarización mediante divisor de tensión, puede utilizar un método gráfico. Esto es especialmente aconsejable cuando los valores de V_{GS} mínimo y máximo difieren en varios voltios. En la Figura 3.a, la tensión aplicada a la puerta es:

$$V_G = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(V_{DD}) \quad (3)$$

Utilizando las curvas de transconductancia, como en la Figura 3., dibujamos el valor de V_G en el eje horizontal, o eje x, de la gráfica. Éste es el primer punto de la recta de polarización. Para hallar el segundo punto, utilizamos la Ecuación (3) con $V_{GS} = 0$ V para determinar I_D . Este segundo punto, donde $I_D = V_G/R_S$, se dibuja sobre el eje vertical, o eje y, de la curva de transconductancia. A continuación, trazamos la línea que une los dos puntos y la alargamos hasta cortar las curvas de transconductancia. Por último, anotamos las coordenadas de los puntos de intersección.

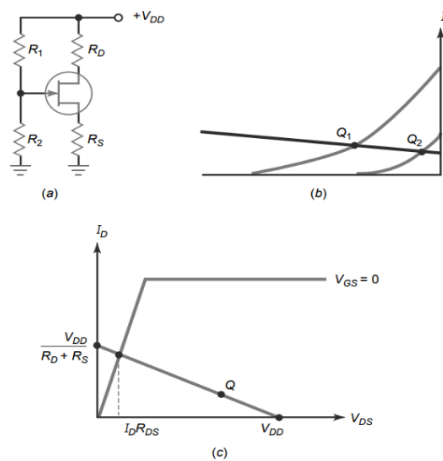


Figura 3.20 Polarización mediante divisor de tensión.

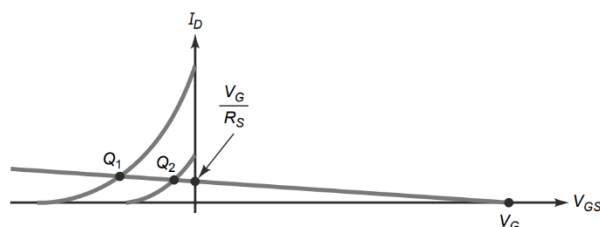


Figura 3.21 Punto Q de la Polarización mediante divisor de tensión.

POLARIZACIÓN POR MEDIO DEL DIVISOR DE VOLTAJE

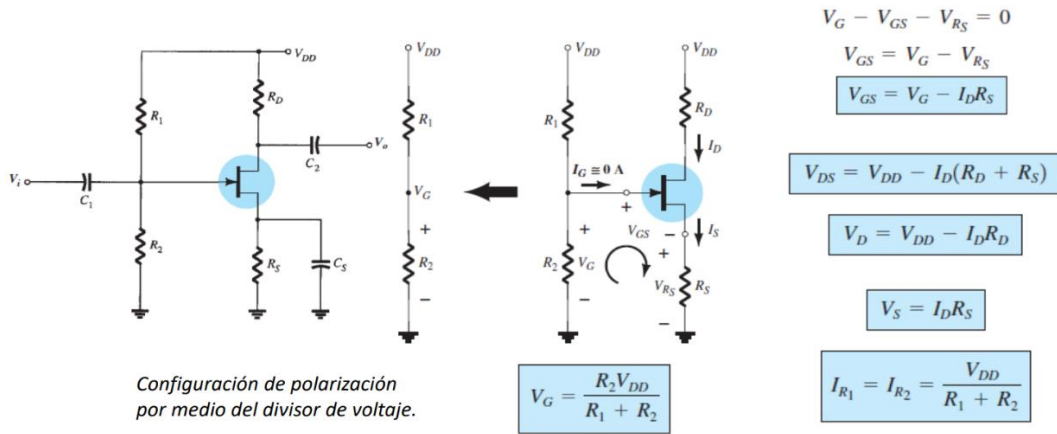


Figura 3.22 Polarización por medio del divisor de voltaje.

3.2.1. Utilizando la curva de polarización universal.

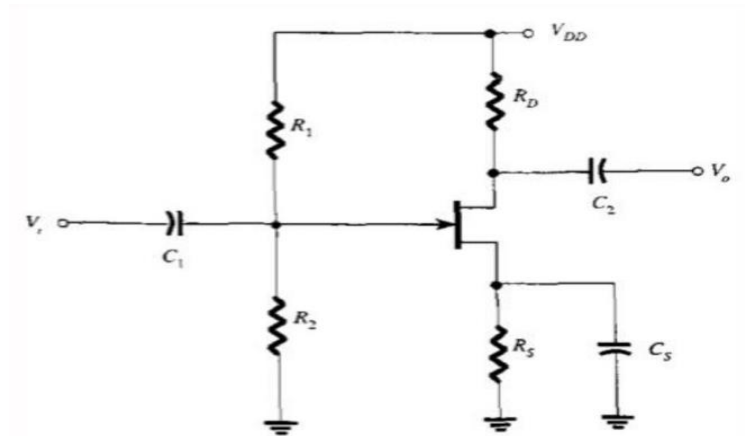


Figura 3.23 Polarización por divisor de voltaje.

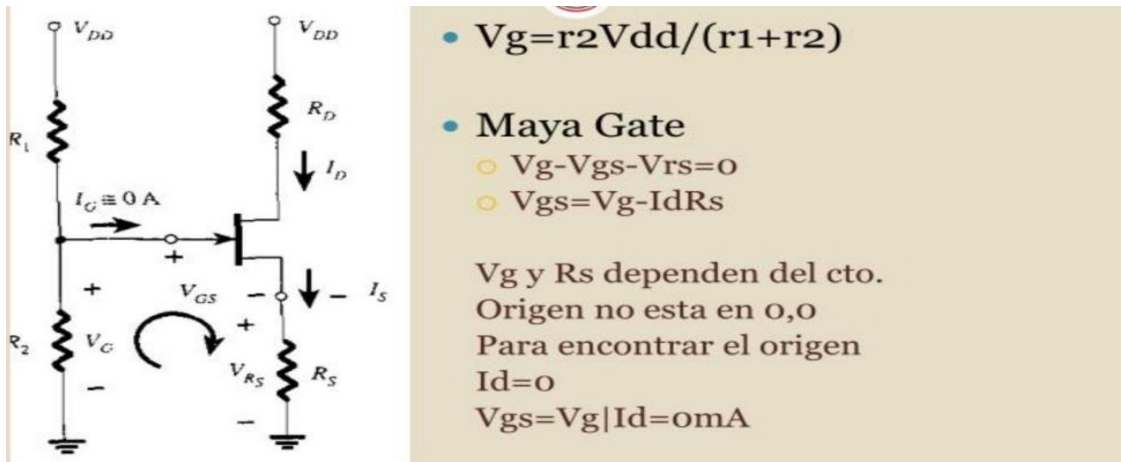


Figura 3.24 Análisis del circuito.

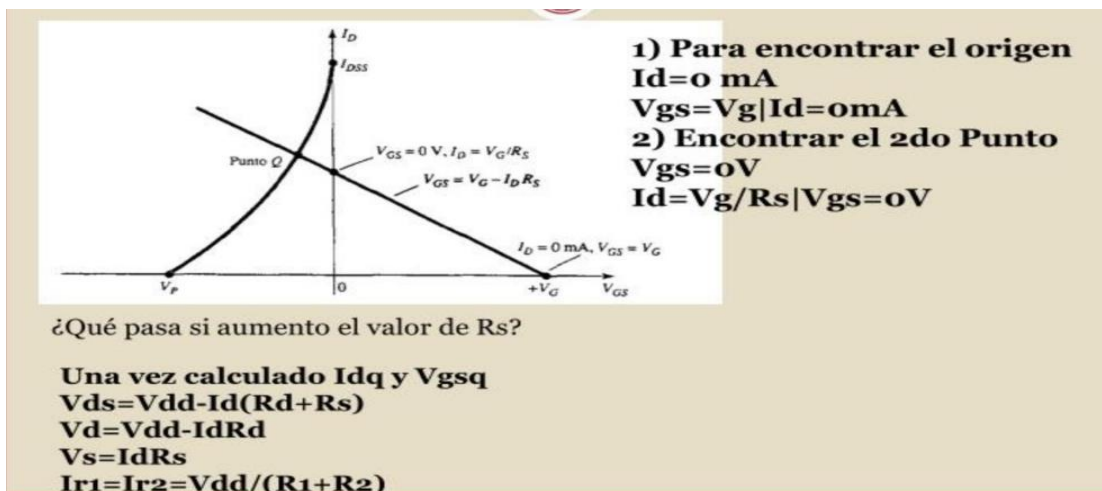


Figura 3.25 Curva de polarización universal.

3.3. Configuración en compuerta y drenador común.

Configuración de Compuerta Común en Transistores de Efecto de Campo (FET)

Introducción

La configuración de compuerta común es una de las tres configuraciones básicas en las que se puede conectar un transistor de efecto de campo (FET). Las otras dos configuraciones comunes son la de fuente común y la de drenador común. En la configuración de compuerta común, la compuerta del FET está conectada a un punto de referencia común, mientras que la señal de entrada se aplica a la fuente y la señal de salida se toma del drenador. Esta configuración presenta características únicas y es particularmente útil en aplicaciones específicas como amplificadores de alta frecuencia y en la etapa de entrada de osciloscopios.

Configuración del Circuito

En un circuito con configuración de compuerta común, la compuerta se conecta a tierra o a un punto de voltaje fijo mediante un divisor de voltaje. La fuente recibe la señal de entrada y el drenador proporciona la señal de salida.

Componentes típicos:

- **Fuente de alimentación ($V_{DDV_{DD}}V_{DD}$):** Proporciona el voltaje necesario para la operación del FET.
- **Resistor de drenador ($R_{DR_{DRD}}$):** Conectado entre el drenador y $V_{DDV_{DD}}V_{DD}$.
- **Resistor de fuente ($R_{SR_{SRS}}$):** Conectado entre la fuente y la entrada de señal.
- **Divisor de voltaje (si se usa):** Consta de resistores $R_{1R_{1R1}}$ y $R_{2R_{2R2}}$ que establecen el voltaje de la compuerta.

Configuración básica del circuito:

- La compuerta (G) está conectada a tierra a través de un divisor de voltaje o directamente.
- La señal de entrada ($V_{inV_{in}}V_{in}$) se aplica a la fuente (S).
- La señal de salida ($V_{outV_{out}}V_{out}$) se toma del drenador (D).

Características de la Configuración de Compuerta Común

1. **Impedancia de Entrada Baja:** La configuración de compuerta común presenta una impedancia de entrada baja. Esto la hace adecuada para aplicaciones donde la fuente de señal tiene una impedancia baja y se requiere un acoplamiento eficiente.
2. **Impedancia de Salida Alta:** La impedancia de salida es alta, lo cual es beneficioso para acoplar la salida a cargas de alta impedancia sin perder ganancia significativa.
3. **Ganancia de Voltaje:** La ganancia de voltaje en la configuración de compuerta común es generalmente menor que en la configuración de fuente común. Sin embargo, puede ser suficiente para muchas aplicaciones específicas. La ganancia de voltaje puede aproximarse a la unidad en muchas configuraciones prácticas.
4. **Inversión de Fase:** A diferencia de la configuración de fuente común, la configuración de compuerta común no invierte la fase de la señal. Esto significa que la señal de salida está en fase con la señal de entrada.
5. **Respuesta en Frecuencia:** La configuración de compuerta común es ideal para aplicaciones de alta frecuencia debido a su baja capacitancia de entrada. Esta característica permite una respuesta en frecuencia más amplia en comparación con otras configuraciones.

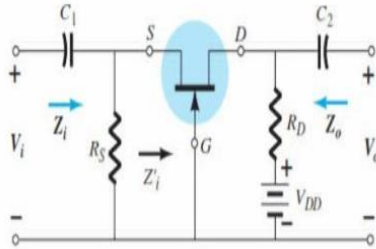
Aplicaciones de la Configuración de Compuerta Común

1. **Amplificadores de Alta Frecuencia:** Debido a su baja capacitancia de entrada y alta impedancia de salida, la configuración de compuerta común se utiliza frecuentemente en amplificadores de alta frecuencia. Estos amplificadores son esenciales en comunicaciones inalámbricas y equipos de radiofrecuencia.
2. **Buffers de Entrada:** Los buffers de entrada en osciloscopios y otros equipos de medición utilizan esta configuración debido a su baja impedancia de entrada y su capacidad para operar a altas frecuencias sin distorsión significativa.

3. **Amplificadores de Señal Pequeña:** En aplicaciones donde se requiere una amplificación de señal pequeña con alta fidelidad y sin inversión de fase, la configuración de compuerta común es una elección adecuada.

Ejemplo de Circuito de Compuerta Común

Configuración de la compuerta común del JFET



Configuración en CA del JFET

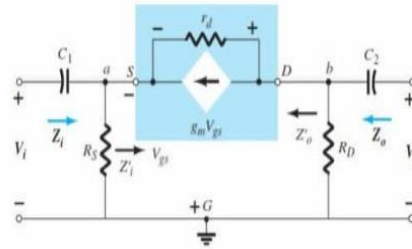
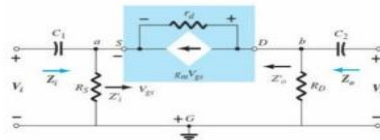


Figura 3.26 Circuito de compuerta común.

Análisis del circuito en CA



Impedancia de salida

$$Z_o = R_D \parallel r_d$$

Aplicando las leyes de kirchoff

$$v' - V_{rd} - V_{RD} = 0 \quad -V' = V_{gs}$$

$$V_{rd} = v' - V_{RD} = v' - Y \cdot R_D$$

Corriente de Kirchoff en el nodo a:

$$I' + g_m V_{gs} = I_{rd}$$

$$I' = I_{rd} - g_m V_{gs} = \frac{(V' - Y \cdot R_D)}{r_d} - g_m V_{gs}$$

$$I' = \frac{V''}{r_d} - \frac{I' R_D}{r_d} - g_m (-V'') \quad Z_i'' = \frac{V''}{I''}$$

Impedancia de entrada

$$R_D \geq 10R_D$$

$$Z_i = R_s \parallel \left[\frac{r_d + R_D}{1 + g_m r_d} \right]$$

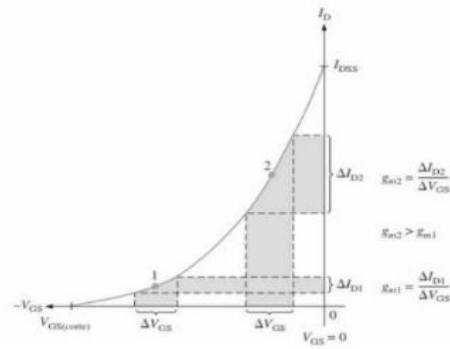
$$Z_i = R_s \parallel \frac{1}{g_m}$$

Figura 3.27 Análisis del circuito en compuerta común en CA.

Transconductancia

Gm=transconductancia

Una parte de la curva de transferencia se define un parámetro característico del transistor denominado transconductancia, la cual coincide con la pendiente de la curva de transferencia desde el punto de operación.

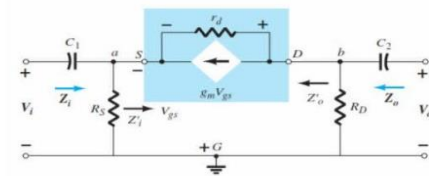


$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(corte)}} \right)$$

$$gm = \frac{2 \times I_{DSS}}{|V_P|}$$

Figura 3.28 Transconductancia

Ganancia de voltaje Av



Se deduce

$$I_{rd} = \frac{V_o - V_i}{r_d}$$

Aplicamos las leyes de Kirchhoff en el nodo b

$$I_{rd} + I_D + g_m V_{gs} = 0$$

$$I_D = -I_{rd} - g_m V_{gs} \quad I_D = -\left[\frac{V_o - V_i}{r_d} \right] - g_m [-V_i]$$

$$I_D = \left[\frac{V_i - V_o}{r_D} \right] + g_m [V_i]$$

$$V_o = I_D R_D = \left[\frac{V_i - V_o}{r_D} + g_m V_i \right] R_D$$

$$V_o = \frac{V_i R_D}{r_D} - \frac{V_o R_D}{r_D} + g_m V_i$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{\left[g_m R_D + \frac{R_D}{r_D} \right]}{\left[1 + \frac{R_D}{r_D} \right]}$$

$$r_D \gg 10 R_D$$

$$A_v \cong g_m R_D$$

Figura 3.29 Ganancia de voltaje

Configuración de Drenaje Común en Transistores de Efecto de Campo (FET)

El amplificador de drenaje común es análogo al seguidor de emisor colector común. La versión JFET también se conoce como seguidor de fuente. El prototipo de circuito amplificador con modelo de dispositivo se muestra en la Figura 3.29. Al igual que con todos los seguidores de voltaje, esperamos una ganancia de voltaje no inversora cercana a la unidad, una alta Z_{in} y baja Z_{out} .

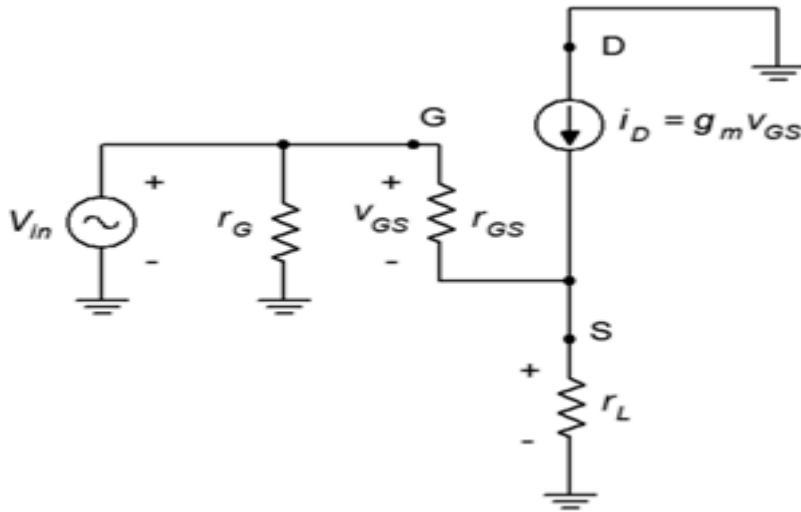


Figura 3.30 Prototipo de drenaje común (seguidor de fuente).

La señal de entrada se presenta al terminal de puerta mientras que la salida se toma de la fuente. Muchos circuitos de polarización se pueden usar aquí siempre que no tengan un terminal de fuente conectado a tierra, como polarización de voltaje constante.

Ganancia de voltaje.

Para desarrollar una ecuación para la ganancia de voltaje, A_v , seguimos el mismo camino que tomamos con el amplificador de fuente común anteriormente en este capítulo. Primero, comenzamos con la definición fundamental, a saber, que la ganancia de voltaje es la relación v_{out}/v_{in} , y procedemos expresando estos voltajes en términos de sus equivalentes de ley de Ohm.

$$\begin{aligned}
 A_v &= \frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{v_S}{v_G} \\
 A_v &= \frac{i_D r_L}{i_D r_L + v_{GS}} \\
 A_v &= \frac{g_m v_{GS} r_L}{g_m v_{GS} r_L + v_{GS}} \\
 A_v &= \frac{g_m r_L}{g_m r_L + 1}
 \end{aligned}$$

La ecuación es muy similar a la ecuación de ganancia derivada para el amplificador fuente común inundado; siendo los cambios notables la falta del signo menos que indica que este circuito no invierte la señal, y r_L reemplazando r_S en el denominador. Vale la pena recordar que r_L aquí está la resistencia de la fuente de CA mientras que en el amplificador de fuente común r_L está la resistencia al drenaje de CA. Para evitar posibles confusiones, esta ecuación también podría escribirse como

$$A_v = \frac{g_m r_S}{g_m r_S + 1}$$

En cualquier caso, el objetivo es asegurarse de eso $g_m r_S \gg 1$. Al hacerlo, la ganancia de voltaje estará muy cerca de la unidad.

Impedancia de entrada.

El análisis de la impedancia de entrada de drenaje común es prácticamente idéntico al del amplificador de fuente común inundado. El resultado se replica aquí por conveniencia.

$$Z_{in} = r_G \parallel r_{GS} \approx r_G$$

Impedancia de salida.

Para investigar la impedancia de salida, separaremos la resistencia de carga de la resistencia de polarización de la fuente, como se muestra en la Figura 11.4.211.4.2.

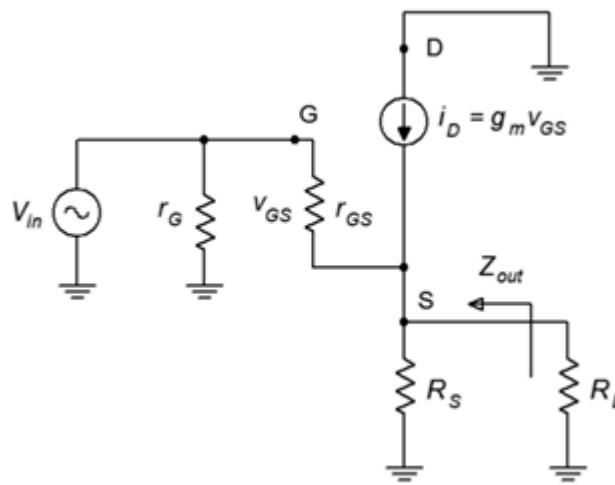


Figura 3.31 Análisis de impedancia de salida de drenaje común.

Desde la posición de R_L , mirando hacia atrás hacia la fuente nos encontramos R_S en paralelo con la impedancia mirando hacia atrás en el terminal de la fuente. El voltaje en este nodo es v_{GS} y la corriente que ingresa a este nodo es i_D . La relación de los dos debe producir la impedancia mirando hacia la fuente.

$$\begin{aligned} Z_{source} &= \frac{v_{GS}}{i_D} \\ Z_{source} &= \frac{v_{GS}}{g_m v_{GS}} \\ Z_{source} &= \frac{1}{g_m} \end{aligned}$$

Por lo tanto, la impedancia de salida es

$$Z_{out} = R_S \parallel \frac{1}{g_m}$$

Podemos esperar que este valor sea mucho más pequeño que la impedancia de salida de los amplificadores de fuente comunes típicos.

3.4. Polarización de MOSFET.

Los transistores MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) son componentes esenciales en la electrónica moderna, utilizados en aplicaciones que van desde amplificadores analógicos hasta circuitos digitales. Los MOSFETs se dividen en dos tipos principales: de canal n (NMOS) y de canal p (PMOS). La polarización adecuada de estos transistores es crucial para asegurar su correcto funcionamiento en diversas aplicaciones. Este escrito detallará los principios de polarización de ambos tipos de MOSFETs, incluyendo configuraciones comunes, análisis de puntos de operación y consideraciones prácticas.

Principios Básicos del MOSFET

El MOSFET es un dispositivo de tres terminales: la compuerta (G), el drenador (D) y la fuente (S). En los MOSFET de canal n, una tensión positiva aplicada a la compuerta respecto a la fuente permite que la corriente fluya del drenador a la fuente. En los MOSFET de canal p, una tensión negativa aplicada a la compuerta respecto a la fuente permite que la corriente fluya de la fuente al drenador.

Regiones de Operación:

1. **Corte (Cut-off):** No hay corriente de drenaje (I_D) cuando V_{GS} (voltaje de compuerta a fuente) es menor que el voltaje umbral V_{th} .
2. **Región lineal (Ohmica):** El MOSFET actúa como una resistencia controlada por voltaje cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} < V_{GS} - V_{th}$. En esta región, la corriente de drenaje es proporcional al voltaje de drenaje a fuente.
3. **Región de saturación:** El MOSFET actúa como una fuente de corriente controlada por voltaje cuando $V_{GS} > V_{th}$ y $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$. En esta región, la corriente de drenaje es independiente del voltaje de drenaje a fuente.

Polarización del MOSFET de Canal N (NMOS)

Configuración de Compuerta a Fuente Fija

En esta configuración, se aplica un voltaje constante a la compuerta respecto a la fuente. Es una configuración sencilla pero sensible a las variaciones de temperatura y a los cambios en los parámetros del MOSFET.

- **Ventajas:** Simplicidad de implementación.
- **Desventajas:** Alta sensibilidad a las variaciones de V_{th} y cambios de temperatura.

Polarización con Fuente de Corriente

Se utiliza una fuente de corriente constante entre la fuente y tierra, y la compuerta se polariza mediante una resistencia o una fuente de voltaje. Esta configuración mejora la estabilidad del punto de operación.

- **Ventajas:** Mayor estabilidad frente a variaciones de V_{th} .
- **Desventajas:** Requiere una fuente de corriente constante.

Polarización con Divisor de Voltaje

Esta configuración es común y estable. Dos resistencias en serie entre el voltaje de suministro (VDD) y tierra establecen el voltaje de compuerta, mientras que una resistencia de fuente (RSR) proporciona retroalimentación negativa.

- **Ventajas:** Buena estabilidad térmica y frente a variaciones de V_{th} .
- **Desventajas:** Mayor número de componentes pasivos necesarios.

Análisis del Punto de Operación:

$$V_G = V_{DD}(R_2/R_1 + R_2)$$

$$V_G = V_{DD}(R_1 + R_2)$$

$$V_S = I_D \cdot R_S$$

$$V_{GS} = V_G - V_S$$

Para I_D en saturación:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{th})^2$$

donde K es una constante del MOSFET.

Sustituyendo V_{GS} :

$$I_D = K(V_G - I_D \cdot R_S - V_{th})^2$$

Esta ecuación se resuelve iterativamente para encontrar I_{D1_DID} .

Polarización del MOSFET de Canal P (PMOS)

La polarización del PMOS sigue principios similares a los del NMOS, pero con polaridades invertidas debido a la naturaleza de los portadores de carga (huecos en lugar de electrones).

Configuración de Compuerta a Fuente Fija

Se aplica una tensión negativa constante a la compuerta respecto a la fuente. La simplicidad es una ventaja, pero la estabilidad es una preocupación.

- **Ventajas:** Simplicidad.
- **Desventajas:** Sensibilidad a variaciones de V_{th} y temperatura.

Polarización con Fuente de Corriente

Una fuente de corriente constante entre la fuente y tierra mejora la estabilidad. La compuerta se polariza con una resistencia o una fuente de voltaje negativa.

- **Ventajas:** Mayor estabilidad.
- **Desventajas:** Complejidad de implementación.

Polarización con Divisor de Voltaje

Dos resistencias en serie entre VDD y tierra establecen V_G , y una resistencia de fuente (R_{SR_SRS}) proporciona retroalimentación negativa.

- **Ventajas:** Estabilidad térmica y frente a variaciones de V_{th} .
- **Desventajas:** Más componentes necesarios.

Análisis del Punto de Operación:

$$V_G = V_{DD}(R_2 / (R_1 + R_2))$$

Para I_{D1} en saturación:

$$I_D = K(V_{GS} - V_{th})^2$$

Sustituyendo V_{GS} :

$$I_D = K(V_G - I_D R_S - V_{th})^2$$

Esta ecuación también se resuelve iterativamente para encontrar I_{D1} .

Comparación entre NMOS y PMOS

Los NMOS suelen ser preferidos en aplicaciones donde se requiere mayor velocidad de conmutación y menor resistencia en el estado encendido. Los PMOS, por otro lado, se utilizan cuando se necesita simplicidad en el diseño de polarización y menor consumo de energía en estado de reposo.

En circuitos CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor), ambos tipos de MOSFET se combinan para crear puertas lógicas eficientes y con bajo consumo de energía. La correcta polarización de ambos tipos de MOSFET en estos circuitos es crucial para asegurar un funcionamiento óptimo y eficiente.

Aplicaciones Prácticas**Amplificadores:**

En amplificadores de audio, la polarización adecuada de los MOSFETs asegura una amplificación lineal con baja distorsión. Los NMOS suelen usarse en las etapas de salida debido a su baja resistencia en estado encendido.

Conmutadores:

En aplicaciones de conmutación, como fuentes de alimentación conmutadas (SMPS) y reguladores de voltaje, la polarización precisa de los MOSFETs es esencial para minimizar las pérdidas de conmutación y mejorar la eficiencia energética.

Circuitos Digitales:

En los circuitos integrados digitales, como microprocesadores y memorias, los MOSFETs correctamente polarizados aseguran conmutaciones rápidas y eficientes entre los estados de encendido y apagado, lo cual es crucial para el rendimiento del sistema.

Reguladores de Voltaje:

En reguladores de voltaje lineales, la polarización adecuada de los MOSFETs permite una regulación precisa y estable del voltaje de salida, asegurando un funcionamiento confiable de los dispositivos alimentados.

El MOSFET (metal-oxide semiconductor FET, FET metal-óxido semiconductor) tiene una fuente, una puerta y un drenador. Sin embargo, el MOSFET se diferencia del JFET en que la puerta está aislada del canal. Por esta razón, la corriente de puerta es aún más pequeña que en un JFET. El MOSFET a veces

se denomina IGFET (insulated-gate FET, FET de puerta aislada). Existen dos clases de MOSFET, el tipo que opera en modo de vaciamiento y el tipo que opera en modo de enriquecimiento.

El MOSFET en modo de enriquecimiento se usa tanto en circuitos discretos como en circuitos integrados. En circuitos discretos, se aplica principalmente a circuitos de conmutación de potencia, lo que significa suministrar y bloquear corrientes grandes. En circuitos integrados, se aplica fundamentalmente en circuitos de conmutación digitales, el proceso básico que hay detrás de las modernas computadoras. Aunque su utilización ha disminuido notablemente, el MOSFET en modo de vaciamiento todavía tiene aplicación en las primeras etapas de los circuitos de comunicaciones de alta frecuencia, como por ejemplo, los amplificadores de RF.

Las formas de polarizar un MOSFET son la polarización en cero, la polarización mediante divisor de voltaje y la polarización mediante realimentación del drenaje.

Polarización de un E-MOSFET.

Debido a que los E-MOSFET deben tener un VGS mayor que el valor de umbral, VGS (umbral), no se puede utilizar la polarización en cero. La figura 8-46 muestra dos formas de polarizar un E-MOSFET (Los D-MOSFET también pueden ser polarizados por medio de estos métodos). Se utiliza un dispositivo de canal n para propósitos de ilustración. En la configuración de polarización mediante divisor de voltaje o polarización mediante realimentación del drenaje, el propósito es hacer el voltaje en la compuerta más positivo que el de la fuente en una cantidad que exceda VGS(umbral). Las ecuaciones para el análisis de la polarización mediante divisor de voltaje en la figura 8-46(a) son las siguientes:

$$V_{GS} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{DD}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D$$

donde $I_D = K(V_{GS} - V_{GS}(\text{umbral}))^2$ de acuerdo con la ecuación . En el circuito de polarización mediante realimentación del drenaje en la figura 8-46(b), hay corriente despreciable en la compuerta y, por consiguiente, ninguna caída de voltaje a través de R_G . Esto hace $V_{GS} = V_{DS}$.

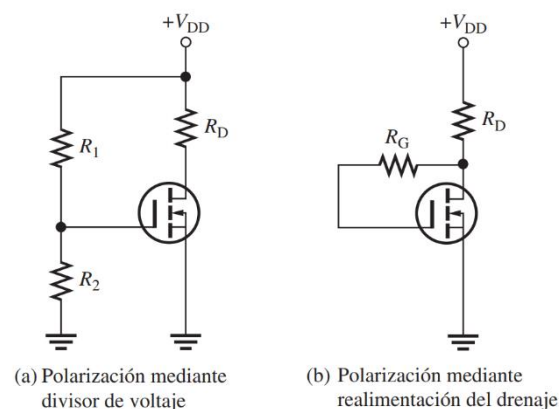


Figura 3.32 Configuraciones de Polarización de un E-MOSFET común.

Polarización de un D-MOSFET.

Recuerde que los D-MOSFET pueden ser operados con valores positivos o negativos de VGS. Un método de polarización simple es hacer $V_{GS} = 0$, de modo que una señal de ca en la compuerta haga

variar el voltaje de compuerta a fuente por encima o por debajo de este punto de polarización de 0 V. Un MOSFET con polarización en cero se muestra en la figura 8-49(a). Como $V_{GS} = 0$, $I_D = I_{DSS}$ como se indica. El voltaje de drenaje a fuente se expresa de la siguiente manera:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_{DSS} R_D$$

El propósito de R_G es aceptar una entrada de señal de ca aislándola de tierra, como muestra la figura. Como no hay corriente de cd en la compuerta, R_G no afecta la polarización en cero entre la compuerta y la fuente.

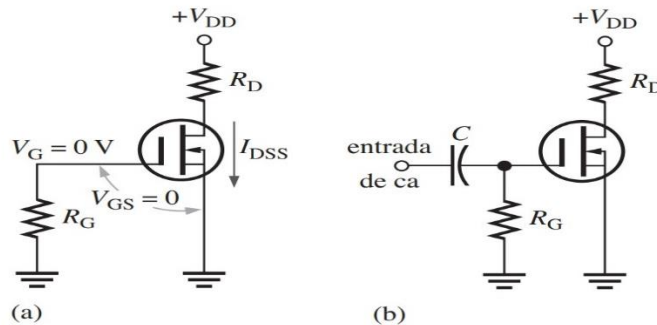


Figura 3.33 D-MOSFET polarizado en cero.

La polarización de los MOSFETs de canal n y canal p es un aspecto fundamental en el diseño de circuitos electrónicos. Comprender las diferentes configuraciones de polarización y su impacto en el comportamiento del MOSFET permite a los ingenieros diseñar sistemas más eficientes y robustos. La correcta polarización asegura que los MOSFETs operen en la región adecuada, proporcionando las características necesarias para una amplia gama de aplicaciones, desde amplificadores y conmutadores hasta circuitos integrados digitales y reguladores de voltaje. La polarización de un MOSFET involucra el establecimiento de los voltajes adecuados en sus terminales, como la puerta, el drenaje y la fuente. Esto determina el punto de operación del dispositivo, ya sea en la región de corte, triodo o saturación. Una polarización óptima permite maximizar el rendimiento del MOSFET en términos de ganancia, velocidad de conmutación, consumo de potencia y otras características clave. Los ingenieros deben considerar factores como la topología del circuito, los requisitos de la aplicación y las limitaciones del proceso de fabricación para seleccionar la polarización más apropiada. La combinación de NMOS y PMOS en circuitos CMOS destaca la importancia de una polarización precisa y equilibrada para lograr un rendimiento óptimo y un bajo consumo de energía. En estos circuitos, los dispositivos NMOS y PMOS se complementan para implementar funciones lógicas de manera eficiente. Una polarización cuidadosa asegura que ambos tipos de transistores operen en los puntos de trabajo adecuados, minimizando el consumo de potencia y maximizando la velocidad de conmutación.

3.5. Redes combinadas.

Las redes combinadas en la electrónica digital son fundamentales para la implementación de sistemas lógicos, donde las salidas dependen únicamente de las combinaciones actuales de las entradas. Cuando estas redes se implementan utilizando transistores de efecto de campo (FET), se obtienen varias ventajas como baja disipación de potencia, alta velocidad de conmutación y alta impedancia de entrada. Los FET, incluyendo los transistores de unión de

campo (JFET) y los transistores de efecto de campo metal-óxido-semiconductor (MOSFET), son ampliamente utilizados en el diseño de circuitos lógicos combinacionales. Gracias a su alta impedancia de entrada, bajo consumo de energía y rápida conmutación, los transistores FET han sido fundamentales en el desarrollo de la electrónica digital y analógica moderna. Su versatilidad y escalabilidad los han convertido en elementos clave en la fabricación de circuitos integrados de alta densidad y alto rendimiento.

Fundamentos de las Redes Combinadas con FET

En las redes combinadas con FET, los transistores funcionan como interruptores controlados por voltaje. La configuración básica de estos transistores permite construir puertas lógicas esenciales, como AND, OR y NOT, que a su vez se combinan para realizar funciones lógicas más complejas.

Características principales de las redes combinadas con FET:

- **Impedancia de entrada alta:** Los FET tienen una impedancia de entrada muy alta, lo que minimiza la carga en las señales de entrada.
- **Baja disipación de potencia:** Los FET consumen menos potencia en comparación con otros tipos de transistores, especialmente en estado de reposo.
- **Alta velocidad de conmutación:** Los FET pueden cambiar de estado rápidamente, lo que es ideal para aplicaciones de alta frecuencia.

Implementación de Puertas Lógicas con FET

Puerta NOT: La puerta NOT, o inversor, es uno de los bloques de construcción más simples y esenciales en redes combinadas. En un MOSFET de canal n, la puerta NOT se implementa conectando el drenador a VDD a través de una resistencia de carga R_D y la fuente a tierra. La señal de entrada se aplica a la compuerta. Cuando la entrada es alta, el MOSFET conduce y la salida se tira a tierra (lógica 0). Cuando la entrada es baja, el MOSFET no conduce y la salida se eleva a VDD (lógica 1).

Puerta AND: Una puerta AND puede implementarse usando MOSFET de canal n en una configuración en serie. Si ambas entradas son altas, ambos transistores conducen y la salida es baja (lógica 0), de lo contrario, la salida es alta (lógica 1).

Puerta OR: Una puerta OR se puede construir utilizando MOSFET de canal p en una configuración en paralelo. Si cualquiera de las entradas es alta, uno de los transistores conduce y la salida es baja (lógica 0). Solo si ambas entradas son bajas, ninguno de los transistores conduce y la salida es alta (lógica 1).

Diseño de Redes Combinadas con FET

El diseño de redes combinadas con FET sigue un enfoque sistemático similar al de las redes con puertas lógicas tradicionales:

1. **Especificación del problema:** Determinar la función lógica que debe realizar la red combinada.
2. **Formulación de la tabla de verdad:** Definir todas las posibles combinaciones de entradas y las correspondientes salidas deseadas.

3. **Simplificación de funciones booleanas:** Utilizar álgebra booleana o mapas de Karnaugh para simplificar las funciones lógicas.
4. **Implementación con FET:** Convertir las funciones booleanas simplificadas en un circuito utilizando transistores FET.

Ejemplo de Circuito: Supongamos que queremos diseñar un sumador de un bit (sumador completo) utilizando FET. El sumador de un bit tiene tres entradas (A, B, Carry-in) y dos salidas (Suma y Carry-out).

• Tabla de verdad:

A	B	Carry-in	Suma	Carry-out
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

• Funciones booleanas:

- Suma = A XOR B XOR Carry-in
- Carry-out = (A AND B) OR (Carry-in AND (A XOR B))

Figura 3.34 Tabla de verdad.

Estas funciones pueden implementarse utilizando puertas lógicas construidas con FET.

Ventajas de las Redes Combinadas con FET

1. **Eficiencia energética:** Debido a su baja disipación de potencia, los circuitos basados en FET son ideales para dispositivos portátiles y aplicaciones de baja potencia.
2. **Escalabilidad:** Los MOSFET, en particular, son adecuados para la fabricación a gran escala, lo que permite la integración de millones de transistores en un solo chip.
3. **Rendimiento:** La alta velocidad de conmutación de los FET permite su uso en aplicaciones de alta frecuencia y alta velocidad, como en microprocesadores y sistemas de comunicación.

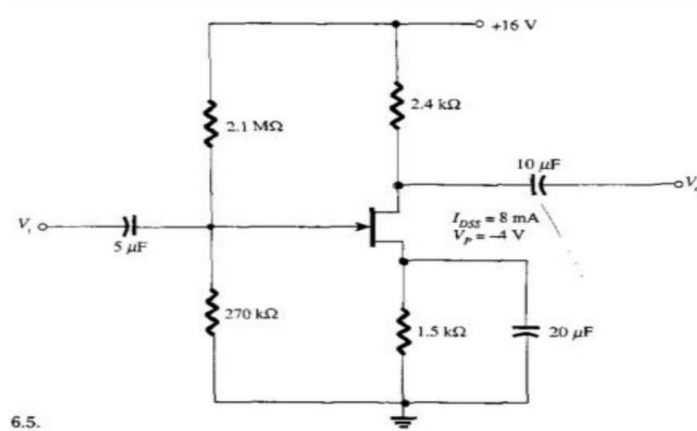
Aplicaciones de las Redes Combinadas con FET

1. **Microprocesadores:** Los FET se utilizan en la construcción de redes combinadas dentro de los microprocesadores para realizar operaciones lógicas y aritméticas.
2. **Memorias:** En celdas de memoria RAM, los FET se utilizan para crear redes combinadas que permiten el almacenamiento y la recuperación rápida de datos.
3. **Convertidores A/D y D/A:** Los convertidores analógico-digital y digital-analógico utilizan redes combinadas con FET para realizar conversiones precisas y rápidas.
4. **Sistemas de comunicación:** En los moduladores y demoduladores de señales digitales, los FET forman redes combinadas que procesan y transmiten datos de manera eficiente.

PROBLEMAS U3.

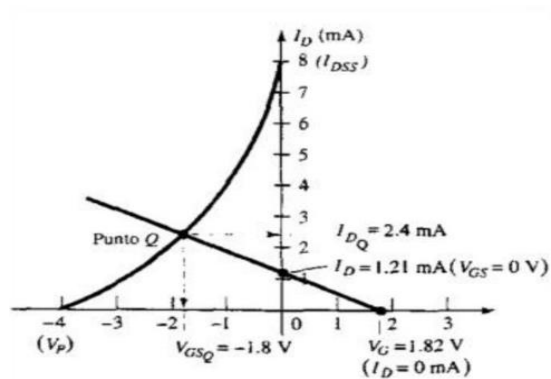
Problema 1

Resolver de acuerdo al diagrama lo siguiente.



- I_{DQ} y V_{GSQ} .
- V_D .
- V_S .
- V_{DS} .
- V_{DG} .

a)



$$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2}$$

$$= \frac{(270 \text{ k}\Omega)(16 \text{ V})}{2.1 \text{ M}\Omega + 0.27 \text{ M}\Omega}$$

$$= 1.82 \text{ V}$$

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S$$

$$= 1.82 \text{ V} - I_D (1.5 \text{ k}\Omega)$$

$$V_{GS} = +1.82 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} \text{b) } V_D &= V_{DD} - I_D R_D \\ &= 16 \text{ V} - (2.4 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega) \\ &= \mathbf{10.24 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } V_S &= I_D R_S = (2.4 \text{ mA})(1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= \mathbf{3.6 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d) } V_{DS} &= V_{DD} - I_D (R_D + R_S) \\ &= 16 \text{ V} - (2.4 \text{ mA})(2.4 \text{ k}\Omega + 1.5 \text{ k}\Omega) \\ &= \mathbf{6.64 \text{ V}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e) } V_{DS} &= V_D - V_S = 10.24 \text{ V} - 3.6 \text{ V} \\ &= \mathbf{6.64 \text{ V}} \end{aligned}$$

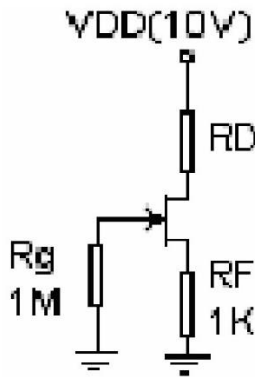
e) Aunque raras veces se solicita, el voltaje V_{DG} puede determinarse así

$$\begin{aligned} V_{DG} &= V_D - V_G \\ &= 10.24 \text{ V} - 1.82 \text{ V} \\ &= \mathbf{8.42 \text{ V}} \end{aligned}$$

Problema 2

Determine el valor máximo de R_D para que el JFET de la figura trabaje como fuente de corriente con: $I_{DQ} = 1.5 \text{ mA}$.

Datos: $V_P = -4 \text{ V}$, $I_{DSS} = 3.84 \text{ mA}$.



Para que el JFET trabaje como fuente de corriente con $I_D = 1.5 \text{ mA}$, debe trabajar en la región de saturación con $V_{DS} \geq (V_{GS} - V_P)$ y con $|V_{GS}| < |V_P|$. R_{Dmax} corresponde con $V_{DSmin} = V_{GS} - V_P$. De donde:

$$V_{GSQ} = -I_{DQ} R_F = -1.5 \cdot 1 = -1.5 \text{ V}$$

$$V_{DSmin} = V_{GSQ} - V_P = -1.5 + 4 = 2.5 \text{ V}$$

De la malla de salida:

$$R_{Dmax} = \frac{V_{DD} - V_{DSmin} - I_{DQ} R_F}{I_{DQ}} = \frac{10 - 2.5 - 1.5 \cdot 1}{1.5} = \boxed{4 \text{ k}\Omega}$$

Problema 3

Determine los siguientes parámetros para la red de la figura.

a. V_{GSQ}

b. I_{DQ} .

c. V_{DS} .

e. V_G .

f.

VS.

a. $V_{GSQ} = -V_{GG} = -2 \text{ V}$

b. $I_{DQ} = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 = 10 \text{ mA} \left(1 - \frac{-2 \text{ V}}{-8 \text{ V}} \right)^2$

$$= 10 \text{ mA} (1 - 0.25)^2 = 10 \text{ mA} (0.75)^2 = 10 \text{ mA} (0.5625)$$

$$= \mathbf{5.625 \text{ mA}}$$

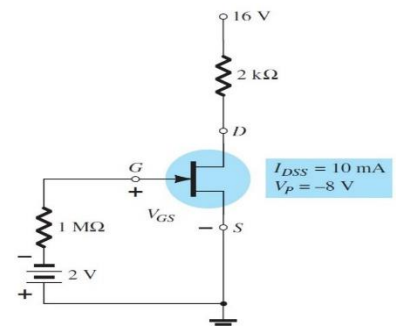
c. $V_{DS} = V_{DD} - I_D R_D = 16 \text{ V} - (5.625 \text{ mA})(2 \text{ k}\Omega)$

$$= 16 \text{ V} - 11.25 \text{ V} = \mathbf{4.75 \text{ V}}$$

d. $V_D = V_{DS} = \mathbf{4.75 \text{ V}}$

e. $V_G = V_{GS} = -2 \text{ V}$

f. $V_S = \mathbf{0 \text{ V}}$



Problema 4

¿Cuál es la tensión de drenador en el circuito de la Figura 1a?

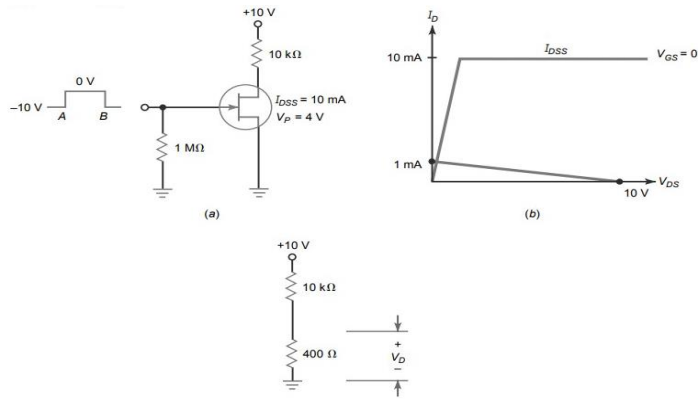


Figura 1

Puesto que $V_P = 4\text{ V}$, $V_{GS(\text{off})} = -4\text{ V}$. En cualquier instante de tiempo antes del punto A, la tensión de entrada es -10 V y el JFET está cortado. En este caso, la tensión de drenador es:

$$V_D = 10\text{ V}$$

Entre los puntos A y B, la tensión de entrada es igual a 0 V . El extremo superior de la recta de carga en continua se corresponde con una corriente de saturación de:

$$I_{D(\text{sat})} = \frac{10\text{ V}}{10\text{ k}\Omega} = 1\text{ mA}$$

La Figura 1b muestra la recta de carga en continua. Puesto que $I_{D(\text{sat})}$ es mucho menor que I_{DSS} , el JFET está en saturación fuerte.

La resistencia óhmica es:

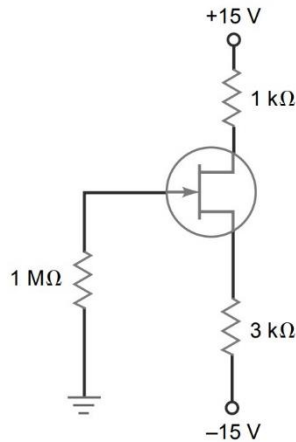
$$R_{DS} = \frac{4\text{ V}}{10\text{ mA}} = 400\ \Omega$$

En el circuito equivalente de la Figura 1c, la tensión de drenador es:

$$V_D = \frac{400\ \Omega}{10\text{ k}\Omega + 400\ \Omega} 10\text{ V} = 0,385\text{ V}$$

Problema 5

¿Cuál es la corriente de drenador en el circuito de la Figura 1? ¿Y la tensión entre el drenador y tierra?



$$I_D = \frac{15 \text{ V}}{3 \text{ k}\Omega} = 5 \text{ mA}$$

La tensión de drenador es:

$$V_D = 15 \text{ V} - (5 \text{ mA})(1 \text{ k}\Omega) = 10 \text{ V}$$

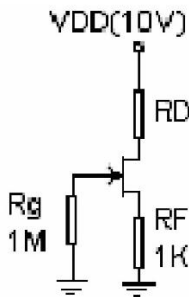
Figura 1

Problema Propuesto.

Problema 1

Determine el valor máximo de R_D para que el JFET de la figura trabaje como fuente de corriente con: $I_{DQ} = 1.5 \text{ mA}$.

Datos: $V_P = -4 \text{ V}$, $I_{DSS} = 3.84 \text{ mA}$.



Tema 4 Amplificadores con transistores BJT's y FET's.

Los amplificadores son fundamentales en la electrónica, ya que permiten aumentar la amplitud de señales débiles. Existen diversos tipos de amplificadores basados en diferentes tipos de transistores, entre los más comunes se encuentran los transistores bipolares de unión (BJT) y los transistores de efecto de campo (FET). A continuación, se presentan cinco configuraciones comunes de amplificadores utilizando BJT y FET, junto con sus diagramas y explicaciones.

1. Amplificador de Emisor Común (BJT).

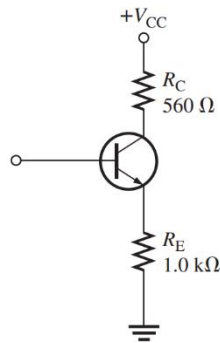


Figura 4.1 Amplificador Emisor común.

El amplificador de emisor común es una configuración básica y popular con BJT. La señal de entrada se aplica a la base (B), la salida se toma del colector (C) y el emisor (E) está conectado a tierra a través de una resistencia R_E .

- **Fuente de alimentación (V_{CC}):** Proporciona la tensión necesaria para el funcionamiento del BJT.
- **Resistencia de colector (R_C):** Ayuda a definir la ganancia del amplificador.
- **Resistencia de emisor (R_E):** Proporciona estabilización y establece el punto de operación.

La ganancia de voltaje (A_v) se puede calcular aproximadamente como:

$$A_v = -R_C/R_E$$

El signo negativo indica un cambio de fase de 180 grados entre la entrada y la salida.

2. Amplificador de Fuente Común (FET).

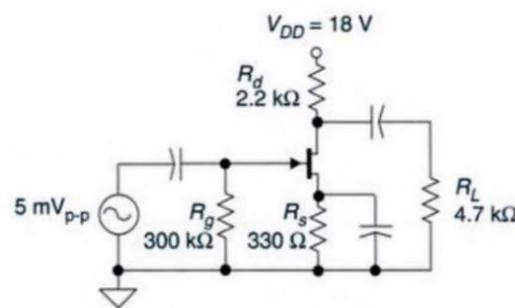


Figura 4.2 Amplificador de fuente común.

El amplificador de fuente común es una configuración típica con FET. La señal de entrada se aplica a la compuerta (G), mientras que la salida se toma del drenador (D) y la fuente (S) está conectada a tierra a través de una resistencia R_S .

- **Fuente de alimentación (V_{DD}):** Proporciona la tensión necesaria para el funcionamiento del FET.
- **Resistencia de drenaje (R_D):** Ayuda a definir la ganancia del amplificador.
- **Resistencia de fuente (R_S):** Proporciona estabilización y establece el punto de operación.

La ganancia de voltaje (A_v) se puede aproximar como:

$$A_v = -g_m(R_d \parallel R_L)$$

donde g_m es la transconductancia del FET y R_L es la carga conectada al amplificador.

3. Amplificador de Colector Común (BJT).

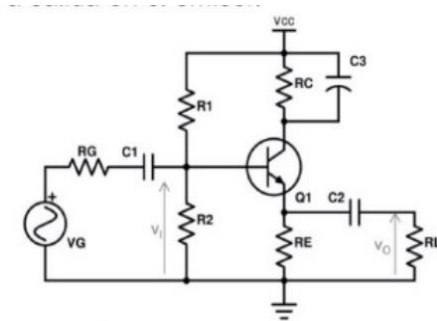


Figura 4.3 Amplificador colector común.

El amplificador de colector común, también conocido como seguidor de emisor, es una configuración con BJT que proporciona una ganancia de voltaje cercana a la unidad, pero una alta ganancia de corriente.

- **Fuente de alimentación (V_{cc}):** Proporciona la tensión necesaria.
- **Resistencia de colector (R_c):** No está presente en la configuración típica, ya que el colector está conectado directamente a V_{cc} .
- **Resistencia de emisor (R_e):** Proporciona estabilización y define el punto de operación.

El voltaje de salida se toma del emisor. La ganancia de voltaje (A_v) se aproxima a:

$$A_v \approx 1$$

4. Amplificador de Drenaje Común (FET)

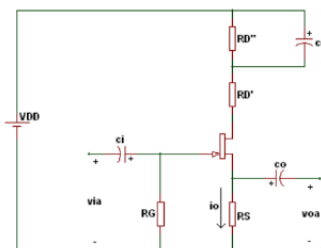


Figura 4.4 Amplificador Drenaje común.

El amplificador de drenaje común, también conocido como seguidor de fuente, es una configuración con FET que proporciona una ganancia de voltaje cercana a la unidad y es útil como buffer debido a su alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida.

- **Fuente de alimentación (V_{dd}):** Proporciona la tensión necesaria.

- **Resistencia de drenaje (R_d):** No está presente en la configuración típica, ya que el drenador está conectado directamente a V_{dd} .
- **Resistencia de fuente (R_s):** Proporciona estabilización y define el punto de operación.

El voltaje de salida se toma de la fuente. La ganancia de voltaje (A_v) se aproxima a:

$$A_v \approx 1$$

5. Amplificador Diferencial (BJT).

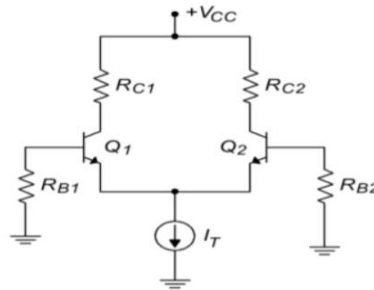


Figura 4.5 Amplificador diferencial simplificado.

El amplificador diferencial es una configuración que utiliza dos BJT para amplificar la diferencia entre dos señales de entrada.

- **Fuente de alimentación (V_{cc}):** Proporciona la tensión necesaria.
- **Resistencias de colector (R_c):** Conectan los colectores ($C1$ y $C2$) a V_{cc} .
- **Resistencia de emisor común (R_e):** Conecta ambos emisores ($E1$ y $E2$) a tierra, proporcionando estabilización y definiendo el punto de operación.

Las señales de entrada V_{in1} y V_{in2} se aplican a las bases ($B1$ y $B2$) de los dos transistores. La salida se toma de los colectores. La ganancia de voltaje diferencial (A_v) se puede aproximar como:

$$A_v \approx R_c$$

Estas configuraciones de amplificadores utilizando transistores BJT y FET son fundamentales en el diseño de circuitos electrónicos. Cada tipo de amplificador tiene sus propias características y ventajas, permitiendo a los diseñadores elegir la configuración más adecuada según los requisitos de la aplicación, como la ganancia, la impedancia de entrada y salida, y la estabilidad.

4.1. Introducción a los Amplificadores en pequeña señal.

Los transistores de unión bipolar (BJT) son componentes fundamentales en la electrónica analógica y digital. Entre sus diversas aplicaciones, los amplificadores de señal pequeña sobresalen por su capacidad de amplificar señales débiles sin distorsión significativa. En este contexto, los BJT

desempeñan un papel crucial debido a sus características de ganancia y su versatilidad de configuración. ¿Qué es un amplificador de señal pequeña? Es un dispositivo que aumenta la amplitud de señales de entrada de baja potencia (generalmente en el rango de milivoltios) para obtener una salida más fuerte, manteniendo la forma de onda original. Estos amplificadores se utilizan ampliamente en comunicaciones, audio, sensores y otras aplicaciones donde se requiere amplificar señales sin alterar su información.

Características de los BJT en Amplificadores de Pequeña Señal

Los BJT son transistores de tres capas (NPN o PNP) que operan mediante la inyección y recombinación de portadores de carga (electrones y huecos). Algunas características clave de los BJT que los hacen adecuados para amplificadores de pequeña señal son:

1. **Alta Ganancia de Corriente (β):** Los BJT pueden amplificar corrientes pequeñas en la base para producir corrientes más grandes en el colector.
2. **Buena Linealidad:** En la región activa, los BJT tienen una relación casi lineal entre la corriente de base y la corriente de colector, lo cual es ideal para amplificar señales sin distorsión.
3. **Respuesta en Frecuencia:** Los BJT pueden operar eficientemente en un rango amplio de frecuencias, desde audiofrecuencias hasta radiofrecuencias.

Principales Configuraciones de Amplificadores con BJT

Existen varias configuraciones básicas de amplificadores de pequeña señal utilizando BJT, cada una con sus propias ventajas y desventajas:

1. **Amplificador de Emisor Común (CE):**
 - **Ganancia de Voltaje:** Alta
 - **Impedancia de Entrada:** Media
 - **Impedancia de Salida:** Alta
 - **Fase:** Inversión de 180 grados entre entrada y salida
 - **Aplicación:** Se utiliza cuando se requiere una alta ganancia de voltaje.
2. **Amplificador de Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor:**
 - **Ganancia de Voltaje:** Aproximadamente 1
 - **Impedancia de Entrada:** Alta
 - **Impedancia de Salida:** Baja
 - **Fase:** No hay inversión de fase entre entrada y salida
 - **Aplicación:** Se utiliza principalmente como buffer para acoplar impedancias.
3. **Amplificador de Base Común (CB):**
 - **Ganancia de Voltaje:** Alta
 - **Impedancia de Entrada:** Baja
 - **Impedancia de Salida:** Alta

- **Fase:** No hay inversión de fase entre entrada y salida
- **Aplicación:** Se utiliza en aplicaciones de alta frecuencia debido a su baja impedancia de entrada.

Análisis de Pequeña Señal

Para diseñar y analizar amplificadores de pequeña señal con BJT, se utiliza el modelo de pequeña señal. Este modelo simplifica el comportamiento del transistor en la región activa mediante el uso de parámetros como la transconductancia (g_m) y la resistencia interna (r_π).

1. **Modelo de Pequeña Señal h-Parameter:** Este modelo utiliza parámetros híbridos (h-parameters) que describen las relaciones entre voltaje y corriente en las tres terminales del transistor.
2. **Modelo T:** Representa el transistor en términos de una fuente de corriente controlada por voltaje.

Estos modelos permiten calcular la ganancia, la impedancia de entrada y salida, y la respuesta en frecuencia del amplificador.

Los amplificadores de pequeña señal utilizando BJT son esenciales en numerosos sistemas electrónicos debido a su capacidad para amplificar señales débiles con alta fidelidad. Comprender las configuraciones básicas y los principios de operación de estos amplificadores es crucial para diseñar y optimizar circuitos en aplicaciones prácticas. Con su versatilidad y rendimiento, los BJT continúan siendo una opción popular para el diseño de amplificadores de pequeña señal.

La polarización de un transistor es estrictamente una operación de cd. El propósito de la polarización es establecer un punto Q sobre el que las variaciones de corriente y voltaje puedan ocurrir en respuesta a una señal de entrada de ca. En aplicaciones en las que voltajes de señal pequeños deben ser amplificados —tales como los provenientes de una antena o un micrófono—, las variaciones con respecto al punto Q son relativamente pequeñas. Los amplificadores diseñados para manejar estas señales pequeñas de cd a menudo se conocen como amplificadores de señal pequeña. Uno de los bloques funcionales más importantes de los sistemas electrónicos es el amplificador. Probablemente ya conozcan el concepto de amplificación. La función de un amplificador de voltaje es generar una señal de salida que tenga la misma forma de onda que la señal de entrada, pero con una amplitud mayor.

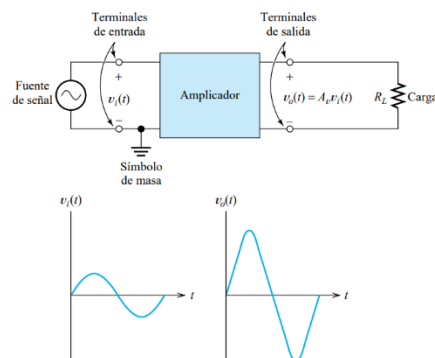


Figura 1.15. Amplificador electrónico.

Figura 4.6 Amplificador electrónico.

Este concepto se ilustra en la Figura 4.6. La fuente de señal produce una señal $v_i(t)$, que se aplica a los terminales de entrada del amplificador, el cual genera una señal de salida.

La tensión de salida es igual a la tensión de entrada multiplicada por la ganancia de tensión.

$$v_o(t) = A_v v_i(t)$$

a través de una resistencia de carga R_L conectada a los terminales de salida. La constante A_v es la ganancia de tensión del amplificador. La magnitud de la ganancia de tensión suele ser mucho mayor que la unidad, pero se comprobará más adelante que se puede producir una amplificación útil aunque A_v sea menor que la unidad en cuanto a magnitud.

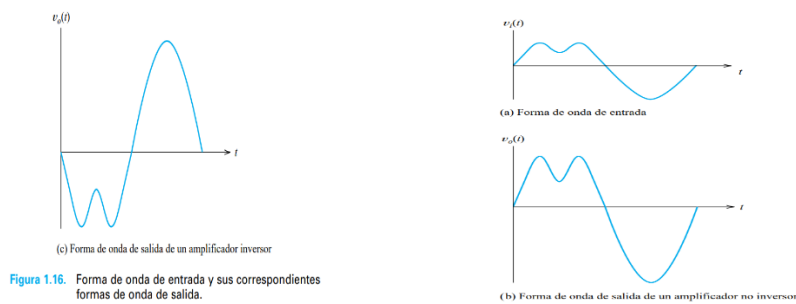


Figura 4.7 Forma de onda de entrada y sus correspondientes formas de onda de salida.

4.2. Amplificador con BJT.

Un amplificador con BJT (transistor bipolar de unión) es un circuito que utiliza transistores bipolares para amplificar señales eléctricas. Estos amplificadores son ampliamente utilizados debido a su capacidad de proporcionar amplificación de señal con buena ganancia y baja distorsión.

Configuraciones Comunes de Amplificadores con BJT

1. Configuración en Emisor Común (CE):

- **Características:** Proporciona alta ganancia de voltaje, inversión de fase (180°) entre la señal de entrada y salida.
- **Aplicaciones:** Amplificación de señal en audio, etapas de amplificación en radios y televisores.

2. Configuración en Base Común (CB):

- **Características:** Baja impedancia de entrada, alta impedancia de salida, no invierte la fase de la señal.

- **Aplicaciones:** Amplificación de señales de alta frecuencia, como en RF (radiofrecuencia).

3. Configuración en Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor:

- **Características:** Alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida, ganancia de voltaje cercana a 1, no invierte la fase.
- **Aplicaciones:** Adaptación de impedancias, buffers.

4.2.1. Modelo re.

El modelo **re** es un método popular y simplificado para analizar el comportamiento de pequeñas señales en transistores bipolares de unión (BJT). Este modelo se basa en la representación del transistor en términos de resistencias y fuentes de corriente, facilitando el análisis de circuitos amplificadores en la región activa. A continuación, se describen los componentes principales del modelo re, su estructura y su aplicación en el análisis de BJT.

Componentes del Modelo re.

El modelo re de un transistor BJT incluye los siguientes componentes:

1. **re:** Es la resistencia intrínseca del emisor, que representa la resistencia diferencial vista entre la base y el emisor en la región activa. Está definida como:

$$r_e = V_T / I_E$$

donde V_T es el voltaje térmico (aproximadamente 26 mV a temperatura ambiente) e I_E es la corriente de emisor.

2. **β :** Es la ganancia de corriente del transistor, definida como la relación entre la corriente de colector (I_C) y la corriente de base (I_B):

$$\beta = I_C / I_B$$

3. **gm:** Es la transconductancia, que relaciona la corriente de colector con el voltaje base-emisor (V_{BE}):

$$g_m = I_C / V_T$$

Estructura del Modelo re:

El modelo re se puede representar mediante un circuito equivalente de pequeña señal que incluye una resistencia r_e , una fuente de corriente controlada por voltaje y la resistencia de carga. A continuación, se presenta la estructura típica del modelo re para un transistor NPN:

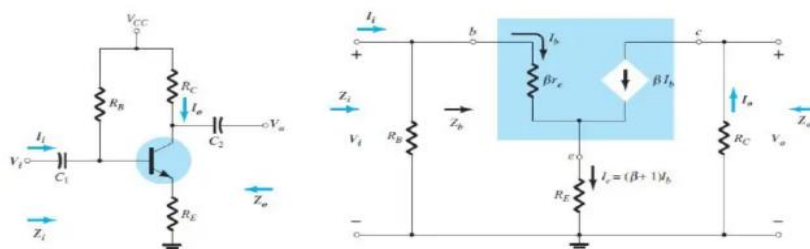


Figura 4.8 Estructura típica del modelo re.

Análisis del Modelo re:

Para analizar un amplificador utilizando el modelo re, se siguen estos pasos:

1. **Identificar la corriente de emisor IE:** Se determina la corriente de emisor en la condición de polarización de DC.
2. **Calcular re:** Utilizando la relación $r_e = V_T / I_E$.
3. **Dibujar el circuito equivalente de pequeña señal:** Sustituir el BJT por su modelo re en el circuito de pequeña señal.
4. **Aplicar las leyes de Kirchhoff:** Utilizar las leyes de Kirchhoff para analizar el circuito y determinar las ganancias de voltaje y corriente.

Modelo re.

Está basado en parámetros de resistencias internas del transistor que se evidencian en operación de ca.

PARÁMETRO r	DESCRIPCIÓN
α_{ca}	alfa de ca (I_c / I_e)
β_{ca}	beta de ca (I_c / I_b)
r_e	resistencia de ca en el emisor
r_b	resistencia de ca en la base
r_c	resistencia de ca en el colector

Figura 4.9 Parámetros de resistencias internas del transistor.

CONFIGURACION EN EMISOR COMUN.

La entrada del circuito se da entre emisor y base, considerando que esta unión ha sido polarizada directamente en dc:

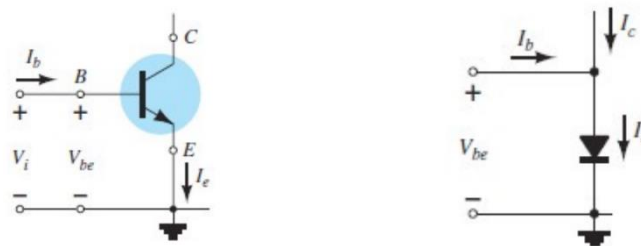


Figura 4.10 Polarización del BJT en emisor común.

$$V_i = V_{be}$$

I_b = corriente de entrada.

La grafica (a) muestra la corriente del emisor en función de diferentes valores de voltaje colector emisor.

Tomando el valor promedio de las curvas de la gráfica (a) se obtiene la curva única de la figura (b) la cual es de un diodo polarizado en directa.

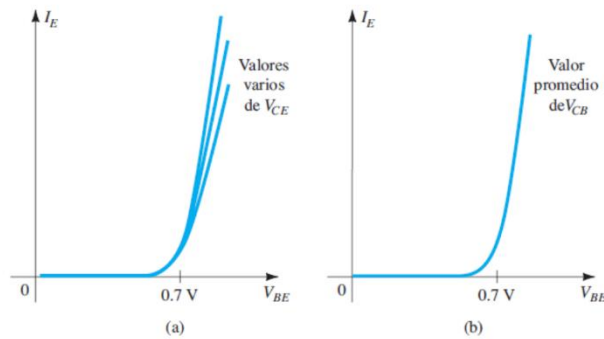


Figura 4.11 Definición de la curva promedio para las características.

Para este circuito equivalente el lado de entrada es un diodo con una corriente I_e . Ahora hay que agregar un componente que establecerá dicha corriente:

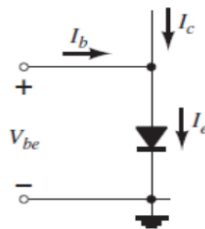


Figura 4.12 Circuito equivalente.

Si redibujamos las características del colector para tener una β constante, todas las características en la sección de salida pueden ser remplazadas por una fuente controlada cuya magnitud es β veces la corriente de base.

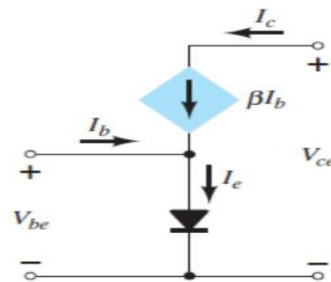


Figura 4.13 Circuito equivalente del BJT.

Se puede mejorar remplazando primero el diodo por su resistencia equivalente.

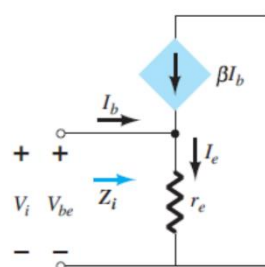


Figura 4.14 Definición del nivel de Z_i .

Aislamos los circuitos de entrada y salida y quedan vinculados solo por la fuente controlada.

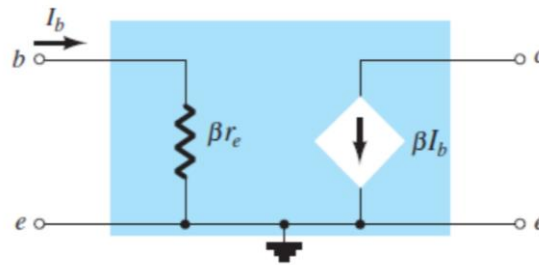


Figura 4.15 Circuito equivalente mejorado de un BJT.

Esta es una mejor manera para trabajar con circuitos, pero es inconveniente para calcular la impedancia.

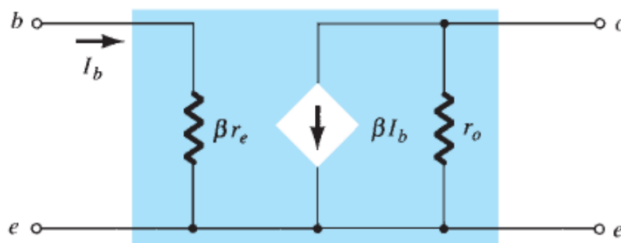
$$Z_i = \frac{V_i}{I_i} = \frac{V_{be}}{I_b}$$

$$V_{be} = I_e r_e = (I_c + I_b) r_e = (\beta I_b + I_b) r_e$$

$$= (\beta + 1) I_b r_e$$

$$Z_i = \frac{V_{be}}{I_b} = \frac{(\beta + 1) I_b r_e}{I_b} = (\beta + 1) r_e \cong \beta r_e$$

Para solucionar este problema se agrega un nuevo componente al circuito equivalente (ro=resistencia de salida)



$$r_o = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$$

Figura 4.16 Modelo re de la configuración de transistor en emisor común incluido el efecto re.

CONFIGURACION EN BASE COMUN.

El circuito equivalente que se muestra tiene una configuración similar a la del emisor común.

En el circuito de salida la corriente del colector está relacionada con la del emisor por α .

Sin embargo, la fuente controlada que define la corriente del colector se opone a la dirección de la fuente controlada de la configuración del emisor común.

La dirección de corriente del colector en el circuito de salida se opone ahora a la corriente de salida definida.

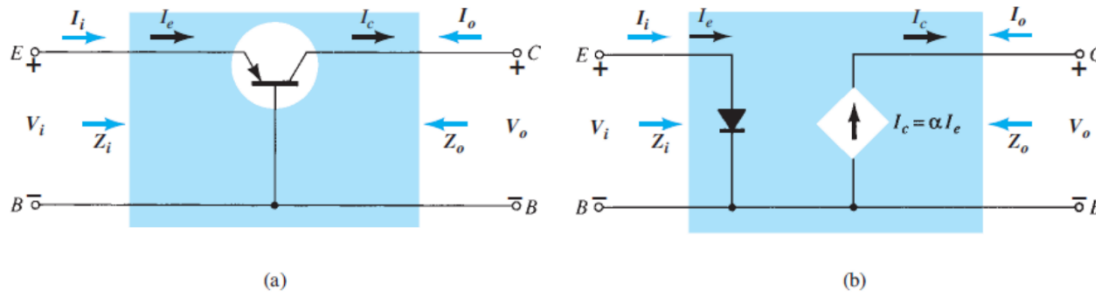


Figura 4.17 Transistor BJT en base común (a), circuito equivalente (b).

El diodo puede ser remplazado por una resistencia equivalente (determinada por la corriente del emisor) para la respuesta de C.A. y se determina por:

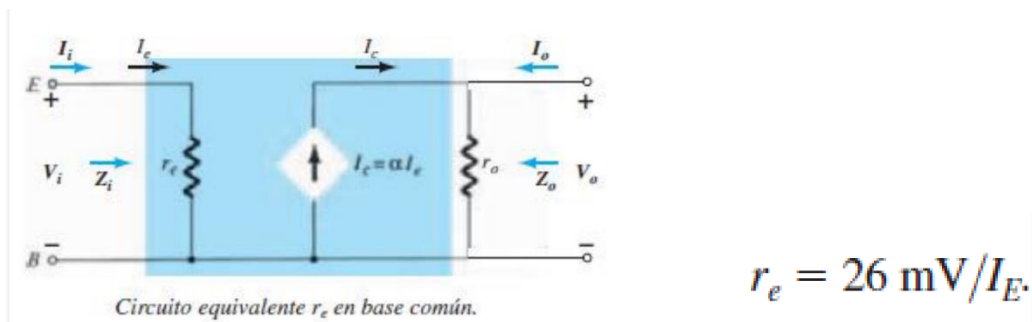


Figura 4.18 Circuito equivalente r_e en base comun.

En la gráfica se puede apreciar que la resistencia de salida r_o es muy alta y que tienen una impedancia de entrada muy baja.

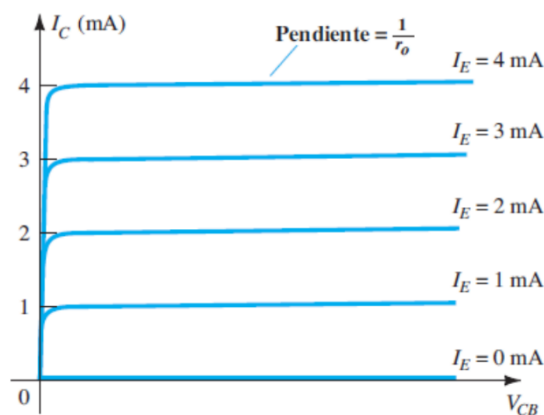


Figura 4.19 Grafica.

Aunque las corrientes de salida y salida definida sean opuestas no existe desfaseamiento entre los voltajes de entrada y salida.

CONFIGURACION DEL COLECTOR COMUN

Para la configuración en colector común, normalmente se aplica el modelo definido para la configuración de emisor común.

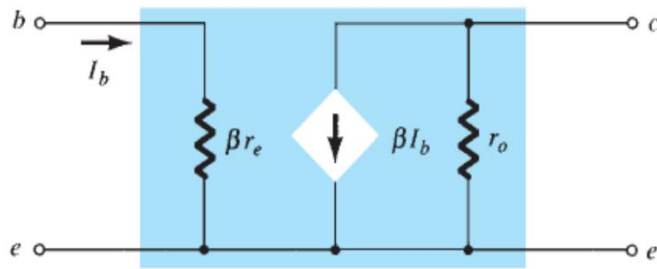


Figura 4.20 Modelo re de la configuración de transistor en emisor.

4.2.2. Parámetros de redes de 2 puertos.

Las redes de dos puertos son circuitos en que se define un par de terminales como puerto de entrada y otro par de terminales como puerto de salida. Ejemplos de redes de dos puertos son los amplificadores y los filtros. Una red de dos puertos puede conectarse con un generador o una carga. También puede conectarse con otra red de dos puertos para constituir una red de dos puertos más compleja. Ecuaciones y parámetros de redes lineales de dos puertos Se definen como variables de redes de dos puertos: el voltaje de entrada V_1 , la corriente de entrada I_1 , el voltaje de salida V_2 , y la corriente de salida I_2 . De estas cuatro variables, se seleccionan dos como variables independientes y dos como variables dependientes.

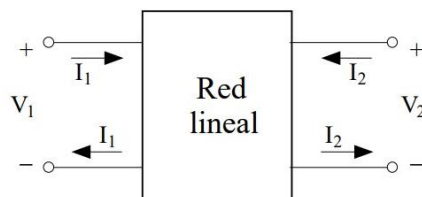


Figura 4.21 Red de doble puerto.

Las ecuaciones de una red lineal de dos puertos expresan a las dos variables dependientes como una combinación lineal de las dos variables independientes. Se utilizan para modelar el comportamiento de la red vista desde sus terminales. Los cuatro coeficientes de las mencionadas combinaciones lineales se denominan parámetros de la red. Existen diversos conjuntos de parámetros, de acuerdo a cuáles variables se eligen como independientes.

Parámetros de impedancia.

Para modelar a una red con parámetros de impedancia, o parámetros Z , se elige como variables independientes a las corrientes, I_1 e I_2 :

$$V_1 = z_{11}I_1 + z_{12}I_2$$

$$V_2 = z_{21}I_1 + z_{22}I_2$$

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}}_{[Z]} \underbrace{\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}}_{[I]}$$

Determinación de los parámetros Z de las ecuaciones de red con parámetros Z es fácil encontrar que:

$$z_{11} = \left. \frac{V_1}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad \left| \quad z_{12} = \left. \frac{V_1}{I_2} \right|_{I_1=0} \quad \left| \quad z_{21} = \left. \frac{V_2}{I_1} \right|_{I_2=0} \quad \left| \quad z_{22} = \left. \frac{V_2}{I_2} \right|_{I_1=0}$$

• z_{11} y z_{21} se determinan dejando el puerto de salida en circuito abierto, y excitando el puerto de entrada. Por ello se denominan impedancia de entrada con la salida en circuito abierto e impedancia de transferencia con la salida en circuito abierto, respectivamente. • z_{22} y z_{12} se determinan dejando el puerto de entrada en circuito abierto, y excitando el puerto de salida. Por ello se denominan impedancia de salida con la entrada en circuito abierto e impedancia de transferencia con la entrada en circuito abierto, respectivamente.

Modelo de la red con parámetros Z.

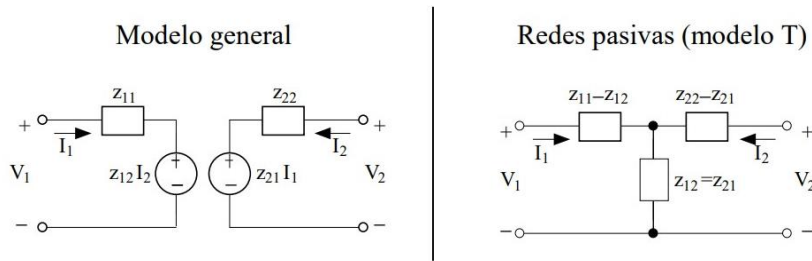


Figura 4.22 Modelo de la red con parámetros Z.

PARÁMETROS DE ADMITANCIA Para modelar a una red con parámetros de admitancia, o parámetros Y, se elige como variables independientes a los voltajes, V_1 y V_2 :

$$\begin{aligned} I_1 &= y_{11}V_1 + y_{12}V_2 \\ I_2 &= y_{21}V_1 + y_{22}V_2 \end{aligned} \quad \left| \quad \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Determinación de los parámetros Y.

De las ecuaciones de red con parámetros Y es fácil encontrar que:

$$y_{11} = \left. \frac{I_1}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad \left| \quad y_{12} = \left. \frac{I_1}{V_2} \right|_{V_1=0} \quad \left| \quad y_{21} = \left. \frac{I_2}{V_1} \right|_{V_2=0} \quad \left| \quad y_{22} = \left. \frac{I_2}{V_2} \right|_{V_1=0}$$

• y_{11} y y_{21} se determinan con el puerto de salida en corto circuito, y excitando el puerto de entrada. Por ello se denominan admitancia de entrada con la salida en corto circuito y admitancia de transferencia con la salida en corto circuito, respectivamente.

• y_{22} y y_{12} se determinan con el puerto de entrada en corto circuito, y excitando el puerto de salida. Por ello se denominan admitancia de salida con la entrada en corto circuito y admitancia de transferencia con la entrada en corto circuito, respectivamente.

4.2.3. Modelo Híbrido.

En un amplificador de **transistores bipolares** aparecen dos tipos de corrientes y tensiones: continua y alterna. La componente en continua o DC polariza al transistor en un punto de trabajo localizado en la región lineal. Este punto está definido por tres parámetros: I_{CQ} , I_{BQ} y V_{CEQ} .

La componente en alterna o AC, generalmente de pequeña señal, introduce pequeñas variaciones en las corrientes y tensiones en los terminales del **transistor** alrededor del punto de trabajo. Por consiguiente, si se aplica el principio de superposición, la I_C , I_B y V_{CE} del transistor tiene dos componentes: una continua y otra alterna, de forma que:

$$\begin{aligned} I_C &= I_{CQ} + i_c \\ I_B &= I_{BQ} + i_b \\ V_{CE} &= V_{CEQ} + v_{ce} \end{aligned}$$

donde I_{CQ} , I_{BQ} y V_{CEQ} son componentes DC, e i_c , i_b y v_{ce} son componentes en alterna, verificando que $i_c \ll I_{CQ}$, $i_b \ll I_{BQ}$ y $v_{ce} \ll V_{CEQ}$

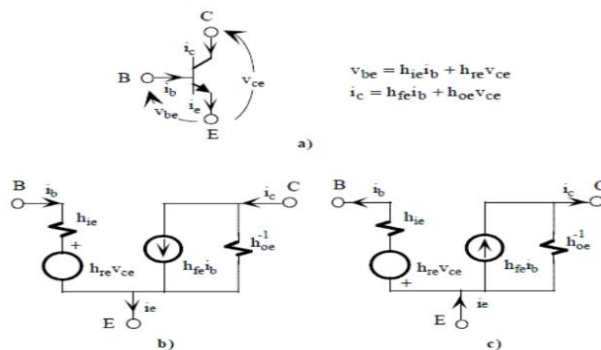


Figura 4.23 Parámetros h del transistor en emisor común.

El transistor para las componentes en alterna se comporta como un circuito lineal que puede ser caracterizado por el modelo híbrido o modelo de parámetros $\{H\}$. De los cuatro posibles parámetros descritos en las ecuaciones 2.1, los h son los que mejor modelan al transistor porque relacionan las corrientes de entrada con las de salida, y no hay que olvidar que un **transistor bipolar** es un dispositivo controlado por intensidad.

Los parámetros h de un transistor, que se van a definir a continuación, se obtienen analizando su comportamiento a variaciones incrementales en las corrientes (i_b , i_c) y tensiones (v_{be} , v_{ce}) en sus terminales. En la figura 4.23a se muestran las ecuaciones del modelo híbrido cuando el transistor está operando con el emisor como terminal común al colector y la base (configuración emisor-común o EC).

El modelo híbrido de pequeña señal en E-C de un transistor NPN y PNP se indican en las figuras 4.23b y 4.23c respectivamente. Ambos modelos son equivalentes y únicamente difieren en el sentido de las corrientes y tensiones para dar coherencia al sentido de esas mismas corrientes y tensiones en continua.

Las expresiones de ganancia en corriente, ganancia en tensión, impedancia de entrada e impedancia de salida correspondientes a las ecuaciones 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 son idénticas para ambos transistores, como se puede comprobar fácilmente. En la figura 4.24, se definen de una manera gráfica los cuatro parámetros h extraídos a partir de las características eléctricas de un transistor NPN.

Obtención de parámetros $\{H\}$ de características del transistor.

En la figura 4.24, se definen de una manera gráfica los cuatro parámetros h extraídos a partir de las características eléctricas de un transistor NPN.

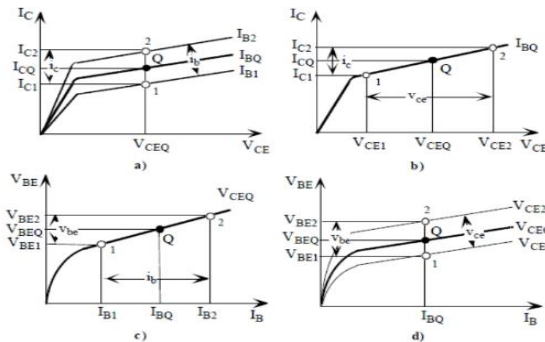


Figura 4.24 Definición gráfica de los parámetros h .

La definición gráfica de h_{fe} se encuentra en la figura 4.24a. Valor típico $h_{fe}=200$.

La definición gráfica de h_{oe} se encuentra en la figura 4.24b. Valor típico $h_{oe} = 24 \mu A/V = 1/24 \mu ohmios. \Rightarrow 1/h_{oe} = 41.5 Kohmios$

La definición gráfica de h_{ie} se encuentra en la figura 4.24c. Valor típico $h_{ie} = 5 Kohmios$

La definición gráfica de h_{re} se encuentra en la figura 4.24d. Valor típico $h_{re}=3 \cdot 10^{-4}$

Variación de parámetros $\{H\}$ con la corriente y temperatura en un transistor

Los parámetros $\{H\}$ varían de un transistor a otro. Pero, además, en cada transistor varían principalmente con la corriente de colector y con la temperatura.

En la figura 4.25 se muestran dos gráficas normalizadas para un transistor PNP:

- la primera (figura 4.25a) indica el porcentaje de variación de los parámetros h respecto a los parámetros medidos con una $I_C = -1.0 mA$ y $V_{CE} = -5 V$, y ...
- la segunda gráfica (figura 4.25b) indica su porcentaje de variación respecto a los medidos a la temperatura a $25 ^\circ C$.

El fabricante suele proporcionar gráficas que relacionan estos parámetros con la I_C a diferentes temperaturas.

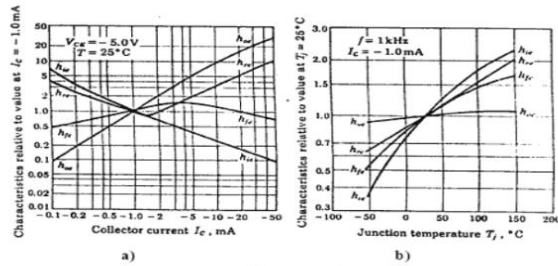


Figura 2.8.

Variaciones normalizadas de los parámetros h en emisor-común de un transistor PNP

a) con I_C respecto a los medidos con una $I_C = -1.0 \text{ mA}$ y $V_{CE} = -5 \text{ V}$, y

b) con la temperatura respecto a los medidos a 25°C .

Figura 4.25 Variaciones normalizadas de los parámetros h .

4.2.4. Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones.

Los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones del BJT (Transistor Bipolar de Unión) son esenciales para analizar y diseñar amplificadores eficientes. A continuación, se describen los parámetros clave y sus expresiones en las configuraciones de emisor común (CE), colector común (CC) y base común (CB).

Parámetros en Pequeña Señal

1. **Ganancia de Voltaje (A_v)**
2. **Ganancia de Corriente (A_i)**
3. **Impedancia de Entrada (R_{in})**
4. **Impedancia de Salida (R_{out})**

Configuración en Emisor Común (CE)

Ganancia de Voltaje (A_v)

$$A_v = -g_m(r_{ds} \parallel R_D)$$

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i = I_c I_b = \beta A$$

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} = r_{\pi} + (1 + \beta)$$

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} = R_C \parallel R_E$$

Configuración en Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor

Ganancia de Voltaje (A_v)

$$A_v \approx R_E || R_L$$

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i = \beta + 1$$

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} = r_{\pi} + (1 + \beta)(R_E || R_L)$$

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} = R_E || R_L$$

Configuración en Base Común (CB)

Ganancia de Voltaje (A_v)

$$A_v = \alpha(R_C || R_L)$$

Donde $\alpha \approx 1$ resistencia intrínseca del emisor ($r_e \approx V_T / I_E$).

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i \approx \alpha$$

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} = r_e \alpha R$$

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} = R_C$$

Componentes y Parámetros del Modelo de Pequeña Señal

- $r_{\pi} = \beta V_T / I_B$: Resistencia de entrada base-emisor.
- $r_e \approx V_T / I_E$: Resistencia intrínseca del emisor.
- β Ganancia de corriente del transistor ($\beta = I_C / I_B$).
- V_T : Voltaje térmico a temperatura ambiente).
- R_C : Resistencia de colector.
- R_E : Resistencia de emisor.
- R_L : Resistencia de carga.

Resumen

- **Emisor Común (CE)**: Alta ganancia de voltaje, impedancia de entrada media, inversión de fase de 180°.
- **Colector Común (CC)**: Ganancia de voltaje cercana a 1, alta ganancia de corriente, alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida, no inversión de fase.
- **Base Común (CB)**: Alta ganancia de voltaje, baja impedancia de entrada, alta impedancia de salida, no inversión de fase.

El análisis en pequeña señal utiliza estos parámetros para predecir el comportamiento del amplificador en respuesta a señales AC pequeñas, permitiendo optimizar el diseño y el rendimiento del amplificador en diferentes aplicaciones.

4.2.5. Efecto de la resistencia R_s y R_L .

La resistencia de la fuente (R_s) y la resistencia de carga (R_L) tienen un impacto significativo en el desempeño de los amplificadores con BJT (Transistor Bipolar de Unión). A continuación, se describe cómo estas resistencias afectan a los amplificadores en configuración de emisor común, colector común y base común.

Efecto de la Resistencia de la Fuente (R_s)

La resistencia de la fuente (R_s) es la resistencia interna de la fuente de señal que alimenta al amplificador.

En Emisor Común (CE)

1. Impedancia de Entrada:

- La impedancia de entrada total vista por la fuente es la combinación en paralelo de R_s y la impedancia de entrada del amplificador (R_{in}).
- Si R_s es grande comparado con R_{in} , la señal de entrada efectiva que llega al amplificador será menor, reduciendo la ganancia.

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje (A_v) efectiva se ve reducida por la división de tensión entre R_s y R_{in} .

$$A_v' = A_v \cdot R_{in} / (R_{in} + R_s)$$

Donde: A_v es la ganancia sin considerar R_s .

En Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor

1. Impedancia de Entrada:

- La configuración de colector común generalmente presenta una alta impedancia de entrada. Sin embargo, R_s puede afectar la señal que llega a la base del transistor si es comparativamente grande.

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje es cercana a 1 y no se ve significativamente afectada por R_s .

En Base Común (CB)

1. Impedancia de Entrada:

- La impedancia de entrada en la configuración de base común es baja. Una R_s alta puede afectar la señal de entrada.

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje es alta y R_s puede reducir la señal efectiva de entrada, afectando la ganancia total.

Efecto de la Resistencia de Carga (RL)

La resistencia de carga (RL) es la resistencia conectada a la salida del amplificador.

En Emisor Común (CE)

1. Impedancia de Salida:

- La impedancia de salida del amplificador (R_{out}) en paralelo con RL determina la carga total. Un RL bajo disminuye la impedancia de salida total.

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje se reduce si RL es bajo, ya que parte de la señal de salida se "pierde" a través de RL.

$$A_v' = A_v \cdot R_L / (R_L + R_{Lout})$$

Donde: A_v es la ganancia sin considerar RL.

En Colector Común (CC) o Seguidor de Emisor

1. Impedancia de Salida:

- La configuración de colector común tiene una baja impedancia de salida y puede acoplarse eficientemente a una carga baja (RL).

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje permanece cercana a 1 y no se ve significativamente afectada por RL, pero la capacidad de entregar corriente a RL es crucial.

En Base Común (CB)

1. Impedancia de Salida:

- La configuración de base común presenta una alta impedancia de salida, por lo que RL no tiene un efecto tan significativo en la impedancia total.

2. Ganancia de Voltaje:

- La ganancia de voltaje se ve afectada por RL similar a la configuración en emisor común, donde una RL baja puede reducir la ganancia total.

Hay que tener en cuenta que:

- **Resistencia de la Fuente (R_s):** Afecta la impedancia de entrada y la señal efectiva de entrada en todas las configuraciones. En emisor común, reduce la ganancia de voltaje efectiva.
- **Resistencia de Carga (RL):** Afecta la impedancia de salida y la ganancia de voltaje efectiva. Una RL baja reduce la ganancia en emisor común y base común, pero no afecta significativamente la ganancia en colector común.

El diseño adecuado de los valores de R_s y R_L es crucial para asegurar un rendimiento óptimo del amplificador BJT.

4.2.6. Análisis por computadora.

El análisis por computadora de circuitos amplificadores es una herramienta poderosa que permite a los ingenieros diseñar, simular y optimizar circuitos de manera eficiente y precisa. Utilizando software de simulación como SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), es posible prever el comportamiento de un circuito antes de construirlo físicamente, lo que ahorra tiempo y recursos. A continuación, se describen los pasos y beneficios del análisis por computadora de los circuitos amplificadores.

Pasos para el Análisis por Computadora

1. Selección del Software de Simulación:

- Existen varios programas de simulación de circuitos, entre los más populares se encuentran LTspice, PSpice, Multisim, y TINA-TI.
- Cada software tiene sus propias características y ventajas, por lo que es importante elegir uno que se adapte a las necesidades específicas del proyecto.

2. Modelado del Circuito:

- **Creación del Esquema:** Dibujar el circuito utilizando las herramientas de esquemático del software. Esto incluye componentes como transistores, resistencias, condensadores, fuentes de alimentación y cualquier otro componente necesario.
- **Definición de los Parámetros del Modelo:** Especificar los parámetros exactos de cada componente, como el valor de las resistencias, las características de los transistores (β , V_{be} , etc.), y las capacitancias.

3. Configuración de la Simulación:

- **Tipo de Análisis:** Seleccionar el tipo de análisis que se desea realizar, como análisis DC, AC, transitorio, y análisis de ruido.
- **Puntos de Análisis:** Definir los puntos de interés en el circuito donde se tomarán las mediciones, como entradas, salidas y nodos intermedios.

4. Ejecutar la Simulación:

- Iniciar la simulación para que el software calcule las respuestas del circuito en función de los parámetros y condiciones definidos.
- Verificar que la simulación se ejecute sin errores y revisar los mensajes de advertencia o errores que pueda generar el software.

5. Análisis de Resultados:

- **Visualización de Gráficas:** Revisar las gráficas de salida proporcionadas por el software, como las respuestas en frecuencia, la respuesta transitoria, y las curvas de transferencia.

- **Parámetros de Desempeño:** Evaluar parámetros importantes como la ganancia, la respuesta en frecuencia, el punto de operación (Q-point), y la estabilidad del circuito.
- **Optimización:** Ajustar los valores de los componentes y repetir la simulación para optimizar el desempeño del circuito según los requerimientos del diseño.

6. Documentación:

- Generar informes detallados de los resultados de la simulación, incluyendo gráficos, tablas de datos y análisis de rendimiento.
- Documentar cualquier ajuste o cambio realizado durante el proceso de simulación para futuras referencias y mejoras.

Beneficios del Análisis por Computadora

- **Precisión y Confiabilidad:** Permite prever el comportamiento del circuito con alta precisión, lo que reduce el riesgo de errores y fallos en la etapa de prototipado.
- **Ahorro de Tiempo y Costos:** Al identificar y resolver problemas potenciales en la etapa de diseño, se evita la necesidad de múltiples iteraciones de construcción y pruebas físicas, ahorrando tiempo y recursos.
- **Optimización del Diseño:** Facilita la optimización del circuito al permitir ajustes rápidos y análisis de múltiples escenarios sin necesidad de modificar físicamente el circuito.
- **Visualización y Análisis Detallado:** Proporciona herramientas avanzadas para visualizar y analizar el comportamiento del circuito bajo diferentes condiciones de operación.
- **Documentación Completa:** Genera documentación detallada que puede ser utilizada para la producción, mantenimiento y futuras mejoras del diseño.

Ejemplo de Análisis por Computadora

Circuito Amplificador con FET de Pequeña Señal

1. Modelado del Circuito:

- Dibujar el esquemático de un amplificador de pequeña señal utilizando un transistor FET.
- Incluir componentes como resistencias de polarización, condensadores de acoplamiento y desacoplamiento, y fuentes de alimentación.

2. Configuración de la Simulación:

- Definir un análisis AC para evaluar la ganancia en frecuencia del amplificador.
- Establecer un análisis transitorio para observar la respuesta del amplificador a una señal de entrada de forma de onda específica.

3. Resultados de Simulación:

- Obtener la curva de respuesta en frecuencia que muestra la ganancia del amplificador a diferentes frecuencias.
- Visualizar la respuesta temporal del amplificador a una señal de entrada senoidal, verificando la linealidad y distorsión.

4. Optimización y Ajustes:

- Ajustar las resistencias de polarización para optimizar el punto de operación y maximizar la ganancia.
- Realizar simulaciones iterativas para minimizar la distorsión y mejorar la respuesta en frecuencia del amplificador.

El análisis por computadora de los circuitos amplificadores es una herramienta esencial en el diseño moderno de circuitos electrónicos. Permite a los ingenieros anticipar el comportamiento del circuito, optimizar su desempeño y asegurar la confiabilidad del diseño antes de la construcción física. Con el uso de software de simulación avanzado, es posible mejorar la eficiencia del proceso de diseño y obtener resultados precisos y reproducibles.

4.3. Amplificador con JFET.

Los amplificadores con transistores de efecto de campo proporcionan una excelente ganancia de voltaje con la ventaja adicional de una alta impedancia de entrada. También son configuraciones de bajo consumo de potencia con un buen intervalo de frecuencia, y peso y tamaño mínimos. Se pueden utilizar JFET, MOSFET de empobrecimiento y MESFET para diseñar amplificadores con ganancias de voltaje semejantes. El circuito con MOSFET de empobrecimiento, sin embargo, tiene una impedancia de entrada mucho mayor que una configuración con JFET similar. Mientras un dispositivo BJT controla una gran corriente de salida (del colector) por medio de una corriente de entrada (de la base) relativamente pequeña, el dispositivo FET controla una corriente de salida (del drenaje) por medio de un pequeño voltaje de entrada. En general, por consiguiente, el BJT es un dispositivo controlado por corriente y el FET es un dispositivo controlado por voltaje. En ambos casos, sin embargo, observe que la corriente de salida es la variable controlada. Por la alta característica de entrada de los FET, en ocasiones un modelo equivalente de ca es un poco más simple que el que se emplea para los BJT. Mientras que el BJT tiene un factor de amplificación b (beta) el FET tiene un factor de transconductancia, g_m . Puede utilizar el FET como amplificador lineal o como dispositivo digital en circuitos lógicos. De hecho, el MOSFET de tipo enriquecimiento es bastante popular en circuitos digitales, sobre todo en circuitos CMOS que requieren un muy bajo consumo de potencia. Los dispositivos FET también tienen mucho uso en aplicaciones de alta frecuencia y en aplicaciones de memoria intermedia (interfaz). La tabla 8.1 de la sección 8.13 resume los circuitos amplificadores de señal pequeña de FET y las fórmulas relacionadas. Aun cuando la configuración en fuente común es la más popular, pues proporciona una señal amplificada invertida, también encontramos circuitos en drenaje común (fuente-seguidor) que proporcionan ganancia unitaria sin inversión y circuitos de compuerta común que proporcionan ganancia sin inversión. Al igual que con los amplificadores con BJT, las características de circuito importantes descritas en este capítulo incluyen la ganancia de voltaje, la impedancia de entrada y la impedancia de salida. Debido a la muy alta impedancia de entrada, la corriente de entrada en general se supone que es de 0 mA y la ganancia de corriente es una cantidad

indefinida. Si bien la ganancia de voltaje de un amplificador con FET en general es menor que la que se obtiene empleando un amplificador con BJT, el amplificador con FET proporciona una impedancia de entrada mucho mayor que la de una configuración con BJT. Los valores de la impedancia de entrada son comparables tanto con circuitos BJT como con circuitos FET. También podemos analizar las redes amplificadoras de ca con FET usando un software de computadora, como PSpice o Multisim, con los cuales puede realizar un análisis de cd para obtener las condiciones de polarización de un circuito y un análisis de ca para determinar la ganancia de voltaje de señal pequeña. Utilizando modelos de transistor PSpice, podemos analizar el circuito utilizando modelos de transistor específicos. Por otra parte, podemos desarrollar un programa mediante un lenguaje como C++ que puede realizar tanto análisis de ca como de cd y proporcionar los resultados en un formato muy especial.

4.3.1. Modelo del JFET en pequeña señal.

El análisis de ca de una configuración del JFET requiere el desarrollo de un modelo de ca de señal pequeña para el JFET. Un componente importante del modelo de ca reflejará el hecho de que un voltaje de ca aplicado a las terminales de entrada de la compuerta a la fuente controlará el nivel de corriente del drenaje a la fuente. El voltaje de la compuerta a la fuente controla la corriente del drenaje a la fuente (canal) de un JFET. Recuerde que un voltaje de cd de la compuerta a la fuente controla el nivel de la cd de drenaje mediante una relación conocida como ecuación de Shockley: $I_D = I_{DSS} (1 - V_{GS}/V_p)^2$. El cambio en la corriente del drenaje que resultará de un cambio en el voltaje de la compuerta a la fuente, se determina mediante el factor de transconductancia g_m como sigue:

$$\Delta I_D = g_m \Delta V_{GS}$$

El prefijo **trans** en la terminología aplicada a g_m revela que establece una relación entre una cantidad de salida y una cantidad de entrada. Se escogió la palabra raíz conductancia porque a g_m lo determina una relación de voltaje a corriente similar a la relación que define la conductancia de un resistor $G = 1/R = I/V$. Si resolvemos la ecuación, tenemos

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

Determinación gráfica de g_m Si ahora examinamos las características de transferencia de la figura, vemos que g_m es en realidad la pendiente de las características en el punto de operación. Es decir,

$$g_m = m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

Siguiendo la curvatura de las características de transferencia, es razonablemente evidente que la pendiente y , por consiguiente, g_m se incrementa a medida que avanzamos de V_p a I_{DSS} . En otras palabras, a medida que V_{GS} tiende a 0 V, la magnitud de g_m se incrementa. La ecuación revela que g_m se puede determinar en cualquier punto Q de las características de transferencia con sólo seleccionar un incremento finito de V_{GS} (o de I_D) con respecto al

punto Q y luego determinando los cambios de I_D (o V_{GS} , respectivamente). Los cambios de cada una de las cantidades se sustituyen entonces en la ecuación para determinar g_m .

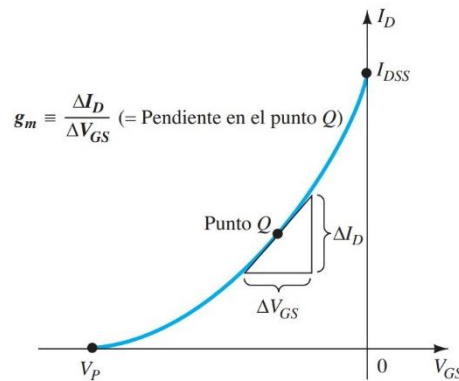


FIG. 8.1

Definición de g_m utilizando las características de transferencia.

Figura 4.26 Definición de g_m utilizando las características de transferencia.

4.3.2. Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal. para las diferentes configuraciones de polarización.

Los amplificadores utilizando transistores de efecto de campo (FET) también tienen sus propios parámetros en pequeña señal, que son esenciales para su análisis y diseño. Los tres tipos más comunes de configuraciones de amplificadores con FET son: fuente común (CS), drenador común (CD) y puerta común (CG). A continuación se describen los parámetros clave para estas configuraciones.

Parámetros en Pequeña Señal

1. **Ganancia de Voltaje (A_v)**
2. **Ganancia de Corriente (A_i)**
3. **Impedancia de Entrada (R_{in})**
4. **Impedancia de Salida (R_{out})**

Configuración en Fuente Común (CS)

Ganancia de Voltaje (A_v)

$$A_v = -g_m \cdot (r_d \parallel R_D \parallel R_L) A$$

Donde:

- g_m es la transconductancia del FET.
- r_d es la resistencia de drenaje del FET.
- R_D es la resistencia de drenaje en el circuito.
- R_L es la resistencia de carga.

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i = I_d I_g \approx \infty A$$

Dado que la corriente de puerta I_g es prácticamente cero para FETs.

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} \approx \infty R$$

La impedancia de entrada de un FET es muy alta, prácticamente infinita.

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} = r_d || R_{DR}$$

Configuración en Drenador Común (CD) o Seguidor de Fuente**Ganancia de Voltaje (A_v)**

$$A_v \approx R_S || R_L R_S || R_L + 1 g_m \approx 1 A$$

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i \approx g_m \cdot (R_S || R_L)$$

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} \approx \infty R$$

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} \approx 1 g_m R$$

Configuración en Puerta Común (CG)**Ganancia de Voltaje (A_v)**

$$A_v = g_m \cdot (r_d || R_D || R_L)$$

Ganancia de Corriente (A_i)

$$A_i \approx 1 A$$

Impedancia de Entrada (R_{in})

$$R_{in} = 1 g_m R$$

Impedancia de Salida (R_{out})

$$R_{out} = r_d || R_D$$

Componentes y Parámetros del Modelo de Pequeña Señal

- g_m : Transconductancia del FET.
- r_d : Resistencia de drenaje intrínseca del FET.
- R_D : Resistencia de drenaje externa.
- R_S : Resistencia de fuente.

- RL: Resistencia de carga.

Hay que tener en cuenta que:

- **Fuente Común (CS):** Alta ganancia de voltaje, impedancia de entrada alta, inversión de fase de 180°.
- **Drenador Común (CD):** Ganancia de voltaje cercana a 1, alta impedancia de entrada, baja impedancia de salida, no inversión de fase.
- **Puerta Común (CG):** Alta ganancia de voltaje, baja impedancia de entrada, alta impedancia de salida, no inversión de fase.

El análisis en pequeña señal de estos parámetros es crucial para predecir el comportamiento del amplificador FET en respuesta a señales AC pequeñas, permitiendo optimizar el diseño y el rendimiento del amplificador en diversas aplicaciones.

4.3.3. Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.

Los transistores MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) son componentes fundamentales en la electrónica moderna debido a su alta impedancia de entrada, bajo consumo de potencia y velocidad de operación. En este escrito, exploraremos las configuraciones básicas de amplificadores con MOSFET, sus características y el análisis de pequeñas señales.

Configuraciones Básicas de Amplificadores con MOSFET

Existen tres configuraciones principales de amplificadores utilizando MOSFET, cada una con sus propias características y aplicaciones: el amplificador de drenaje común (common-source), el amplificador de fuente común (common-drain) y el amplificador de compuerta común (common-gate).

1. Amplificador de drenaje Común (Common-Drain)

El amplificador de drenaje común es una configuración popular debido a su alta ganancia de voltaje y su versatilidad. En esta configuración, la fuente está conectada a tierra (común) y la señal de entrada se aplica a la compuerta, mientras que la señal de salida se toma del drenaje.

- **Ganancia de Voltaje (AV):**

$$A_V = -g_m (r_{ds} \parallel R_D)$$

Donde g_m es la transconductancia y r_{ds} es la resistencia de drenaje-fuente del MOSFET. R_D es la resistencia de drenaje.

- **Impedancia de Entrada (Zin):**

$$Z_{in} \approx \infty$$

Debido a la alta impedancia de entrada del MOSFET.

- **Impedancia de Salida (Z_{out}):**

$$Z_{out} \approx r_{ds} \parallel R_D$$

Diagrama de Circuito:

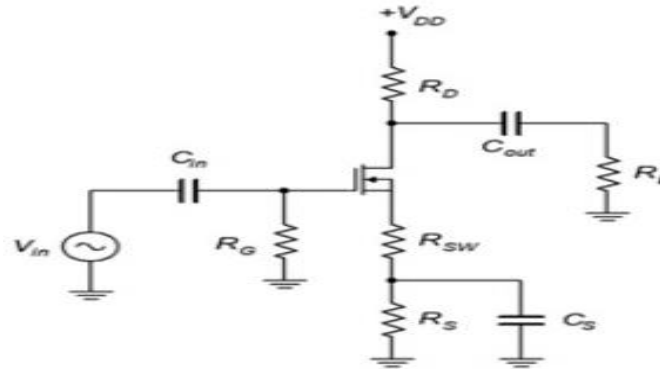


Figura 4.27 Amplificador drenaje común.

2. Amplificador de Fuente Común (Common-Drain) o Seguidor de Fuente

El amplificador de fuente común, también conocido como seguidor de fuente, se utiliza principalmente como buffer debido a su alta impedancia de entrada y baja impedancia de salida.

- **Ganancia de Voltaje (A_V):**

$$A_V \approx 1$$

- **Impedancia de Entrada (Z_{in}):**

$$Z_{in} \approx \infty$$

- **Impedancia de Salida (Z_{out}):**

$$Z_{out} \approx 1/g_m$$

Diagrama de Circuito:

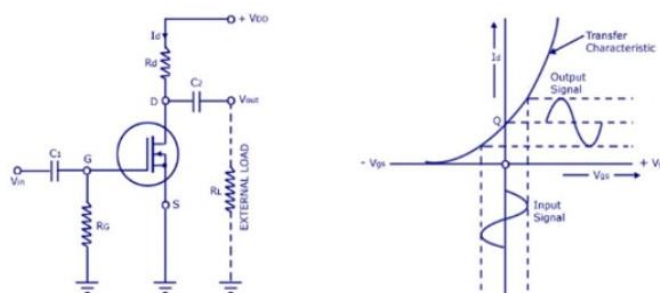


Figura 4.28 Amplificador de Fuente Común.

3. Amplificador de Compuerta Común (Common-Gate)

El amplificador de compuerta común se utiliza en aplicaciones de alta frecuencia debido a su baja impedancia de entrada.

- **Ganancia de Voltaje (AV):**

$$AV = g_m (r_{ds} \parallel R_D)$$

- **Impedancia de Entrada (Zin):**

$$Z_{in} \approx 1/g_m$$

- **Impedancia de Salida (Zout):**

$$Z_{out} \approx r_{ds} \parallel R_D$$

Diagrama de Circuito:

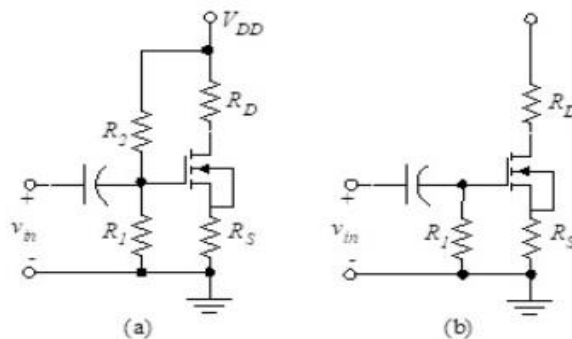


Figura 4.29 Amplificador de compuerta común.

Análisis de Pequeña Señal

Para analizar circuitos amplificadores con MOSFET en el dominio de pequeña señal, se siguen estos pasos:

1. **Polarización de DC:** Determinar el punto de operación (Q-point) del MOSFET, lo cual implica calcular las corrientes y voltajes en el estado de polarización de DC.
2. **Modelo de Pequeña Señal:** Reemplazar el MOSFET por su modelo de pequeña señal, que generalmente incluye la transconductancia (g_m), la resistencia de drenaje-fuente (r_{ds}) y las capacitancias parásitas si es necesario.
3. **Reducción del Circuito:** Simplificar el circuito utilizando el modelo de pequeña señal del MOSFET y aplicar las leyes de Kirchhoff para analizar la ganancia, las impedancias de entrada y salida, y otros parámetros relevantes.

Ejemplo de Análisis.

Consideremos un amplificador de emisor común con una resistencia de drenaje R_D y una resistencia de fuente R_S .

1. Polarización de DC:

- Suponiendo V_{GS} y I_D están dados o calculados.
- Determinar V_{DS} y verificar que el MOSFET esté en la región activa (saturación).

2. Modelo de Pequeña Señal:

- Calcular g_m :

$$g_m = 2I_D / (V_{GS} - V_{th})$$

- Incluir r_{ds} en el modelo.

3. Análisis del Circuito:

- Ganancia de Voltaje (A_V):

$$A_V = -g_m(r_{ds} \parallel R_D)$$

- Impedancia de Entrada (Z_{in}):

$$Z_{in} \approx \infty$$

- Impedancia de Salida (Z_{out}):

$$Z_{out} \approx r_{ds} \parallel R_D$$

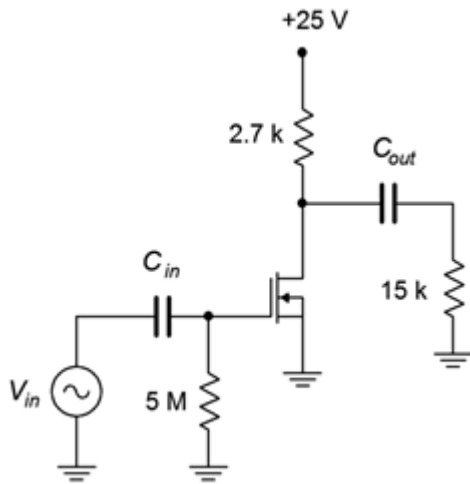
Hay que tener en cuenta lo siguiente:

Los amplificadores con MOSFET son esenciales en numerosas aplicaciones debido a su alta impedancia de entrada, bajo consumo de energía y excelente respuesta en frecuencia. Comprender las configuraciones básicas y el análisis de pequeña señal permite diseñar y optimizar amplificadores para una variedad de aplicaciones, desde dispositivos de audio hasta comunicaciones de alta frecuencia.

PROBLEMAS U4.**Problema 1**

Para el circuito de la Figura, determine la ganancia de voltaje y la impedancia de entrada.

Supongamos $V_{GS(off)} = -0.75 \text{ V}$ y $I_{DSS} = 6 \text{ mA}$.



Este amplificador utiliza polarización cero, por tanto $I_D = I_{DSS}$ y $g_m = g_{m0}$

$$g_{m0} = -2I_{DSS} / V_{GS(off)}$$

$$g_{m0} = -2 \times 6 \text{ mA} / -0.75 \text{ V}$$

$$g_{m0} = 16 \text{ mS}$$

Este amplificador no está inundado por lo que podemos usar la ecuación simplificada para la ganancia de voltaje.

$$A_v = -g_{m0} R_D$$

$$A_v = -16 \text{ mS} (2.7 \text{ k}\Omega \parallel 15 \text{ k}\Omega)$$

$$A_v = -36.6$$

Por último, para la impedancia de entrada tenemos

$$Z_{in} = 5 \text{ M}\Omega \parallel Z_{in(\text{gate})} \approx 5 \text{ M}\Omega$$

Problema 2.

Un MOSFET en modo de vaciamiento tiene los valores $V_{GS(off)} = -3 \text{ V}$ e $I_{DSS} = 6 \text{ mA}$. ¿Cuál será la corriente de drenador cuando V_{GS} sea igual a: -1 V , -2 V , 0 V , $+1 \text{ V}$ y $+2 \text{ V}$?

$$V_{GS} = -1 \text{ V} \quad I_D = 2,67 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = -2 \text{ V} \quad I_D = 0,667 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = 0 \text{ V} \quad I_D = 6 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = +1 \text{ V} \quad I_D = 10,7 \text{ mA}$$

$$V_{GS} = +2 \text{ V} \quad I_D = 16,7 \text{ mA}$$

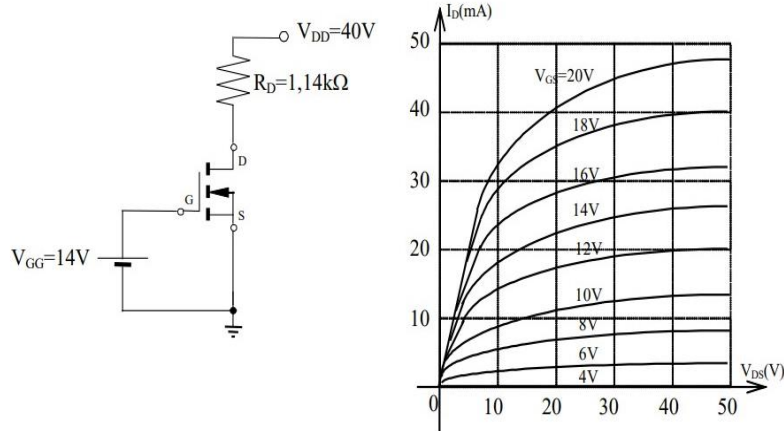
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}} \right)^2$$

Ecuación a utilizar

Problema 3.

1. En el circuito de la figura, suponiendo que el MOSFET posee unas características de salida como las dadas en la figura: a) Representar la recta de carga sobre dichas características,

señalar el punto de trabajo Q y los valores de I_{DQ} y V_{DSQ} . b) Si se desea $V_{DS} = 25\text{ V}$, ¿cuánto debe valer V_{GG} ?



a) Recta de carga:

$$V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS} \rightarrow 40 = I_D \cdot 1.14 + V_{DS}$$

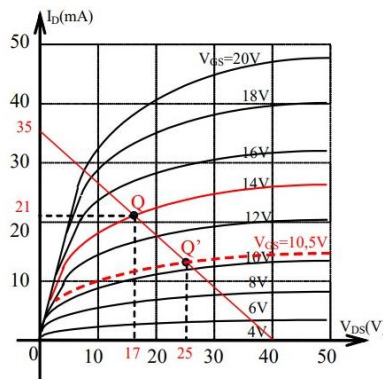
Puntos de corte con los ejes:

$$V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = 40/1.14 = 35\text{ mA}$$

$$I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = 40\text{ V}$$

De la intersección Q de la curva $V_{GS} = 14\text{ V}$ con la recta de carga: $V_{DS} \cong 17\text{ V}$ y $I_D \cong 21\text{ mA}$

b) Dado que la recta de carga no cambia, $V_{DS} = 25\text{ V} \rightarrow Q' \rightarrow V_{GS} = V_{GG} \cong 10.5\text{ V}$

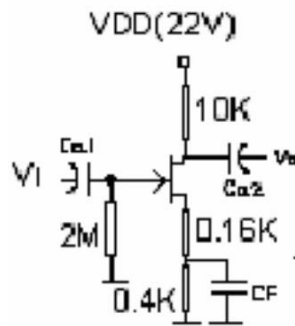


Problema 4

Para el circuito de la figura, calcule:

a) el punto de operación del JFET. Represente la línea de carga estática en la característica de salida.

b) la potencia que disipa el transistor en reposo.



a) Considero a Q saturado.

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \text{ pero } V_{GS} = -I_D (R_{F_1} + R_{F_2}) = -0.56 I_D$$

$$I_D = 2 \left(1 - \frac{0.56 I_D}{2} \right)^2$$

$$I_D^2 - 13.5 I_D + 12.75 = 0$$

$$I_D = \frac{13.5 \pm \sqrt{(13.5)^2 - 4 \cdot 12.75}}{2}$$

$$I_{D_1} = 12.5 \text{ mA (imposible)} > I_{DSS}$$

$$\boxed{I_{D_2} = 1 \text{ mA}}$$

De la malla de salida:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_{F_1} + R_{F_2}) = 22 - 1(10 + 0.56) = \boxed{11.44 \text{ V}}$$

Comprobando saturación:

$$V_{DSQ} = 11.44 > (V_{GSQ} - V_p) = -0.56 + 2 = 1.44 \text{ V (cumple)}$$

$$\text{b) En reposo: } P_D = V_{DS} I_D = 11.44 \cdot 1 = \boxed{11.44 \text{ mW}}$$

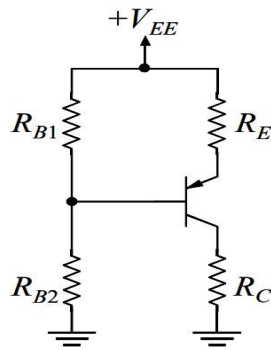
Problema 5

a) Calcule el punto de trabajo (I_C , V_{EC}) del transistor del circuito suponiendo $I_B \cong 0$

b) Halle el rango de valores de β para el que la aproximación anterior es válida (considerando despreciable si $1 < \beta < 50$)

c) Calcule el punto de trabajo para $\beta = 35$

DATOS: $V_{\gamma E} \cong 0.7 \text{ V}$; $V_{EE} = 10 \text{ V}$; $R_{B1} = R_{B2} = 10 \text{ k}\Omega$; $R_C = 8 \text{ k}\Omega$; $R_E = 20 \text{ k}\Omega$



Circuito a resolver.

$$a) V_E = V_{EB} + V_B = V_{\gamma E} + V_{EE} \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 5,7 \text{ V} \Rightarrow I_E = I_C = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E} = 215 \mu\text{A}, V_{EC} = 3,98 \text{ V}.$$

$$b) I_B < I_C \Rightarrow \frac{I_C}{I_B} \geq 50 \Rightarrow \beta \geq 50; I_B < I_{B1} (= I_{B2}) \Rightarrow \frac{I}{I_B} \geq 50 \Rightarrow \frac{\beta I}{I_C} = \frac{\beta V_{EE}}{(R_{B1} + R_{B2}) I_C} \geq 50 \Rightarrow \beta \geq 21,5;$$

La más restrictiva, $\beta \geq 50$.

$$c) \text{ Ahora no puedo suponer } I_B < I_C, \text{ pero sí } I_B < I, \text{ luego } V_E = 5,7 \text{ V}, I_B = \frac{V_{EE} - V_E}{R_E (\beta + 1)} = 5,97 \mu\text{A} \Rightarrow I_C = 209 \mu\text{A}, V_{EC} = 4,03 \text{ V}$$

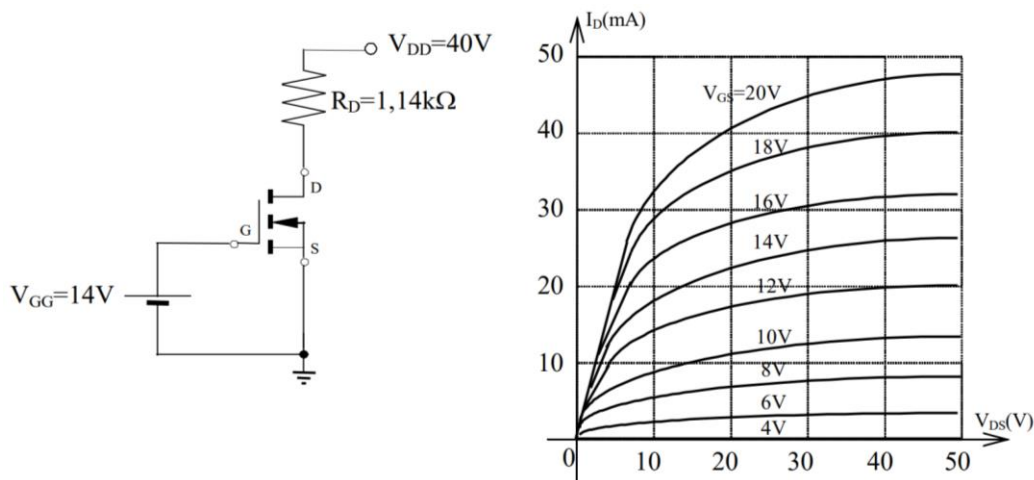
Problema Propuesto.

Problema 1

En el circuito de la figura, suponiendo que el MOSFET posee unas características de salida como las dadas en la figura:

a) Representar la recta de carga sobre dichas características, señalar el punto de trabajo Q y los valores de I_{DQ} y V_{DSQ} .

b) Si se desea $V_{DS} = 25 \text{ V}$, ¿cuánto debe valer V_{GG} ?



Tema 5 Proyecto Final.

El objetivo del proyecto que planteé el docente que imparta esta asignatura, es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de la realidad o situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a desarrollar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de “evaluación para la mejora continua”, la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

5.1. Diseño de una fuente de alimentación:

Las fuentes de alimentación son dispositivos fundamentales que convierten la energía eléctrica de una forma a otra para alimentar diversos equipos eléctricos y electrónicos. Su propósito principal es proporcionar los niveles adecuados de tensión y corriente que permiten el correcto funcionamiento de estos dispositivos. Existen diversos tipos de fuentes de alimentación, cada una diseñada para satisfacer requisitos específicos. Conocer los aspectos clave de estos dispositivos es crucial para seleccionar la opción más apropiada según las necesidades de cada aplicación. En conclusión, una fuente de alimentación es un componente esencial en la mayoría de los dispositivos electrónicos, proporcionando la energía necesaria de manera segura y eficiente para su correcto funcionamiento.

Tipos de Fuentes de Alimentación

1. Fuentes de Alimentación Lineales:

- Utilizan un transformador para reducir el voltaje de entrada de corriente alterna (CA).
- Rectifican la CA a corriente continua (CC) mediante un puente de diodos.
- Utilizan condensadores y reguladores para filtrar y estabilizar el voltaje de salida.

- Son conocidas por su simplicidad y buena regulación de voltaje, pero son menos eficientes y más voluminosas debido a la necesidad de un transformador grande y disipadores de calor.

2. Fuentes de Alimentación Conmutadas (SMPS):

- Convierten la entrada CA a un voltaje CC alto sin un transformador grande.
- Utilizan transistores de conmutación para convertir el voltaje CC a una señal de alta frecuencia.
- La señal de alta frecuencia se transforma, rectifica y filtra para obtener el voltaje de salida deseado.
- Son más eficientes, más pequeñas y ligeras que las fuentes de alimentación lineales, pero pueden generar más ruido eléctrico.

Componentes de una Fuente de Alimentación

1. Transformador:

- Reduce o aumenta el voltaje de entrada a un nivel adecuado.
- Aísla el circuito de entrada del circuito de salida.

2. Rectificador:

- Convierte la CA a CC pulsante.
- Generalmente consiste en diodos dispuestos en configuraciones como puente de Graetz.

3. Filtro:

- Suaviza la señal rectificada para reducir las ondulaciones (ripple).
- Utiliza condensadores y, a veces, inductores.

4. Regulador:

- Mantiene un voltaje de salida constante pese a las variaciones en el voltaje de entrada o en la carga.
- Puede ser un regulador lineal o un regulador conmutado.

Funcionamiento de una Fuente de Alimentación

1. Reducción de Voltaje:

- El transformador reduce el voltaje de entrada CA (por ejemplo, 127V) a un nivel más manejable (por ejemplo, 24V, 18V, 12V, etc de CA).

2. Rectificación:

- Los diodos del puente rectificador convierten el voltaje CA a un voltaje CC pulsante.

3. Filtrado:

- Los condensadores de filtrado suavizan el voltaje pulsante, eliminando las ondulaciones para producir un voltaje CC más estable.

4. Regulación:

- El regulador ajusta el voltaje filtrado a un nivel constante y específico (por ejemplo, 5V CC) adecuado para los dispositivos alimentados.

Aplicaciones de una Fuente de Alimentación

- **Dispositivos Electrónicos:** Computadoras, televisores, teléfonos móviles, y otros dispositivos electrónicos que requieren voltajes específicos para operar correctamente.
- **Equipos Industriales:** Máquinas y herramientas industriales que necesitan voltajes y corrientes específicos para su funcionamiento.
- **Instrumentación Médica:** Equipos médicos que requieren fuentes de alimentación estables y confiables.
- **Sistemas de Comunicación:** Equipos de telecomunicaciones que necesitan fuentes de alimentación precisas y de bajo ruido para un funcionamiento óptimo.

Importancia de una Fuente de Alimentación

La fuente de alimentación es crucial porque:

- **Estabilidad:** Proporciona un voltaje constante necesario para el funcionamiento correcto de los dispositivos electrónicos.
- **Protección:** Protege los dispositivos conectados de fluctuaciones de voltaje y picos de corriente.
- **Eficiencia:** Mejora la eficiencia energética de los dispositivos al suministrar la cantidad adecuada de energía.
- **Durabilidad:** Aumenta la vida útil de los dispositivos al evitar daños por sobrevoltaje o subtensión.

5.1.1. Utilizando regulador transistorizado.

Fuente lineal regulada de 0 a 24v a 3 Amper.

INTRODUCCIÓN

En la siguiente descripción de este proyecto se implementará el cálculo para el análisis de un circuito de una fuente lineal que proporciona un voltaje de 0 a 22 V a 3 Amper máximo, el cual se obtendrán para saber si sus parámetros pueden servir para el uso como fuente de laboratorio o para cualquier uso.

ANÁLISIS.

Para el análisis empezaremos por etapas, las cuales son aproximadamente 4, como se muestra a continuación:

- Etapa de rectificación y filtrado.
- Etapa de control.
- Etapa de potencia.
- Etapa de protección.

Etapa de rectificación y filtrado.

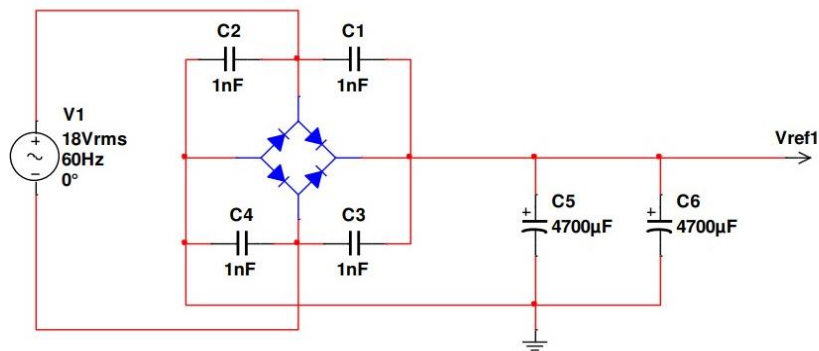


Figura 5.1 Etapa de rectificación y filtrado.

En el circuito anterior, la parte de rectificación consta del puente de diodos y los capacitores de 1 nF, estos últimos sirven para amortiguar la amplitud inversa del diodo haciendo que la amplitud pico a pico que llega al capacitor electrolítico C5 este muy reducida. Después la parte de filtrado consta de 2 capacitores electrolíticos en este caso C5 Y C6, estos capacitores cumplen la función de mantener el voltaje casi constante.

Para este caso el diagrama se decidió por una capacitancia equivalente de:

$$C_{eq} = C5 + C6 = 4700\mu F + 4700\mu F = 9400\mu F$$

El cual es óptimo para nuestro rizado de unos cuantos milivolts. En cuanto al voltaje continuo es de aproximadamente:

$$VCC = VRMS / 0.707 = 18 V / 0.707 = 25.45 V$$

Etapa de control.

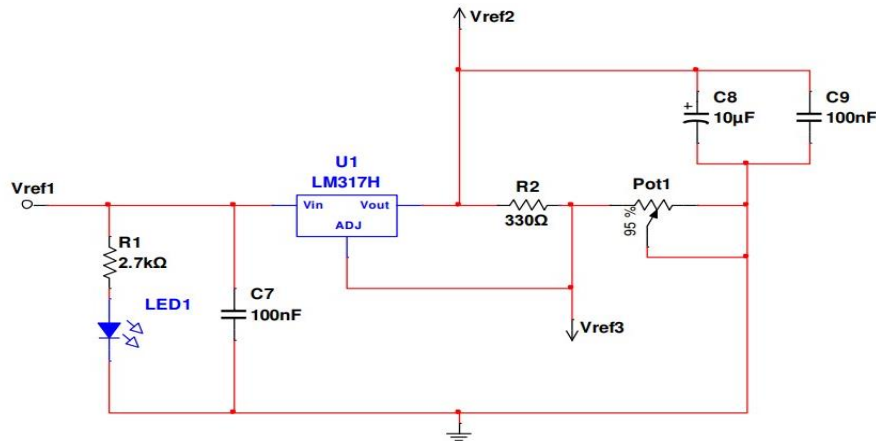


Figura 5.2 Etapa de control.

En esta etapa el integrado LM317H está trabajando como un control de voltaje hacia el transistor TIP31C, el cual el voltaje de salida lo está regulando el potenciómetro denominado como Pot1, el voltaje en la salida es de 1.25 a 24.2 v aproximadamente. Cabe mencionar que se podría utilizar el integrado LM317 como una fuente, pero el inconveniente es la corriente que este puede suministrar, como máximo 1.5 A, por eso el uso del transistor TIP31C dado que este puede suministrar más corriente 3 Amper como máximo, también se puede aumentar la corriente conectando en paralelo más transistores a su conveniencia.

Etapa de potencia.

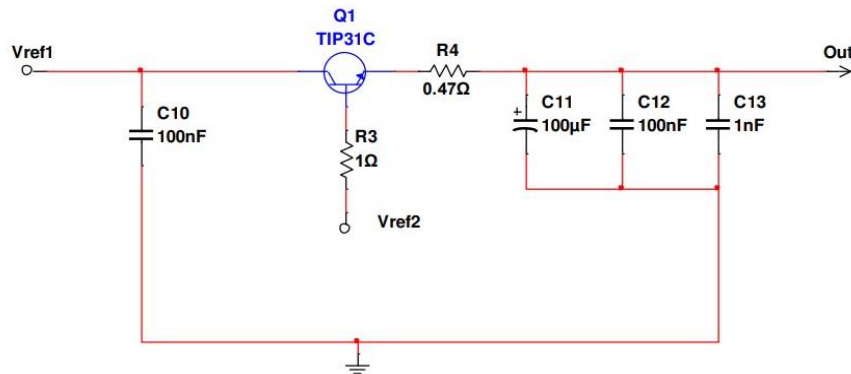


Figura 5.3 Etapa de control.

En esta etapa el voltaje regulado del integrado LM317 entra en la base del transistor TIP31C el cual dejara pasar el voltaje de colector a emisor con el valor de la base con una pequeña caída de 1 a 1.2 v máximo, por lo cual en la salida tendremos un voltaje de aproximadamente:

$$V_{min} = 1.25 V - 1 V = 0.25 V$$

$$V_{max} = 24.2 V - 1 V = 23.2 V$$

También hay que tomar en cuenta la potencia que está disipando dicho transistor dado que puede quemarse.

$$P_{min} = (V_{in} - V_{max}) * I_{max}$$

$$P_{min} = (25.45 \text{ V} - 23.2 \text{ V}) * 3 \text{ A} = 6.75 \text{ W}$$

$$P_{max} = (V_{in} - V_{min}) * I_{max}$$

$$P_{max} = (25.45 \text{ V} - 0.25 \text{ V}) * 3 \text{ A} = 75.2 \text{ W}$$

Los cálculos anteriores son a condiciones constantes por lo cual debemos tener mucho cuidado en no utilizar esta fuente con un voltaje mínimo a máxima corriente dado que la máxima potencia que puede soportar el transistor TIP31C es de 40 W por lo cual deberá tener un disipador de Tamaño considerable o bien uno regular pero con enfriamiento forzado (ventilador).

Etapas de protección.

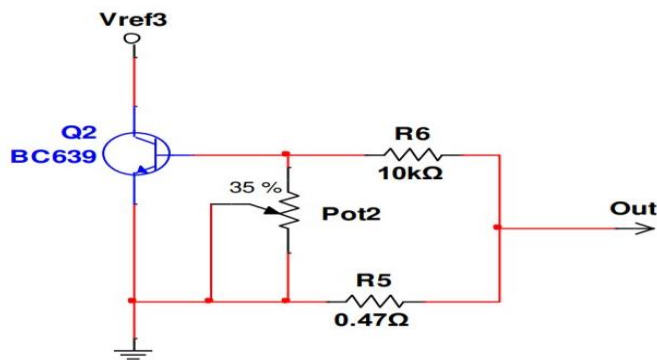


Figura 5.4 Etapa de protección.

Esta etapa es importante porque, si la carga quiere extraer más corriente de la que puede suministrar el transistor TIP31C, el circuito entra en un modo de protección. El funcionamiento de este mecanismo de protección es el siguiente: Supongamos que tenemos una carga que consume más de 3 amperios. En ese caso, el transistor BC639 se cierra y conmuta la unión central de regulación del integrado LM317, compuesta por R2 y Pot1. Esto ocasiona que el integrado LM317 suministre el mínimo voltaje a la base del TIP31C, y a su vez, este transistor suministre el mínimo voltaje en el emisor, que se ve reflejado en la etapa de potencia como 0,25 voltios. Este bajo voltaje en el emisor del TIP31C hace que el transistor BC639 se abra nuevamente, permitiendo que el LM317 vuelva a suministrar el voltaje regulado y la misma corriente máxima de 3 amperios. Este proceso se ejecuta de manera cíclica, como un bucle, evitando que el transistor TIP31C se sobrecaliente debido a una carga que demanda más corriente de la que puede entregar. De esta manera, el circuito mantiene la integridad del transistor de potencia TIP31C, al limitar la corriente que puede fluir a través de él, protegiéndolo de posibles daños por sobrecarga. Este mecanismo de protección es fundamental para asegurar la confiabilidad y la longevidad del diseño, al prevenir situaciones de estrés excesivo en los componentes clave.

$$V_{reg} = (I_{max} * R_4) + \left(I_{max} * \frac{R_5 * (R_6 + Pot_1)}{R_5 + (R_6 + Pot_1)} \right)$$

$$V_{reg} = (3 A * 0.47) + \left(3 A * \frac{0.47 * (10 K + 33 K)}{0.47 + (R_6 + Pot_1)} \right)$$

$$V_{reg} = 1.41 V + 1.40 V = 2.81 V$$

Con los cálculos anteriores podemos deducir que el voltaje que deberá medir a la salida para generar la calibración será de 3 V, después tenemos que colocar un amperímetro en Q2 BC639 R6 10kΩ R5 0.47Ω Vref3 Out 35 % Pot2 serie entre las dos salidas y con el potenciómetro Pot2 regularemos hasta que el amperímetro marque 3 Amper.

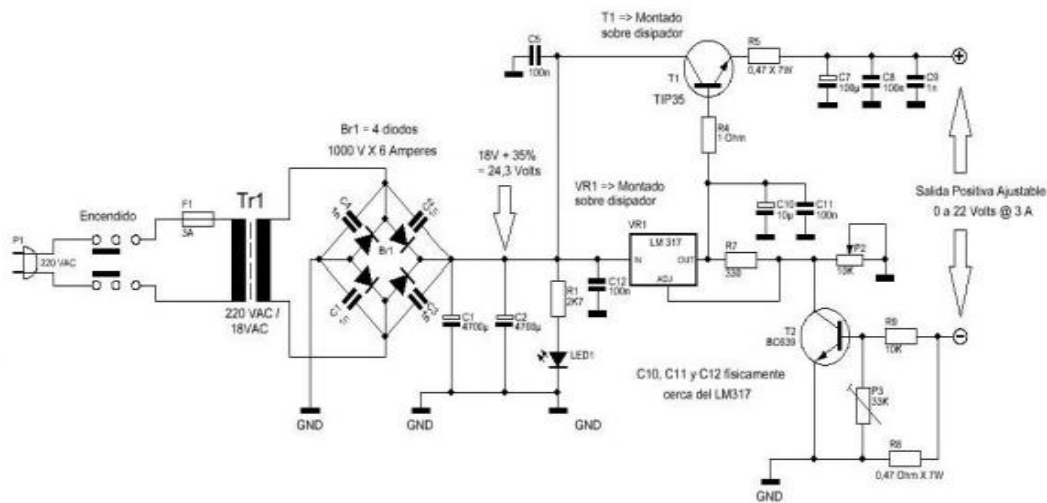


Figura 5.5 Diagrama del diseño completo.

Conclusión.

Esta fuente es ideal para alimentar dispositivos de bajo consumo y uso continuo, pero no es la mejor opción para reparar teléfonos móviles, ya que podría causar más problemas. Sin embargo, para nuestro uso específico en máquinas de tatuaje, esta fuente será excelente, aunque su capacidad de corriente se limita a 3 amperios. Podemos solucionar esto conectando más transistores en paralelo, lo que nos permitirá aumentar la corriente según nuestras necesidades.

5.1.2. Utilizando regulador de Circuito Integrado.

Indice de contenidos.

Introducción.

OBJETIVOS.

OBJETIVO GENERAL.

- Crear una fuente de alimentación regulable y fija AD/DC 1.5V -25V 5A // +5V +12V estáticos // -5V -12V estáticos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Calcular matemáticamente los elementos necesarios para la fuente.
- Justificar los elementos electrónicos
- Analizar el comportamiento de la fuente reguladora
- Seleccionar componentes electrónicos necesario para la ejecución de la fuente.
- Detallar paso a paso la creación de la fuente.
- Explicar el funcionamiento de la fuente.
- Definir componentes de la fuente reguladora.

Recomendaciones y sugerencias.

- Material accesible tanto monetariamente como logísticamente para proyecto
- Aplicación coherente, sabiendo las limitantes de poder de la fuente.
- Diseño de simulación para pruebas o mejoras.

Diseño del circuito.

Para el diseño del circuito optimo se organizó, estudió, analizó, calculo, probó cada comportamiento y segmento de la fuente.

Este proceso se llevó a cabo con el software “Proteus 8.8 sp1 profesional”

Etapas de diseño del circuito.

El equipo de trabajo determino que para la etapa de **diseño** se segmentara por partes estas etapas ya que permite hacer pruebas, comparar valores, selección coherente de elementos. Esto permite una forma segura de hacer diseños porque si se compara con un circuito que lo montan completo sin separar etapas al momento de hacer pruebas comienzan los errores, es por eso que se segmenta por partes los diseños. Esto aplica también para la parte física de construcción.

Se segmento en cuatro etapas que son las siguientes:

1.- transformación de energía.

En esta etapa mediante un transformador reductor se reducirá el voltaje de la red eléctrica 127Volts 60Hz a un voltaje de 25V Alternos, una vez obtenido el transformador o fabricado con las mismas características pasaremos al siguiente paso que será rectificar la señal de alterna a continua. Cuenta con un interruptor de encendido apagado interrumpiendo la fase.

2.-Los cálculos están justificados en el ítem de cálculos matemáticos.

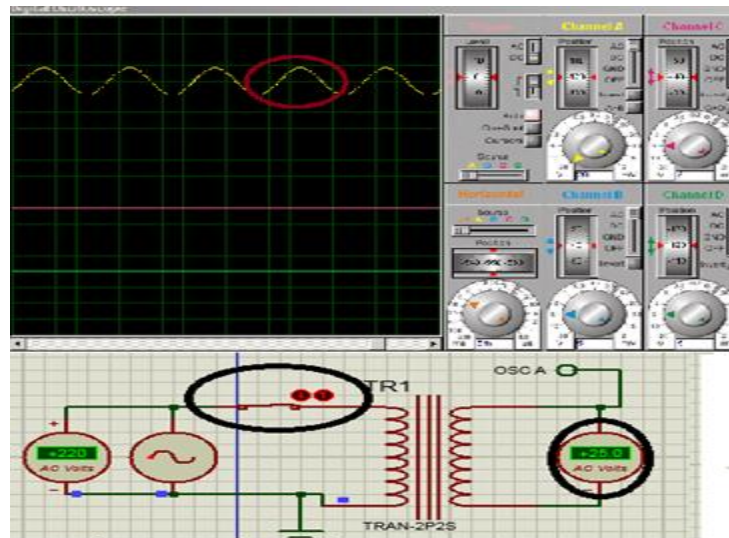


Figura 5.6 Simulación de la entrada del circuito.

3.-Rectificación y filtrado de la señal.

Luego de obtener nuestro voltaje 25V alternos a través del transformador, se tiene que rectificar la señal con un puente de diodo para que la señal alterna quede como una señal tipo completa.

Una vez obtenida la rectificación se tendrá que filtrar la señal para eliminar la onda completa y quede una señal tipo continua o lo más aproximado, en los softwares siempre son exactos los valores, pero en la vida real siempre abra un ruido o armónico en la red, generando un rizado.

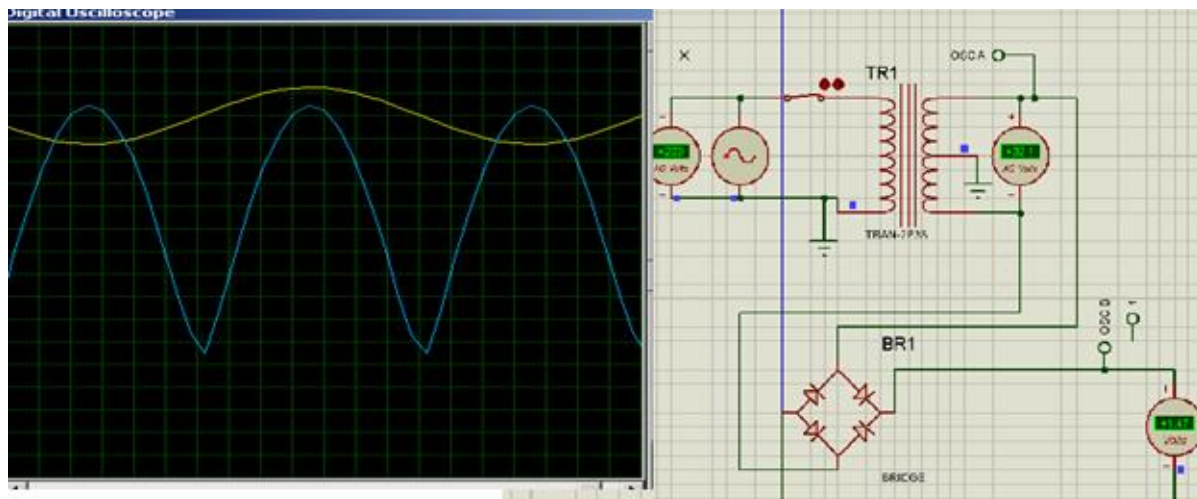


Figura 5.7 simulación del circuito rectificador.

Luego que la señal fuera rectificada se debe filtrar ya antes mencionado, con un conjunto de condensadores, el condensado de cerámica complementa al condensador electrolito para filtrar más la señal. También en esta etapa de filtrado se introdujo un diodo Zener para que el voltaje no tuviera caídas y bajas lo mantuviera aún así la tierra de servicio falle, el Zener instalado es de 25V

4.-Diseño, parte regulable 0V -25V DC.

Esta parte de diseño y aplico con un regulador de voltaje con un máximo de amperaje que entrega de 5am. Para conectar el LM338K se necesita visitar la datasheet para verificar como

se conecta. Como se ve en la figura, la salida filtrada por lado positivo entra al pin 2 del LM338K, el pin 3 va hacia la carga, mientras el pin ADJ, de ajustamiento va al potenciómetro que se encargada de regular el voltaje, este LM338K cuenta con diodos de protección contra corrientes inversas o saturadas, una resistencia que evita la caída de tensión y los capacitores encargados de dejar más estable la corriente que entrega.

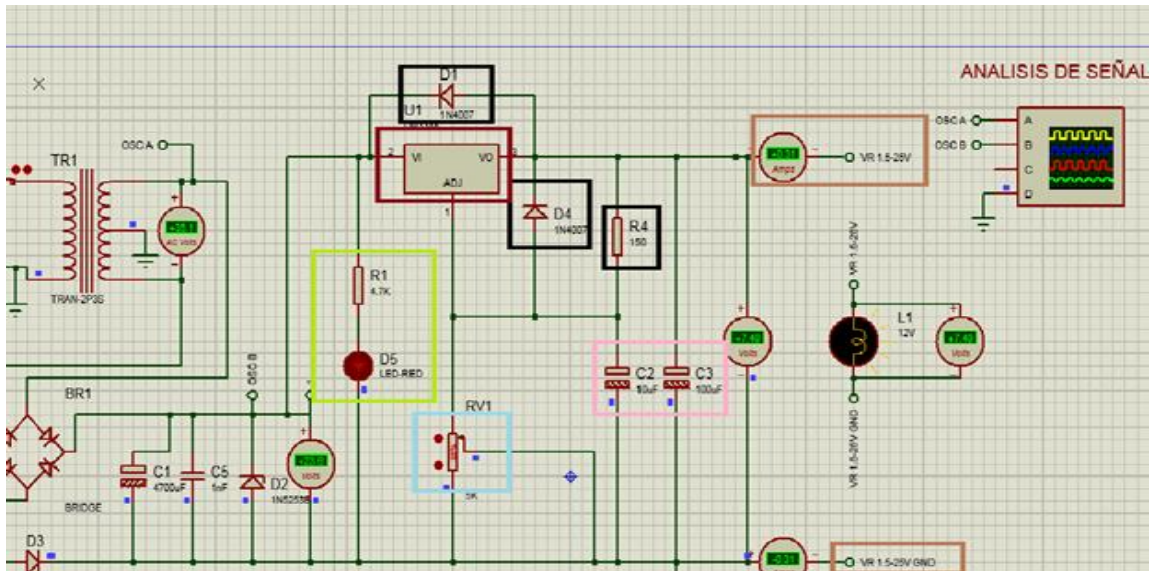


Figura 5.8 Diseño parte, voltajes estáticos positivo – negativo +5V +12V // -5V -12V

PROBLEMAS U5.

Ejemplo 1

Proceso de cómo hacer un proyecto.

- 1 ¿CÓMO LOS REALIZAMOS?
- 2 ANÁLISIS DE VIABILIDAD
- 3 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO
- 4 EJECUCIÓN
- 5 PUESTA EN MARCHA
- 6 POST-VENTA



¿CÓMO LOS REALIZAMOS?

Seguimos una pauta estructurada y cuidadosa de los pasos que seguimos para realizar nuestros proyectos a medida, teniendo siempre en cuenta el presupuesto y la idea de nuestro cliente, adaptándonos a sus instrucciones y necesidades. Además, se muestra paso a paso todo nuestro proceso de planteamiento y creación de nuestros proyectos electrónicos a medida.

ANÁLISIS DE VIABILIDAD

Investigamos con exactitud todo el plan de preparación del proyecto para informar al cliente del resultado obtenido con integridad. De este modo iniciamos el plan considerando la situación global.



PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO ELECTRÓNICO

Llevamos a cabo una búsqueda de los recursos, a la vez que analizamos el esfuerzo y los costes necesarios para desarrollar los proyectos electrónicos.

Con el objetivo de trazar un plan de trabajo de las tareas a realizar y su duración.

[CONTACTA AHORA](#)

EJECUCIÓN

Elaboramos las tareas percibidas y avanzamos por fases informando al cliente de cada resultado obtenido. Mientras tanto realizamos un seguimiento detallado observando los resultados alcanzados con el fin de reconducir el proyecto si fuera necesario.



PUESTA EN MARCHA

El objetivo es conseguir productos innovadores que, al mismo tiempo, sean duraderos mediante controles de calidad individualizados.



Ejemplo 2

CARRERA:	Ingeniería Electrónica
-----------------	-------------------------------

MATERIA:	Diodos y transistores	GRUPO:	5EM
-----------------	------------------------------	---------------	------------

NOMBRE MAESTRO:	Tomas Villalobos Valladares
------------------------	------------------------------------

NÚM. PRÁCTICA:	Final	DÍA DE ENTREGA:	21/11/2023
-----------------------	--------------	------------------------	-------------------

NOMBRE de la Practica:	Proyecto final (amplificador de sonido de 2 etapas)
-------------------------------	--

INTEGRANTES DEL EQUIPO	MATRÍCULA
Caballero Cob Francisco Javier	E15080864
Ávila Franco Carlos Alfonso	E15081527
Urbiola Cabrera Aldo Aramis	E15081255

REPORTE DE LA PRÁCTICA

INTRODUCCIÓN

En la siguiente práctica se aplican los conocimientos obtenidos de la materia de diodos y transistores para desarrollar algún proyecto relacionado con la materia, nuestro equipo eligió un amplificador de 2 etapas.

OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

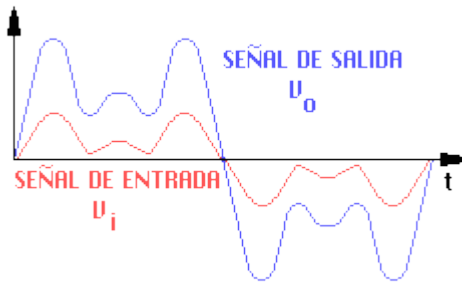
El objetivo de esta práctica es aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo del semestre, nosotros los aplicaremos para hacer un amplificador de 2 etapas, por lo estudiaremos el comportamiento del transistor bipolar como amplificador.

MARCO TEÓRICO

El transistor como amplificador

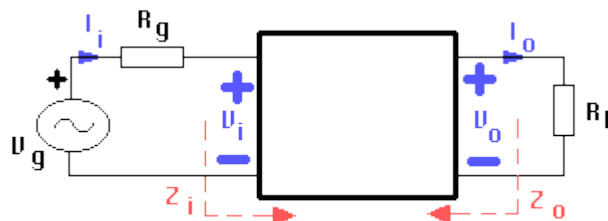
La necesidad de amplificar las señales es casi una necesidad constante en la mayoría de los sistemas electrónicos. En este proceso, los transistores desarrollan un papel fundamental, pues bajo ciertas condiciones, pueden entregar a una determinada carga una potencia de señal mayor de la que absorben.

El análisis de un amplificador mediante su asimilación a un cuádrípolo (red de dos puertas), resulta interesante ya que permite caracterizarlo mediante una serie de parámetros relativamente simples que nos proporcionan información sobre su comportamiento.



En los amplificadores, gracias a los transistores se consigue la intensidad de los sonidos y de las señales en general. El amplificador posee una entrada por donde se introduce la señal débil y otra por donde se alimenta con C.C. La señal de salida se ve aumentada gracias a la aportación de esta alimentación, siguiendo las mismas variaciones de onda que la de entrada.

La señal de entrada, de bajo nivel, del orden de unos pocos milivoltios, la aportan dispositivos como el micrófono (transforman ondas sonoras en señales eléctricas que siguen las mismas variaciones que las primeras), sensores térmicos, luminosos, etc.

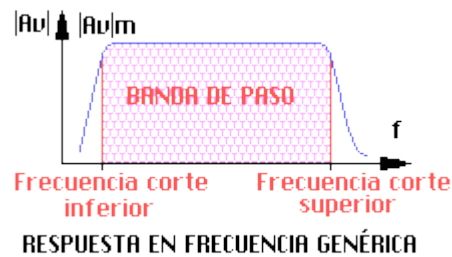


EL AMPLIFICADOR COMO CUADRIPOLO

Cuando un amplificador realiza la función de elevar la señal que ha sido aplicada a su entrada, se dice que ha producido una determinada ganancia. Se puede decir que la ganancia de un amplificador es *la relación que existe entre el valor de la señal obtenida a la salida y el de la entrada*. Dependiendo de la magnitud eléctrica que estemos tratando, se pueden observar tres tipos de ganancia: *ganancia en tensión, ganancia en corriente y ganancia en potencia*.

De esta forma podemos definir los siguientes parámetros:

1. **Ganancia de tensión (normalmente en decibelios):** $A_v = V_o / V_i$
2. **Impedancia de entrada (ohmnios):** $Z_i = V_i / I_i$
3. **Impedancia de salida (ohmnios):** $Z_o = V_o / I_o$ (para $V_g = 0$)
4. **Ganancia de corriente (normalmente en decibelios):** $A_i = I_o / I_i$
5. **Ganancia de potencia (normalmente en decibelios):** $A_p = P_o / P_i$

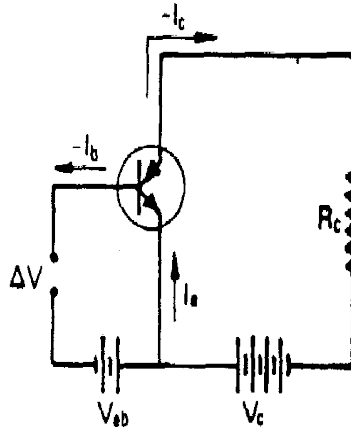


Un amplificador será tanto mejor cuanto mayor sea su ganancia y menor sea su impedancia de entrada y salida.

En cuanto a la frecuencia, los amplificadores dependen de esta, de forma que lo que es válido para un margen de frecuencias no tiene porqué serlo necesariamente para otro. De todas formas, en todo amplificador existe un margen de frecuencias en el que la ganancia permanece prácticamente constante (banda de paso del amplificador). El margen dinámico de un amplificador es la mayor variación simétrica de la señal que es capaz de presentar sin distorsión a la salida; normalmente expresado en voltios de pico (V_p) o Voltios pico-pico (V_{pp}).

Ampliación

Para comprender el funcionamiento del transistor como amplificador, se partirá del circuito de la figura, en el que el transistor se conecta en la configuración denominada de emisor común.



El generador V_{eb} asegura que la unión base-emisor esté polarizada en sentido directo. Una batería V_c ($V_c \gg V_{be}$) proporciona la tensión de polarización inversa a la unión del emisor.

El circuito de entrada, en el que se aplicará la señal que se desea amplificar, es el que contiene a la base y el emisor. El circuito de salida está conectado a las terminales del colector y del emisor. R_c es la resistencia de carga del circuito de salida.

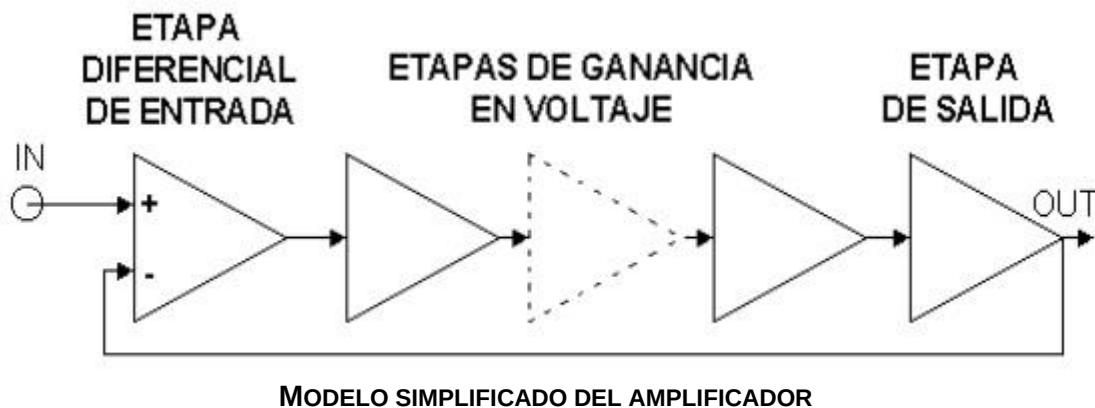
Supondremos que, cuando la tensión de entrada es nula (terminales de entrada cortocircuitadas), las corrientes que circulan por cada terminal son I_e , I_b e I_c , con los sentidos indicados en la figura.

A continuación, se calcularán cuáles son los incrementos que se producen en dichas intensidades si se modifica ligeramente la tensión V_{eb} , aplicando una ddp adicional a la entrada.

En este desarrollo, se admitirá que el incremento de tensión aplicado, es lo suficientemente pequeño para que las variaciones de intensidad que provoca estén relacionadas linealmente con él.

Asimismo, se despreciarán los efectos dinámicos producidos por la aplicación de una diferencia de potencial, aplicada muy lentamente.

- Etapa diferencial de entrada: Proporciona ganancia, rechazo al rizado de la fuente de alimentación y hace que la realimentación sea más eficiente.
- Etapas de ganancia en voltaje: Proporcionan una ganancia en lazo abierto mucho mayor. Esto contribuye a aumentar el ancho de banda y reducir la distorsión cuando se añade la realimentación.
- Etapa de ganancia en intensidad: Etapa cuya ganancia en voltaje es menor que uno, consistente en un seguidor de emisor, o fuente, o dos complementarios.



MATERIAL UTILIZADO

- Capacitor de 10micro a25v
- 2 capacitores de 1000micro a 16v
- 1 capacitor de 150pF
- Bocina de 4ohms a 3W
- Potenciómetro de 10K
- Tip 31c
- Tip 32c
- BC548
- 2 resistencia de 1ohm a 1/2 W
- 2 diodos 1n4148
- Resistencia de 330kohms
- Resistencia de 2kohms

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Empezamos con el diseño y la simulación del amplificador

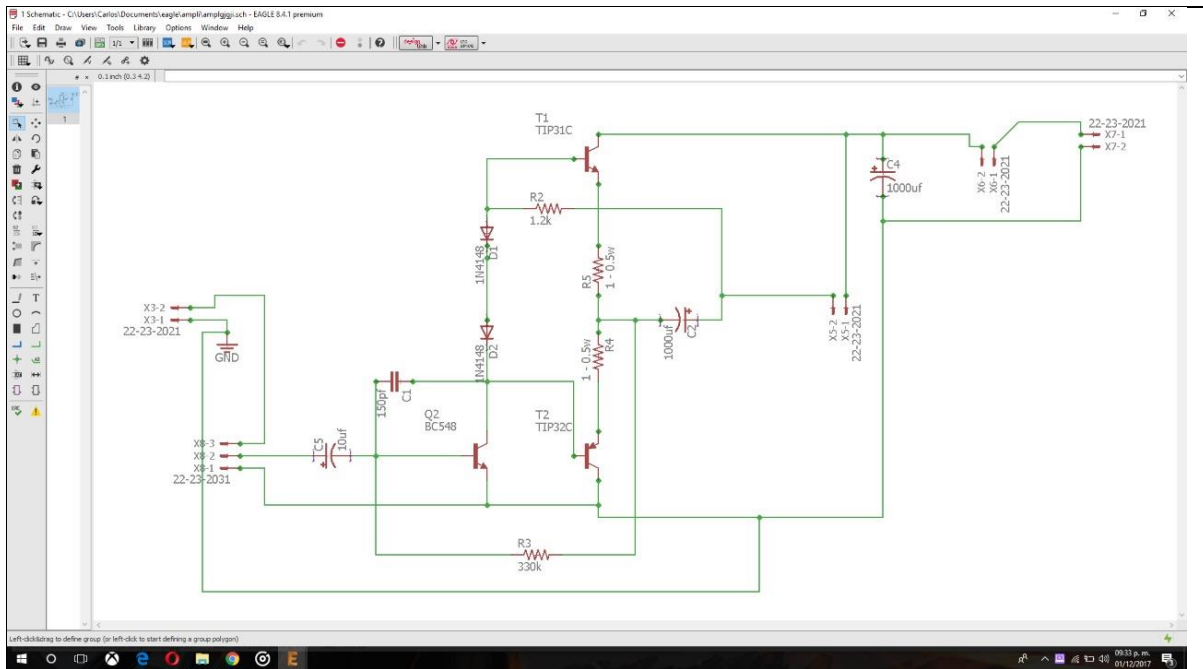


ILUSTRACIÓN 1 DISEÑO ESQUEMÁTICO DEL AMPLIFICADOR DE 2 ETAPAS

Una vez que el desarrollo esquemático esté listo y funcional procedemos a utilizar algún programa de PCB para diseñar nuestra placa, en nuestro equipo se decidió utilizar Eagle:

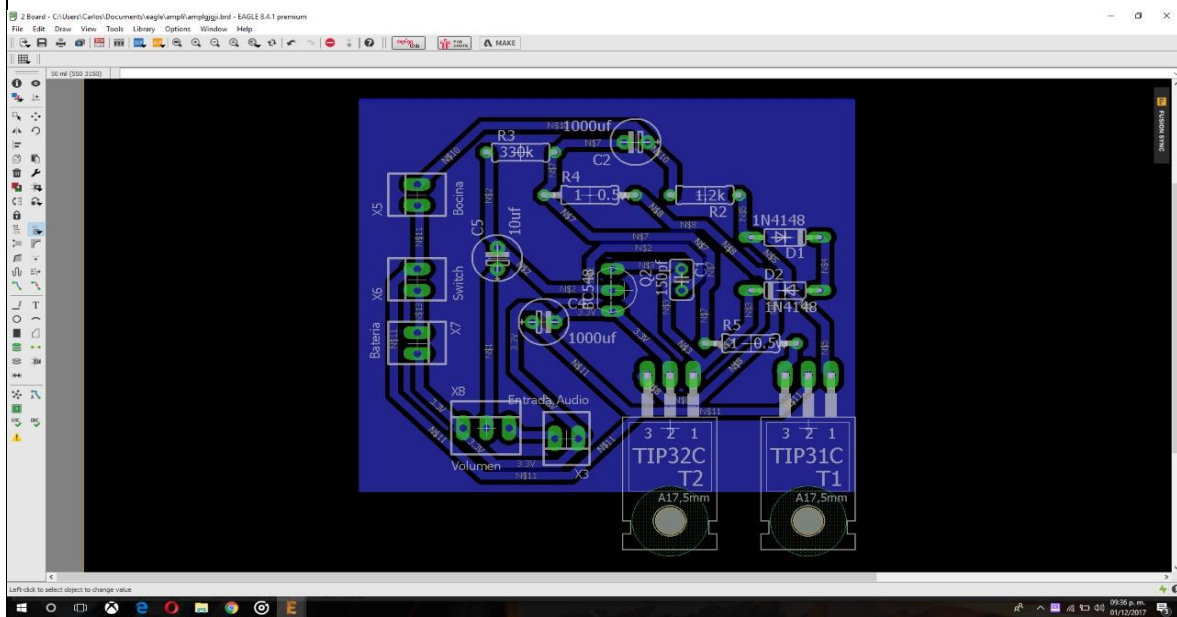


ILUSTRACIÓN 2 DISEÑO DEL PCB EN EAGLE



Ilustración 3 Alumno en el diseño del PCB (Aldo)

Una vez diseñada la PCB procedemos a imprimirla para su planchado en la placa fenólica, ya planchada procedemos a cortar el exceso de placa y la metemos al ácido férrico. Después de sacar la placa procedemos a perforar y soldar los componentes que irán en ésta.



ILUSTRACIÓN 5 ALUMNO DANDO DETALLES FINALES AL PCB (FRANCISCO)

Ya con la placa soldada procedemos al corte y armado de la caja para la Bocina.



ILUSTRACIÓN 6 CAJA CORTADA PARA METERLAS PIEZAS



Ilustración 7 Armado de la caja

RESULTADO



ILUSTRACIÓN 8 BOCINA TERMINADA

CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

Aldo Aramis Urbiola Cabrera

Los transistores siguen siendo dispositivos muy utilizados en la actualidad, ya que gracias a sus estructuras y propiedades podemos utilizarlos como reguladores y amplificadores, aprovechando estas ventajas los utilizamos para poder desarrollar nuestro amplificador de 2 etapas y así amplificar nuestra salida de sonido. Los amplificadores poseen una entrada por la cual se introduce una señal menor y otra por donde se alimenta con corriente continua. Conseguimos que la señal de salida tenga una amplificación gracias a la aportación que brinda la alimentación, la cual sigue las mismas variaciones de onda que la de entrada.

Francisco Javier Caballero Cob

Los transistores son dispositivos muy utilizados en la actualidad ya que al ser estos un regulador, amplificador, fuente, entre otras cosas en ese caso se hace uso de estos para construir un amplificador de sonido. Para entender este concepto cabe decir que el amplificador posee una entrada por donde se introduce la señal débil y otra por donde se alimenta con C.C. La señal de salida se ve aumentada gracias a la aportación de esta alimentación, siguiendo las mismas variaciones de onda que la de entrada por lo que esto ocasiona el amplificación del sonido.

Carlos Alfonso Avila Franco

Durante el proyecto pudimos observar el funcionamiento de los transistores para la amplificación de audio, estos siguen siendo muy utilizados en la industria. En nuestro caso se hizo un amplificador tipo push-pull el cual eleva bastante la señal, pero tiene el defecto de meter o causar ruido.

COMENTARIOS

--

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • [Online] disponible
http://rabfis15.uco.es/transistoresweb/Tutorial_General/eltransistorcomoamplificador.html • [Online] disponible
https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/2728/mod_resource/content/1/electro_ge/n/teoria/tema-5-teoria.pdf |
|--|

NOTA IMPORTANTE: PARA LA ENTREGA FINAL PRESENTAR EN UN FOLDER O ENGARGOLADO TODAS LAS PRÁCTICAS, EN EL CASO DEL FOLDER DEBE TENER UN BROCHE BACCO PARA SUJETAR LAS HOJAS.

VALORACION DEL PROFESOR

80 puntos

Fuentes de información.

1. Boylestad Robert L., Nashelsky Louis (2009) Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, México, Décima edición, Editorial Prentice Hall.
2. Malvino Albert Paul (2007) Principios de Electrónica Séptima edición Editorial. Mc Graw Hill.
3. Millman Jacob, Halkias Cristos C., (1991) Electrónica integrada circuitos y sistemas analógicos y digitales, 9ª edición Editorial Hispano Europea, S. A.
4. Grob. Bernard (1983) Circuitos electrónicos y sus aplicaciones. Editorial. Mc Graw Hill
5. Floyd Thomas L. (2008) Dispositivos Electrónicos, Editorial Limusa, Prentice Hall.
6. Savant Clement J, Martin S. Roden, Gordon L., Carpenter. (1998) Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas. Editorial Prentice Hall.
7. Sedra, S. Adel. (2008) Microelectrónica. Editorial Mc. Graw Hill.
8. Neamem Donald A. (2009) Microelectronics: Circuits, analysis and design. Editorial Mc. Graw Hill Higher Education.
9. Muhammad H. Rashid. (2011) Microelectronics Circuits: Analysis and Design. Editorial Cengage Learning.

ANEXOS. (Presentaciones de las unidades y respuestas de problemas propuestos).

[Unidad 1 presentaciones](#)

[Unidad 2 presentaciones](#)

Unidad 3 presentacionesUnidad 4 presentacionesUnidad 5 presentaciones**Respuestas Problemas Propuestos.**

Unidad 1

Problema 1

$$\frac{V_s - V_z}{I_s} = R_s \quad \frac{12 - 9.1}{300mA} = R_s$$

$$R_s = 9.6 \approx 10\Omega$$

Ahora hallaremos la potencia máxima que soportara el diodo y la resistencia en serie

$$P_R = (.3)^2 (10)$$

$$P_R = .9W \approx 1W$$

La resistencia que usaremos será de 10 ohm a 1 watt.

$$P_D = (9.1)(.3)$$

$$P_D = 2.73W \approx 3W$$

Tendremos que usar un diodo que soporte hasta 3 watts, con lo que usaremos un diodo de la serie 1SMB5924BT3, que soporta hasta 3 watts, pero según los datos del fabricante la potencia que realmente soporta son 1.5 watts como muestra en su hoja de datos.

Unidad 2

Problema 1

La juntura B - E => P.D.

a)

$$V_{BB} + I_B R_B + V_{BE} = 0$$

$$I_B = (V_{BB} - V_{BE}) / R_B$$

$$I_B = (4 - 0.7) / 220 K = 15 (\mu A)$$

b)

$$I_C = \beta I_B = 1500 (\mu A) = I_{C(max)} + I_{Co}$$

$$I_{C(max)} = 1500(\mu A) - 30 (nA) = 1,499 (mA)$$

$$I_C \approx I_{C(max)}$$

$$I_C = \beta I_B + (\beta + 1) I_{Co} = 1,503 (mA)$$

I_C no ha variado en nada.

c)

Si $V_{CB} < 0$, el transistor no trabaja en la región activa.

Si $V_{CB} > 0$, el transistor trabaja en la región activa.

$$V_{CB} + V_{BE} - V_{cc} + I_C R_C = 0$$

$$V_{CB} = -V_{BE} + V_{cc} - I_C R_C$$

$$V_{CB} = -0.7 + 15 - 1.5[mA] 3.3[K\Omega]$$

$$V_{CB} = 9.35 [V]$$

Como el $V_{CB} > 0 \Rightarrow$ el transistor está en la región activa.

Unidad 3

Problema 1

Para que el JFET trabaje como fuente de corriente con $I_D = 15 \text{ mA}$, debe trabajar en la región de saturación con $V_{DS} \geq (V_{GS} - V_p)$ y con $|V_{GS}| < |V_p|$. R_{Dmax} corresponde con $V_{DSmin} = V_{GS} - V_p$. De donde:

De la malla de salida:

$$V_{GSQ} = -I_{DQ} R_F = -1.5 \cdot 1 = -1.5 \text{ V}$$

$$V_{DSmin} = V_{GSQ} - V_p = -1.5 + 4 = 2.5 \text{ V}$$

$$R_{Dmax} = \frac{V_{DD} - V_{DSmin} - I_{DQ} R_F}{I_{DQ}} = \frac{10 - 2.5 - 1.5 \cdot 1}{1.5} = \boxed{4 \text{ k}\Omega}$$

$$R_{Dmax} = \frac{V_{DD} - V_{DSmin} - I_{DQ} R_F}{I_{DQ}} = \frac{10 - 2.5 - 1.5 \cdot 1}{1.5} = \boxed{4 \text{ k}\Omega}$$

Unidad 4

Problema 1

a) Recta de carga: $V_{DD} = I_D \cdot R_D + V_{DS} \rightarrow 40 = I_D \cdot 1,14 + V_{DS}$

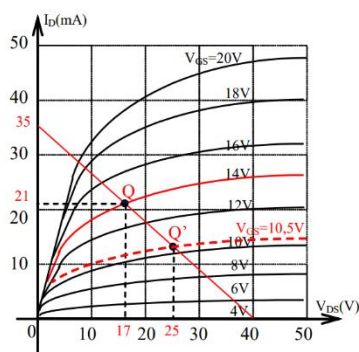
Puntos de corte con los ejes: $V_{DS} = 0 \rightarrow I_D = 40/1,14 = 35 \text{ mA}$

$I_D = 0 \rightarrow V_{DS} = 40 \text{ V}$

De la intersección Q de la curva $V_{GS} = 14 \text{ V}$ con la recta de carga:

$V_{DS} \cong 17 \text{ V}$ y $I_D \cong 21 \text{ mA}$

b) Dado que la recta de carga no cambia, $V_{DS} = 25 \text{ V} \rightarrow Q' \rightarrow V_{GS} = V_{GG} \cong 10,5$



Instrumentación Didáctica de la materia.



**Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Mérida
Subdirección Académica**

Instrumentación Didáctica para la Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales Periodo Agosto-Diciembre 2023

Nombre de la asignatura: **DIODOS Y TRANSISTORES**

Plan de estudios: **IELC-2010-211-INGENIERIA ELECTRONICA**

Clave de asignatura: **ETF-1012**

Horas teoría – horas prácticas – créditos: **3-2-5**

1. Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero en Electrónica la capacidad de utilizar diodos y transistores, a su vez permite conocer, identificar y comprender el comportamiento y operación de estos dispositivos semiconductores para su aplicación en el diseño, análisis, simulación y construcción de circuitos electrónicos utilizando componentes discretos; así como conocer los principios, características, parámetros de voltaje y corriente utilizados en el diseño de circuitos de polarización de los transistores BJT y JFET que le permitirán diseñar circuitos amplificadores, entre otras aplicaciones.

2. Intención didáctica

El temario está organizado en seis temas, que agrupan los contenidos conceptuales de la asignatura. Abordando los conceptos involucrados en la descripción de cada elemento.

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



El primer tema, analiza los principios básicos de operación y aplicación de los diferentes diodos aplicados en diversos circuitos como rectificadores, limitadores, sujetadores, multiplicadores y reguladores, así como estudiar las características de operación de otros diodos como reguladores de corriente, túnel, zener, LASER, Schottky, PIN, Gunn.

El segundo tema, se aplican las propiedades y características de los transistores bipolares o BJT para el análisis y diseño de circuitos de polarización, definición del punto de operación, regiones de operación, recta de carga y estabilidad.

El tercer tema, integra los conocimientos previos para los JFET y MOSFET con relación a sus propiedades y características, para el análisis y diseño de circuitos de polarización en fuente común, drenador común y compuerta común.

El cuarto tema, integra los conocimientos previos para describir la operación de los diferentes tipos de dispositivos bipolares y unipolares, en el análisis y diseño de circuitos amplificadores de pequeña señal.

El quinto tema, se integran los conocimientos previos para diseñar y construir una fuente de alimentación de voltaje que opere con diodo zener, transistor BJT y regulador de voltaje con circuito integrado.

El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes; planteamiento de hipótesis; trabajo en equipo; asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual compleja; por esta razón varias de las actividades prácticas se han descrito como actividades previas al tratamiento teórico de los temas, de manera que no sean una mera corroboración de lo visto previamente en clase, sino una oportunidad para conceptualizar a partir de lo observado.

En las actividades prácticas sugeridas, es conveniente que el profesor busque sólo guiar a sus alumnos para que ellos hagan la elección de las variables a controlar y registrar. Para que aprendan a planificar, que no planifique el profesor todo por ellos, sino involucrarlos en el proceso de planeación. La lista de actividades de aprendizaje no es exhaustiva, se sugieren sobre todo las necesarias para hacer más significativo y efectivo el aprendizaje. Algunas de las actividades sugeridas pueden hacerse como actividad extra clase y comenzar el tratamiento en clase a partir de la discusión de los resultados de las observaciones. Se busca partir de experiencias concretas, cotidianas, para que el estudiante se acostumbre a reconocer los fenómenos físicos en su alrededor y no sólo se hable de ellos en el aula. Es importante ofrecer escenarios distintos, ya sean construidos, artificiales, virtuales o naturales.

Es necesario que el profesor ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



3. Competencia de la asignatura

Analiza, diseña e implementa circuitos con diodos, transistores bipolares, unipolares y fuentes de alimentación, para diferentes configuraciones de circuitos electrónicos de aplicación.

4. Análisis por competencias específicas

Competencia No.: 1 Descripción: **Analiza y diseña circuitos con diodos para su aplicación en circuitos electrónicos.**

Temas y subtemas para desarrollar la competencia específica	Actividades de aprendizaje	Actividades de enseñanza	Desarrollo de competencias genéricas	Horas teórico-prácticas
1.- Circuitos de aplicación con diodos. 1.1. Polarización y recta de carga. 1.2. Circuitos serie, paralelo, serie – paralelo en DC. 1.3. Circuitos de: 1.3.1. Rectificación y filtrado. (media onda y onda completa). 1.3.2. Recortadores. 1.3.3. Sujetadores. 1.3.4. Multiplicadores. 1.4. Diodo Zener. 1.4.1. Circuitos reguladores. 1.5. Otros diodos (Varactor, Schottky, PIN, Avalancha, Gunn, Túnel, LASER, etc.)	Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas; sobre el comportamiento, la estructura y aplicación de los circuitos con diodos. En pequeños grupos analizar la información y reflexionar sobre el funcionamiento y aplicación de los circuitos con diodos. Hacer un reporte de investigación de manera escrita, que contenga circuitos, conceptos, ecuaciones y a final elaborar un mapa conceptual a manera de resumen. Analizar circuitos de aplicación con diodos como rectificadores, recortadores, sujetadores, multiplicadores. Implementar prácticas de laboratorio relacionados con circuitos de aplicación con	Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita. Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad de investigación. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Capacidad de trabajo en	15

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



características y circuitos de aplicación.	Diodos Analizar, diseñar e implementar circuitos de regulación de voltaje con diodo zener. Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de circuitos.	trabajo en equipo. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos	equipo. Habilidades interpersonales. Habilidad para trabajar en forma autónoma.	
--	---	---	---	--

Indicadores de alcance	Valor del indicador
A) Se adapta a situaciones y contextos complejos.	4
B) Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas.	4
C) Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase. (creatividad)	4
D) Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico.	3
E) Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	3
F) Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada.	2

Niveles de desempeño:

Desempeño	Nivel de desempeño	Indicadores de alcance	Valoración numérica
Competencia alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores	95-100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente	75-84

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente	70-74
Competencia no alcanzada	Insuficiente	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA(no alcanzada)

Matriz de evaluación:

Evidencia de aprendizaje	%	Indicador de alcance						Evaluación formativa de la competencia
		A	B	C	D	E	F	
Prácticas	8	2	2	2	1	1		Reporte de prácticas
Examen	8	2		1	1	1	1	Evaluación escrita
Trabajo de investigación	4		2		1	1		Rubrica del trabajo de investigación
TOTAL	20	4	4	4	3	3	2	

Nota: este apartado número cuatro de la instrumentación didáctica para la formación y desarrollo de competencias profesionales se repite, de acuerdo al número de competencias específicas de los temas de asignatura.

Competencia No.: 2 Descripción: **Analiza y diseña circuitos de polarización en las regiones de operación para su aplicación en redes electrónicas.**

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Temas y subtemas para desarrollar la competencia específica	Actividades de aprendizaje	Actividades de enseñanza	Desarrollo de competencias genéricas	Horas teórico-prácticas
2.- Transistor bipolar (BJT) 2.1. Características, parámetros y punto de operación. 2.2. Configuraciones de polarización. 2.2.1. Emisor común. 2.2.1.1. Polarización fija. 2.2.1.2. Polarización de emisor. 2.2.1.3. Polarización por divisor de voltaje. 2.2.1.4. Polarización por realimentación de colector. 2.2.2. Base común. 2.2.3. Colector común. 2.3. Conmutación. 2.4. Estabilidad	Analizar la recta de carga para las configuraciones de polarización del BJT, identificando las condiciones de saturación y corte. Interpretar los factores de estabilidad y como éstos afectan la operación de los BJT. Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas; sobre el comportamiento, la estructura y aplicación de los transistores BJT. Hacer un reporte de investigación de manera escrita, que contenga circuitos, conceptos, y ecuaciones. Analizar, diseñar e implementar circuitos de polarización con BJT para las distintas configuraciones. Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de circuitos. En equipo de trabajo comprobar el comportamiento de circuitos con BJT y que este sea de acuerdo al diseño y al resultado de la simulación. Hacer un informe de la práctica de manera que incorpore los resultados de la simulación, diagramas, cuadros, tablas de resultados, y todo lo necesario para evidenciar las actividades realizadas por el equipo de trabajo, deberá incluir la conclusión.	Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita. Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad de investigación. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Capacidad de trabajo en equipo. Habilidades interpersonales. Habilidad para trabajar en forma autónoma.	15

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Indicadores de alcance	Valor del indicador
A) Se adapta a situaciones y contextos complejos.	4
B) Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas.	4
C) Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase.(creatividad)	4
D) Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico.	3
E) Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	3
F) Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada.	2

Niveles de desempeño:

Desempeño	Nivel de desempeño	Indicadores de alcance	Valoración numérica
Competencia alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores	95-100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente	75-84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente	70-74
Competencia no alcanzada	Insuficiente	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA(no alcanzada)

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Matriz de evaluación:

Evidencia de aprendizaje	%	Indicador de alcance						Evaluación formativa de la competencia
		A	B	C	D	E	F	
Prácticas	8	2	2	2	1	1		Reporte de prácticas
Examen	8	2		1	1	1	1	Evaluación escrita
Trabajo de investigación	4		2		1	1		Rubrica del trabajo de investigación
TOTAL	20	4	4	4	3	3	2	

Competencia No.: 3 Descripción: **Analiza y diseña circuitos de polarización en la región activa para su aplicación en redes electrónicas.**

Temas y subtemas para desarrollar la competencia específica	Actividades de aprendizaje	Actividades de enseñanza	Desarrollo de competencias	Horas teórico-
---	----------------------------	--------------------------	----------------------------	----------------

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



			genéricas	prácticas
3.- Transistor unipolar. (FET, MOSFET). 3.1. Configuraciones de polarización. 3.1.1. Fija. 3.1.2. Autopolarización. 3.1.2.1. Utilizando la curva de polarización universal. 3.2. Polarización por divisor de voltaje. 3.2.1. Utilizando la curva de polarización universal. 3.3. Configuración en compuerta y drenador común. 3.4. Polarización de MOSFET. 3.5. Redes combinadas.	Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas; sobre el comportamiento, la estructura y aplicación de los transistores de efecto de campo. Determinar las condiciones de operación del FET en las características transferencia corriente – voltaje. Hacer un reporte de investigación de manera escrita, que contenga circuitos, conceptos y ecuaciones. Analizar, diseñar e implementar circuitos de polarización con JFET y MOSFET para las diversas configuraciones. Utilizar la curva universal de polarización del FET. Utilizar herramientas computacionales para simular el comportamiento de circuitos. En equipo de trabajo comprobar en el laboratorio el comportamiento de circuitos con FET'S y que este sea de acuerdo al diseño y al resultado de la simulación. Hacer el reporte escrito de la práctica de manera que incorpore los resultados de la simulación, diagramas, cuadros, tablas de resultados, y todo lo necesario para evidenciar las actividades realizadas por el equipo de trabajo, deberá incluir la conclusión.	Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita. Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad de investigación. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Capacidad de trabajo en equipo. Habilidades interpersonales. Habilidad para trabajar en forma autónoma.	15

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Indicadores de alcance	Valor del indicador
A) Se adapta a situaciones y contextos complejos.	4
B) Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas.	4
C) Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase.(creatividad)	4
D) Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico.	3
E) Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	3
F) Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada.	2

Niveles de desempeño:

Desempeño	Nivel de desempeño	Indicadores de alcance	Valoración numérica
Competencia alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores	95-100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente	75-84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente	70-74
Competencia no alcanzada	Insuficiente	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA(no alcanzada)

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



Matriz de evaluación:

Evidencia de aprendizaje	%	Indicador de alcance						Evaluación formativa de la competencia
		A	B	C	D	E	F	
Prácticas	8	2	2	2	1	1		Reporte de prácticas
Examen	8	2		1	1	1	1	Evaluación escrita
Trabajo de investigación	4		2		1	1		Rubrica del trabajo de investigación
TOTAL	20	4	4	4	3	3	2	

Competencia No.: 4 Descripción: **Analiza y diseña amplificadores de pequeña señal utilizando los modelos equivalentes del BJT y FET para comprender sus puntos de operación óptimo.**

Temas y subtemas para desarrollar la competencia específica	Actividades de aprendizaje	Actividades de enseñanza	Desarrollo de competencias genéricas	Horas teórico-prácticas
4.- Amplificadores con transistores BJT's y FET's. 4.1. Introducción a los Amplificadores en pequeña señal. 4.2. Amplificador con BJT.	Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas; acerca de los modelos de AC para los transistores BJT y FET. Hacer un reporte de investigación de	Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas,	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita.	20

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



4.2.1. Modelo re. 4.2.2. Parámetros de redes de 2 puertos. 4.2.3. Modelo Híbrido. 4.2.4. Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones. 4.2.5. Efecto de la resistencia R_s y R_L . 4.2.6. Análisis por computadora. 4.3. Amplificador con JFET. 4.3.1. Modelo del JFET en pequeña señal. 4.3.2. Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones de polarización. 4.3.3. Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.	manera escrita, que contenga circuitos, conceptos y ecuaciones. Analizar, diseñar e implementar circuitos amplificadores con BJT, JFET Y MOSFET para las diversas configuraciones. Determinar los efectos de las resistencias R_s y R_L en la ganancia. Utilizar herramientas de cómputo para simular el comportamiento de circuitos. En equipo de trabajo comprobar en el laboratorio el comportamiento de los circuitos amplificadores con BJT Y FET, de acuerdo al diseño y al resultado de la simulación. Hacer el reporte escrito de la práctica de manera que incorpore los resultados de la simulación, diagramas, cuadros, tablas de resultados, formas de onda de entrada y salida, así como todo lo necesario para evidenciar las actividades realizadas por el equipo de trabajo, deberá incluir las conclusiones pertinentes.	la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la aplicación de los conceptos	Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad de investigación. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Capacidad de trabajo en equipo. Habilidades interpersonales. Habilidad para trabajar en forma autónoma.	
--	--	--	--	--

Indicadores de alcance	Valor del indicador
A) Se adapta a situaciones y contextos complejos.	4
B) Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas.	4
C) Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase.(creatividad)	4
D) Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico.	3
E) Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	3

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



F) Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada.	2
---	---

Niveles de desempeño:

Desempeño	Nivel de desempeño	Indicadores de alcance	Valoración numérica
Competencia alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores	95-100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente	75-84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente	70-74
Competencia no alcanzada	Insuficiente	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA(no alcanzada)

Matriz de evaluación:

Evidencia de aprendizaje	%	Indicador de alcance						Evaluación formativa de la competencia
		A	B	C	D	E	F	
Prácticas	8	2	2	2	1	1		Reporte de prácticas
Examen	8	2		1	1	1	1	Evaluación escrita

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



Trabajo de investigación	4		2		1	1		Rubrica del trabajo de investigación
TOTAL	20	4	4	4	3	3	2	

Competencia No.: 5 Descripción: **Aplica los conceptos de rectificación y filtrado, para el diseño y construcción de una fuente de alimentación regulada con diodo zener, transistor BJT y Circuitos reguladores integrados.**

Temas y subtemas para desarrollar la competencia específica	Actividades de aprendizaje	Actividades de enseñanza	Desarrollo de competencias genéricas	Horas teórico-prácticas
5.- Proyecto Final. 5.1. Diseño de una fuente de alimentación: 5.1.1. Utilizando regulador transistorizado. 5.1.2. Utilizando regulador de Circuito Integrado.	Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas acerca de los criterios para diseñar una fuente de voltaje regulada. Aplicar los principios básicos de operación de los filtros por capacitor y red RC en circuitos de rectificación. Diseñar e implementar un circuito regulador de voltaje discreto serie y/o paralelo. Implementar un regulador de voltaje utilizando un circuito integrado con protección de corriente y sobrecarga. Hacer el marco de referencia que contenga circuitos, conceptos, y ecuaciones. Hacer el reporte escrito del diseño y análisis de la fuente regulada de voltaje de manera que incorpore los resultados de la simulación, diagramas, cuadros, tablas de resultados, formas de onda de entrada y salida, así como	Propiciar actividades de búsqueda, selección y análisis de información en distintas fuentes. Fomentar actividades grupales que propicien la comunicación, el intercambio argumentado de ideas, la reflexión, la integración y la colaboración de y entre los estudiantes. Llevar a cabo actividades prácticas que promuevan el desarrollo de habilidades para la experimentación, tales como: observación, identificación manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, de trabajo en equipo. Desarrollar actividades de aprendizaje que propicien la	Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. Capacidad de comunicación oral y escrita. Habilidades en el uso de las tecnologías de la información y de la comunicación. Capacidad de investigación. Habilidades para buscar, procesar y analizar información procedente de fuentes diversas. Capacidad para identificar, plantear y resolver problemas. Capacidad de trabajo en equipo. Habilidades interpersonales. Habilidad para trabajar en	10

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



	todo lo necesario para evidenciar las actividades realizadas por el equipo de trabajo, deberá incluir la conclusión.	aplicación de los conceptos	forma autónoma.	
--	--	-----------------------------	-----------------	--

Indicadores de alcance	Valor del indicador
A) Se adapta a situaciones y contextos complejos.	4
B) Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas.	4
C) Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase.(creatividad)	4
D) Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico.	3
E) Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	3
F) Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada.	2

Niveles de desempeño:

Desempeño	Nivel de desempeño	Indicadores de alcance	Valoración numérica
Competencia alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores	95-100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en desempeño excelente.	85-94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el desempeño excelente	75-84

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el desempeño excelente	70-74
Competencia no alcanzada	Insuficiente	No se cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimentales y actitudinales de los indicadores definidos en el desempeño excelente	NA(no alcanzada)

Matriz de evaluación:

Evidencia de aprendizaje	%	Indicador de alcance						Evaluación formativa de la competencia
		A	B	C	D	E	F	
Proyecto	20	4	4	4	3	3	2	Reporte del Proyecto
TOTAL	20	4	4	4	3	3	2	

5. Fuentes de información y apoyos didácticos

Fuentes de información:

Apoyos didácticos:

1. Boylestad Robert L., Nashelsky Louis (2009) <i>Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos</i>, México, Décima edición, Editorial Prentice Hall. 2. Malvino Albert Paul (2007) <i>Principios de Electrónica Séptima edición</i> Editorial. Mc Graw Hill.	PROYECTOR PINTARRON SOFTWARE (MULTISIM)
---	--

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MEXICO



3. Millman Jacob, Halkias Cristos C., (1991) Electrónica integrada circuitos y sistemas analógicos y digitales, 9ª edición Editorial Hispano Europea, S. A.
4. Grob. Bernard (1983) Circuitos electrónicos y sus aplicaciones. Editorial. Mc Graw Hill
5. Floyd Thomas L. (2008) Dispositivos Electrónicos, Editorial Limusa, Prentice Hall.
6. Savant Clement J, Martin S. Roden, Gordon L., Carpenter. (1998) Diseño Electrónico, Circuitos y Sistemas. Editorial Prentice Hall.
7. Sedra, S. Adel. (2008) Microelectrónica. Editorial Mc. Graw Hill.
8. Neamen Donald A. (2009) Microelectronics: Circuits, analysis and design. Editorial Mc. Graw Hill Higher Education.
9. Muhammad H. Rashid. (2011) Microelectronics Circuits: Analysis and Design. Editorial Cengage Learning.

6. Calendarización de evaluación en semanas:

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TP	ED		EF1 ES1			EF2 ES2			EF3 ES3				EF4 ES4		EF5 ES5	ES FINAL	
TR																	
SD																	

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MEXICO



TP= tiempo planeado

TR= tiempo real

SD= seguimiento departamental

ED= evaluación diagnóstica

EFn= evaluación formativa (competencia específica n)

ES= evaluación sumativa

Fecha de elaboración: **28 de Julio de 2023**

Tomas H. Villalobos Valladares

Nombre y firma del (de la) profesor (a)

Ing. José Fidel Rodríguez Huerta

Nombre y firma del (de la) jefe (a) del departamento
Académico

ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1, 7.1.5, 9.1.1, 8.6 REV 06



ITMER-AC-PO-003-05

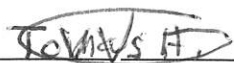
CARTA DE RECONOCIMIENTO DEL AUTOR DE LOS DERECHOS A FAVOR DEL TECNIM

Mérida Yucatán, 12/08/24

**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.
PRESENTE**

Bajo protesta de decir verdad, yo, *Tomás Humberto Villalobos Valladares*, personal docente adscrito al *Departamento de Ingeniería Eléctrica- Electrónica Campus Instituto Tecnológico de Mérida* del **Tecnológico Nacional de México**, manifiesto que en cumplimiento de mis actividades relacionadas con el Año Sabático elaboré la obra titulada *"Apuntes de Diodos y Transistores"*. Con base en lo anterior, y con fundamento en los artículos 83 de la Ley Federal del Derecho de Autor y 46 de su Reglamento, reconozco que el Tecnológico Nacional de México es titular de los derechos patrimoniales sobre la misma y le corresponden las facultades relativas a la divulgación, integridad de la obra y de colección, conservando el derecho a figurar como autor. Asimismo, respondo por la autoría y originalidad de la citada obra; y relevo de toda responsabilidad al Tecnológico Nacional de México de cualquier demanda o reclamación que llegara a formular alguna persona física o moral que considere que con esta obra es afectado en alguno de los derechos protegidos por la Ley en cita, asumiendo todas las consecuencias legales y económicas.

ATENTAMENTE



Tomás Humberto Villalobos Valladares

NOMBRE DEL TRABAJO

DIODOS Y TRANSISTORES.pdf

AUTOR

TOMÁS HUMBERTO VILLALOBOS VALLADARES

RECuento DE PALABRAS

43384 Words

RECuento DE CARACTERES

225308 Characters

RECuento DE PÁGINAS

179 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

8.8MB

FECHA DE ENTREGA

Aug 16, 2024 11:03 AM CST

FECHA DEL INFORME

Aug 16, 2024 11:06 AM CST

● 28% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 28% Base de datos de Internet
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 25 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

Vo. Bo.
Mtro. Ramo Causa
Subdirector Académico

