

Tecnológico Nacional de México

Instituto Tecnológico de Aguascalientes

Ingeniería Electrónica



B.1.2 Elaboración de Apuntes de Asignatura

Diodos y transistores

ETF-1012

Elaboró: Alejandro Sánchez Barroso

Aguascalientes, Ags. 06/marzo de 2025

Contribución Académica

La materia de Diodos y Transistores ofrece la introducción de elementos semiconductores, esto es, el principio de funcionamiento, conocimiento de simbología, circuitos de operación y aplicaciones prácticas. En su primera etapa se estudian diferentes tipos de diodos, operación y aplicaciones, donde se estudian esencialmente los más comunes y dando la relevante importancia que tienen dentro de los objetivos del programa educativo, ya que son parte fundamental para la identificación, operabilidad y diseño de sistemas electrónicos para resolver problemas y atender las necesidades de su entorno con ética y actitud analítica.

En la segunda etapa se estudian los transistores bipolares de unión y transistores de efecto de campo, para ello se da gran importancia en su construcción, operabilidad, simbología y configuraciones más utilizadas en circuitos prácticos dentro del área del campo laboral. De igual manera que la etapa anterior se refuerza al estudiante con herramientas que se utilizan en conjunto con materias de semestres posteriores para reforzar el análisis y adaptación y construcción de sistemas analógicos.

En una tercera etapa se agrega, en los transistores bipolares de unión y de efecto de campo su aplicación de señales de corriente alterna como amplificadores, observando su ganancia, distorsión, defasamiento, sus efectos de carga, entre otras. Todo esto es de gran importancia como herramientas de asignaturas que requieren amplificadores analógicos y que agregan competencias para que se cumplan los objetivos del programa educativo.

Como etapa final se elabora un proyecto, en el que el estudiante investiga, diseña y aplica herramientas vistas durante el semestre, esto es, la teoría y prácticas sobre simbología, construcción, operabilidad, configuraciones, circuitos, amplificadores, reguladores, etc. que ayudan para la realización de una fuente de corriente directa, en la que diseña y construye una

tarjeta de circuito impreso en la que debe cumplir con características de voltaje, capacidad de corriente, estética, etc

Índice

Introducción.....	7
Tema 1 Circuitos de aplicación con diodos.....	9
1.1 Polarización y recta de carga	9
1.2 Circuitos serie, paralelo, serie-paralelo en DC	13
1.3 Circuitos de:.....	19
1.3.1 Circuitos de rectificación y filtrado (media onda y onda completa) ...	19
1.3.2 Circuitos con Recortadores.....	35
1.3.3 Circuitos Sujetadores	43
1.3.4 Multiplicadores.....	49
1.4 Diodo Zener.....	54
1.4.1 Circuitos Reguladores.....	55
1.5 Otros diodos (Varactor, Schottky, PIN, Avalancha, Gunn, Túnel, LASER, etc.) características y circuitos de aplicación.....	61
Tema 2. Transistor Bipolar (BJT)	77
2.1 Características, parámetros y punto de operación.	77
2.2 Configuraciones de polarización.	79
2.2.1 Emisor común.....	79
2.2.1.1 Polarización fija.....	79
2.2.1.2 Polarización de emisor.	83
2.2.1.3 Polarización por Divisor de Voltaje.	87
2.2.1.4 Polarización por realimentación de colector.	95
2.2.2 Base común	99

2.2.3 Colector común	102
2.3 Conmutación.....	105
2.4 Estabilidad	109
Tema 3. Transistor Unipolar. (FET, MOSFET)	125
3.1 Configuraciones de Polarización.....	127
3.1.1 Fija.....	127
3.1.2 Autopolarización	132
3.1.2.1 Utilizando la curva de polarización Universal.	137
3.2 Polarización por divisor de voltaje.	140
3.2.1 Utilizando la curva de polarización universal	140
3.3 Configuración en compuerta y drenador común.	143
3.4 Polarización de MOSFET.....	147
3.5 Redes combinadas.	161
Tema 4. Amplificadores con transistores BJT's y FET's.....	175
4.1 Introducción a los Amplificadores en pequeña señal	175
4.2 Amplificador con BJT	177
4.2.1 Modelo re.....	177
4.2.2 Parámetros de 2 puertos.....	180
4.2.3 Modelo híbrido	181
4.2.4 Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones.....	187
4.2.5 Efecto de la resistencia R_s y R_L	196
4.2.6 Análisis por computadora.....	197
4.3 Amplificador con JFET	199

4.3.1 Modelo del JFET en pequeña señal	200
4.3.2 Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones de polarización.	207
4.3.3 Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.	210
Tema 5 Amplificadores con Transistores BJT's y FET's.	230
5.1 Diseño de una fuente de alimentación.....	230
5.1.1 Utilizando regulador transistorizado	230
5.1.2 Utilizar regulador de circuito integrado.....	230
Anexos.....	233
Anexo A Solución de Ejercicios Prácticos.....	233
Unidad I	233
Unidad II.....	239
Unidad III	246
Unidad IV	252
Referencias	257
Instrumentación Didáctica.....	258

Introducción

La elaboración de apuntes para la asignatura de Diodos y Transistores es de gran importancia para el estudiante y también lo es para el sistema TecNM, de tal forma que se tengan actualizaciones en contenido, material utilizado, así como del software que se puede usar para un mejor aprovechamiento del aprendizaje. Es por ello que se realizaron estos apuntes con actividades didácticas y ejercicios prácticos para aprovechar la naturaleza de la materia.

En la primera parte se estudian los diferentes tipos de diodos y se da continuación a lo que es la materia de física de semiconductores, ya que se comienza con la teoría y solución de problemas con circuitos serie, paralelo y mixtos, continuando con la teoría de conversión de corriente alterna y directa a través de los rectificadores que son muy importantes y fundamentales para cualquier dispositivo electrónico que se tiene comercial e industrialmente. También se incluyen otras aplicaciones con diodos, como lo son los recortadores, sujetadores y multiplicadores. Como parte final, se ven los diodos Zener y otros diodos como el varactor, PIN, etc. De manera general y algunas aplicaciones. En este tema se incluyen además de la teoría, algunas presentaciones, infografías y ejercicios prácticos como elementos educativos para fortalecer el aprendizaje.

En la segunda parte, que comprenden los temas 2 y 3, se estudian los transistores Bipolares (BJT) y los Transistores de efecto de campo JFET y MOSFET en análisis de polarización de corriente directa (CD), en los que se da una introducción a cada uno de los dispositivos y se ven las configuraciones más esenciales y la manera de encontrar el punto de trabajo estable (Q), que sirve para posteriormente construir un amplificador de pequeña

señal. Para ayudar a construir el aprendizaje, se añaden presentaciones, quiz, infografías y ejercicios prácticos.

En el tema 4 se da continuidad al análisis hecho en CD de los transistores. En éste se ven configuraciones y circuitos con su análisis completo, es decir incluyendo señales de corriente alterna (CA) como entrada, es decir, el análisis de amplificadores de pequeña señal con Transistores BJT, JFET y MOSFET. En el tema también se incluyen simulaciones en Multisim, presentaciones y ejercicios prácticos. Es importante alcanzar los objetivos educacionales, ya que éstos se requieren para materias posteriores.

Finalmente, como Tema 5, se agregan las herramientas básicas para que el estudiante, con todo lo aprendido anteriormente, y haciendo uso de la capacidad de investigación, logre realizar completamente una fuente de corriente directa transistorizada o con circuito integrado. Para ello se propone un formato que ayude a la integración del proyecto y lo que debe de contener de la parte técnica y teórica. Es importante mencionar, que en el documento se agregan herramientas educacionales ya mencionadas para ayudar a la construcción del aprendizaje del estudiante, siendo el docente parte importante para cumplir con dicho objetivo.

Tema 1 Circuitos de aplicación con diodos

1.1 Polarización y recta de carga

Un diodo es un dispositivo semiconductor formado por la unión de dos materiales llamados P y N. que son dopados de acuerdo al tipo de diodo o aplicaciones que se pueden llegar a tener. Su símbolo es como se muestra en la **figura 1.1** y consta de dos terminales llamadas ánodo (A) y cátodo (K); su tipo de polarización es de acuerdo a cómo es aplicado un voltaje entre terminales, teniendo así un comportamiento diferente entre estos.



Figura 1.1 Símbolo del diodo

Polarización directa. Es cuando se aplica un voltaje entre sus terminales como se muestra en la **figura 1.2**, conectando la terminal positiva al ánodo y la negativa al cátodo, teniendo así un comportamiento similar al de un interruptor cerrado y fluyendo corriente entre él. Para ello también debe superar un voltaje de umbral de aproximadamente 0.7 volts para diodos de silicio y de 0.3 volts para el Germanio.

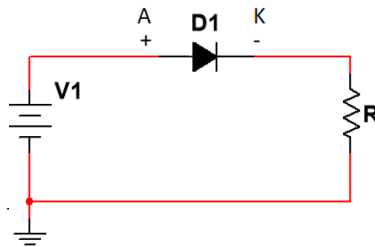


Figura 1.2 Polarización directa

Polarización inversa. Es cuando el voltaje aplicado entre sus terminales es como se muestra en la figura 1.3, es decir, la terminal del ánodo al potencial negativo y el cátodo al positivo. El comportamiento se puede asemejar al de un interruptor en estado abierto, en el que la corriente que fluye es desconsiderable.

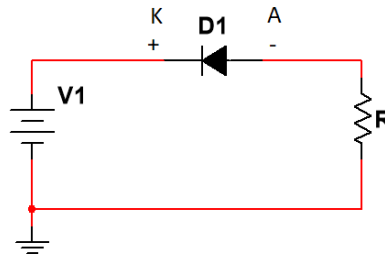


Figura 1.3 Polarización Inversa

Con estos tipos de polarización se resume su comportamiento del diodo de propósito general y que se muestra su gráfica mediante la figura 1.4, esto es, aplicando la ecuación de Shockley.

$$I_d = I_o \left\{ \exp \left[\frac{qV_j}{nKT} \right] - 1 \right\}$$

Donde:

I_o = Corriente de saturación inversa

n = Factor de idealidad del diodo ($n=1$ ideal)

q = Carga

K = Constante de Boltzman

T = Temperatura absoluta (en grados Kelvin)

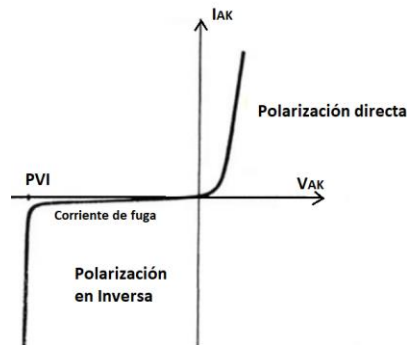


Figura 1.4 Curva del diodo

En ésta se destacan aspectos importantes, En polarización directa, es decir el cuadrante I muestra que la corriente va aumentando de forma lenta mientras el voltaje aplicado llega al umbral mencionado anteriormente y no de forma abrupta, teniendo así un flujo de corriente que va en aumento conforma aumenta el potencial de polarización, esto es debido a la recombinación de electrones y estrechamiento de la región de barrera. Cuando se polariza en directa, es decir en el cuadrante III, se observa como hay una corriente muy pequeña que en muchos de los casos se puede despreciar y que se conoce como corriente de fuga I_f y que es debido a los iones producidos por las impurezas de los materiales P y N.

Recta de Carga.- Es un método gráfico para la resolución de problemas con Diodos de forma muy sencilla y sin conocer ampliamente las características o propiedades de los diodos. Para ello se puede partir de 3 modelos de gráficas de diodo muy utilizados, que son Modelo real, ideal y aproximado.

Modelo Real.- Se parte de la gráfica real del diodo en particular a usar (Figura 1.4), ya sea proporcionado por el fabricante u obtenida a través de algún equipo tal como trazador de curvas.

Una vez teniendo la función de transferencia o gráfica que es particularmente el comportamiento del Diodo, entonces ahora se toma en cuenta los elementos externos al diodo pero que forman parte del circuito. Graficando y encontrando los valores de corriente y voltaje en el circuito.

Modelo Ideal.- Se parte del comportamiento cercano al de un interruptor, es decir, cuando el diodo se polariza en directa, entonces fluye la corriente y se comporta como un interruptor cerrado, tomándose una resistencia de cero en el diodo (figura 1.5 a). Cuando se polariza en inversa, entonces no fluye corriente teniéndose una resistencia infinita en el diodo y comportándose como un interruptor abierto (Figura 1.5 b).

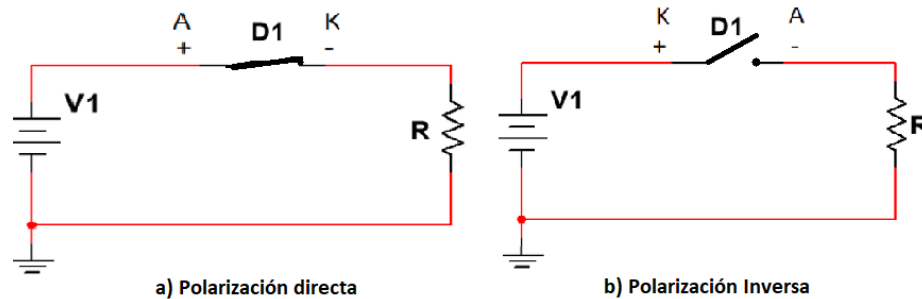


Figura 1.5 Circuito equivalente ideal, como Interruptor.

Modelo Aproximado.- Este modelo se aproxima al modelo real pero de manera simple y generalizándolo para todos los diodos de silicio o de germanio, teniéndose un umbral de conducción para el silicio con $V_k=0.7V$ y en el de Germanio de $V_k=0.3V$. En polarización inversa como interruptor abierto, con corriente de inversa de cero.

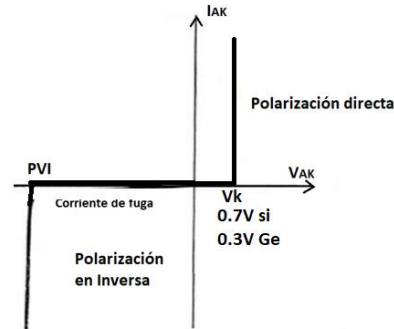


Figura 1.6 Curva del diodo de modelo equivalente aproximado

1.2 Circuitos serie, paralelo, serie-paralelo en DC

Circuitos serie.- Es común encontrar este tipo de esquema, y normalmente es cuando se tiene un circuito con un solo diodo en el que las características de corriente del diodo son iguales a las demandadas por la carga. Para obtener los parámetros deseados, en su mayoría se encuentra por las leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff y la corriente del diodo no es dividida, una manera muy práctica es considerar el modelo aproximado antes visto.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Se tiene un circuito serie en el que se requiere calcular voltaje y corriente en el diodo y la carga, realizar los cálculos con modelo aproximado.

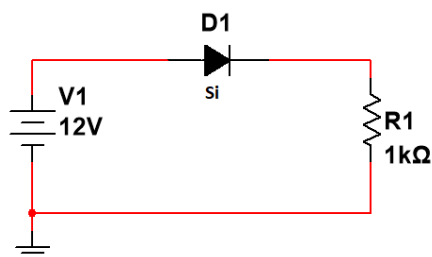


Figura 1.7 Circuito Serie con diodo

Solución.

En la carga

$$V_{RL} = V_1 - V_k = 12V - 0.7V = 11.3V$$

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R} = \frac{11.3V}{1K\Omega} = 11.3mA$$

En el diodo

$$V_D = V_K = 0.7V$$

$$I_D = I_{RL} = 11.3mA$$

Circuitos en Paralelo.- Esta configuración se basa en la colocación de diodos en paralelo, esto se hace para diferentes fines prácticos, entre ellos, el dividir la corriente de los diodos de propósito general cuando no se alcanza la capacidad de corriente en el mismo, otro puede ser la conmutación del encendido de diodos Led según su aplicación, entre otros. Para su resolución también se aplica las Leyes de voltaje y corriente de Kirchhoff.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Se tiene un circuito en el que se encuentran en paralelo dos diodos de propósito general con mismas características, en el que se desea obtener los voltajes y corrientes en el diodo y en voltaje de salida V_o .

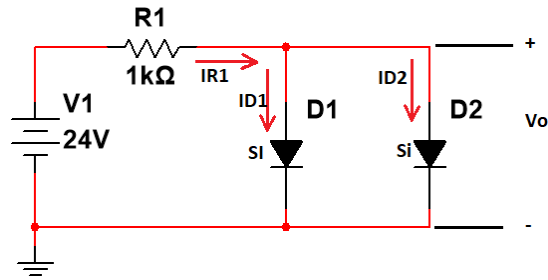


Figura 1.8 Circuito con diodos en Paralelo

Solución

Como V_o es el voltaje de $VD1$ y $VD2$ ya que están en paralelo

$$V_o = V_{D1} = V_{D2} = V_K = 0.7V$$

Para V_{R1} se utiliza la LVK en cualquier trayectoria, esto es:

$$LVK: V1 - V_{R1} - V_K = 0; \text{ despejando } V_{R1} = V1 - V_K = 24V - 0.7V = 23.3V$$

Ahora para I_{R1}

$$I_{R1} = \frac{V_{R1}}{R1} = \frac{23.3V}{1K\Omega} = 23.3mA$$

Si se tiene I_{R1} y se conoce que los diodos tienen las mismas características, entonces la corriente se divide exactamente entre los dos diodos. Es decir:

$$I_{D1} = I_{D2} = \frac{I_{R1}}{2} = \frac{23.3mA}{2} = 11.65mA$$

Circuitos mixtos.- En esta configuración se tienen circuitos que tienen una combinación de serie y paralelo en el que sigue siendo muy importante para su resolución las leyes de Kirchhoff, sin embargo hay diferentes maneras de resolverlo, por ejemplo en algunos casos se puede hacer una combinación de diodos en estado de conducción y no

conducción y resolver hasta que los resultados sean coherentes, es decir sentidos de corriente y caídas de voltaje en diodos. Otra forma es aplicar la experiencia y lógica para comenzar el análisis con los diodos que se tiene la seguridad que están en conducción y así continuar con el procedimiento para obtener los parámetros de interés.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Obtener V_D , I_D , y V_o del siguiente circuito.

Cambiar el sentido del diodo y obtener nuevamente V_D , I_D Y V_o

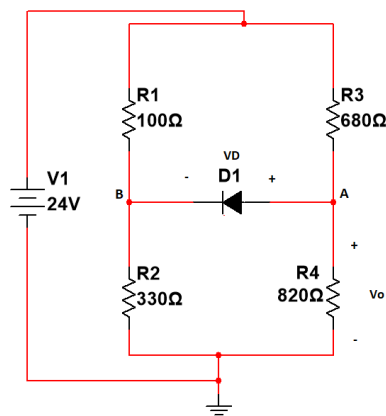


Figura 1.9 Circuito con diodos mixto

Solución

El ejercicio que se muestra no es un circuito del todo serie o paralelo, y además no se sabe con certeza si está polarizado en directa o inversa. Por lo que se propone en este caso se resuelva quitando el diodo y hacer un divisor de tensión del circuito para determinar si el diodo está en polarización directa o inversa y si supera el voltaje de umbral requerido para su conducción.

Se prosigue a resolver por divisores de tensión, aunque se pudiera elegir de otra manera. En este caso se obtiene el voltaje en los nodos marcados como A y B.

a)

Nodo A es el Voltaje en VR4:

$$VR4 = VA = \frac{24V(820\Omega)}{820\Omega + 680\Omega} 13.12V$$

Nodo B es el Voltaje en VR2:

$$VR2 = VB = \frac{24V(330\Omega)}{330\Omega + 1010\Omega} 18.42V$$

Ahora se hace una diferencia de potencial para ver si el diodo está polarizado en directa o inversa, normalmente este paso se hace a simple vista, pero en este caso no es tan directo.

$VD = VA - VB = 13.12V - 18.42V = -5.3V$ Es un voltaje negativo, por lo que está en inversa y se puede decir que prácticamente el diodo no conduce. Obteniendo los valores solicitados con el circuito abierto:

$$VD = -5.3V; ID = 0A \text{ y } Vo = VA = 13.12V$$

Se invierte el diodo. Sin el diodo se obtiene el voltaje entre los nodos B y A; y ahora es de 5.3V por lo tanto si está en polarización directa y es mayor a 0.7V, por lo que el diodo si conduciría. Entonces se coloca el diodo y ahora la diferencia de potencial entre B y A ya

no es de 5.3V sino de la caída de tensión del diodo, es decir 0.7V. Por lo que ahora se debe recalcular I_D y V_o .

Se coloca el circuito equivalente con el diodo en conducción:

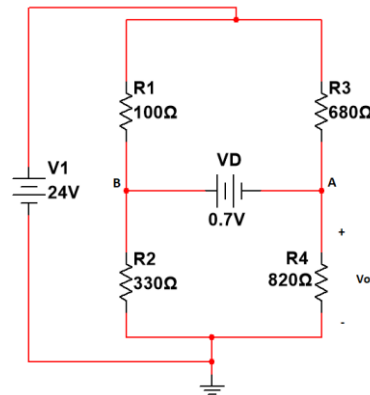


Figura 1.10 Circuito equivalente con diodo en conducción

Se propone resolver por método de mallas para encontrar V_o y I_D .

Se obtienen las 3 ecuaciones de mallas:

$$430i_1 - 100i_2 - 330i_3 = 24 \quad \text{--- 1}$$

$$-100i_1 + 780i_2 - 0i_3 = 0.7 \quad \text{--- 2}$$

$$-330i_1 - 0i_2 + 1150i_3 = -0.7 \quad \text{--- 3}$$

Resolviendo:

$$i_1 = 74.07mA$$

$$i_2 = 10.39mA$$

$$i_3 = 20.64mA$$

$$\text{Entonces } V_o = i_3 \cdot R_4 = 20.64\text{mA}(820\Omega) = 16.92\text{V}$$

$$Y \text{ ID} = i_3 - i_2 = 20.64\text{mA} - 10.39\text{mA} = 10.25\text{mA}$$

Comprobación con simulador:

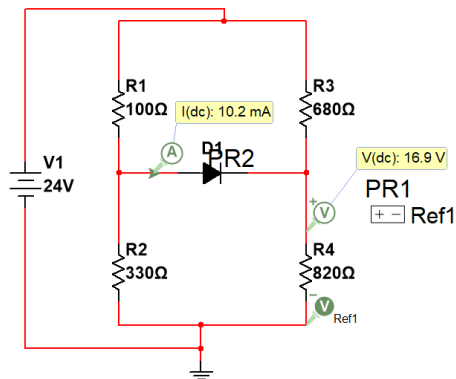


Figura 1.11 Simulación de circuito

1.3 Circuitos de:

1.3.1 Circuitos de rectificación y filtrado (media onda y onda completa)

La rectificación y filtrado es un proceso que se lleva a cabo, principalmente para convertir una señal de corriente alterna a corriente directa, y se puede utilizar a partir de un solo diodo o más y algunos elementos como capacitores e inductores. Esta transformación es muy común e importante debido a que la señal que entrega el proveedor de energía es de tipo senoidal y alterna, y los dispositivos electrónicos que se utilizan en casi todo funciona con corriente directa. Existen diferentes configuraciones de rectificado, entre ellos y muy comunes son el rectificador de media onda y onda completa.

Rectificador de media Onda.

Este rectificador tiene como ventaja la sencillez y el uso de un solo diodo, obviamente no es el más eficiente que existe, sobre todo por la parte de la señal de entrada que se aprovecha y es utilizada como corriente continua.

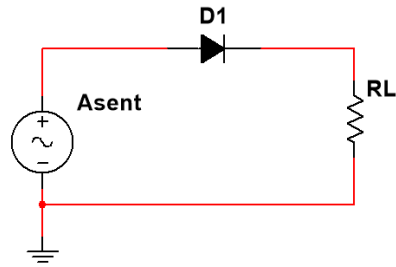


Figura 1.12 Rectificador de media onda

Primeramente, es importante recordar las características que tiene una señal de corriente alterna senoidal entregada por el proveedor de energía ya que es la señal de entrada al rectificador. En la figura 1.13 se muestra la señal y las características que se tiene son las siguientes:

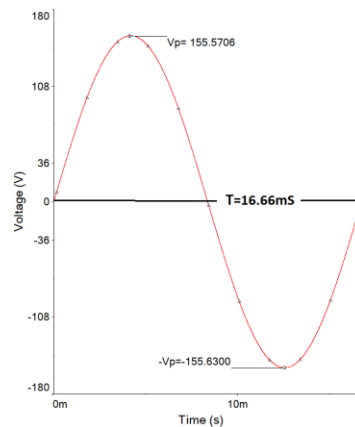


Figura 1.13 Señal de voltaje senoidal

Características:

Voltaje VRMS= 110 V

Voltaje pico= 156V

Frecuencia= 60HZ

Periodo= 16.66ms

Recordar que para obtener el valor eficaz VRMS de la señal senoidal se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f(t)^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (V_p \sin t)^2 dt} = \sqrt{\frac{VP^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \cos 2t \right] dt} \\
 &= \sqrt{\frac{VP^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} \int_0^{2\pi} dt - \frac{1}{2(2)} \int_0^{2\pi} \cos 2t (2) dt \right]} = \sqrt{\frac{VP^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} t \Big|_0^{2\pi} - \frac{1}{4} \sin 2t \Big|_0^{2\pi} \right]} \\
 &= \sqrt{\frac{VP^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} (2\pi) - \frac{1}{4} (\sin 4\pi - \sin 0) \right]} = \sqrt{\frac{VP^2}{2\pi} \left[\frac{1}{2} (2\pi) - \frac{1}{4} (0 - 0) \right]} = \frac{\sqrt{Vp^2}}{\sqrt{2}} = \frac{Vp}{\sqrt{2}} \\
 &= 0.7071Vp
 \end{aligned}$$

Quedando así:

$$V_{rms} = \frac{Vp}{\sqrt{2}} = 0.7071Vp$$

Ahora teniendo en cuenta a la señal de entrada, se puede deducir del circuito en la figura 1.12 y 1.13 que el diodo conduce en los semiciclos positivos cuando supera el valor

instantáneo de 0.7V. Teniendo una forma de onda de salida como se muestra en la siguiente figura.

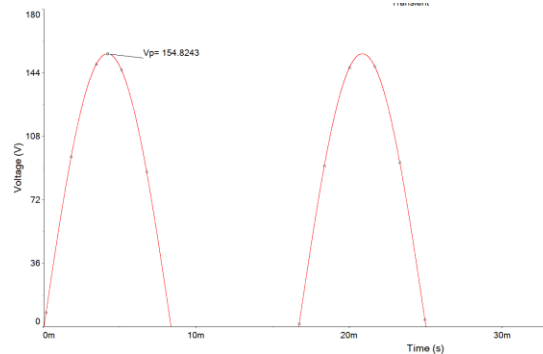


Figura 1.14 Señal de salida de Rectificador de media Onda

Para obtener el VCD se plantea la integral de la señal de salida en los límites a evaluar, quedando lo siguiente:

Ecuación:

$$\begin{aligned}
 VCD &= \frac{1}{T} \int_0^t Vp \sin t \, dt = \frac{1}{2\pi} Vp \int_0^{\pi} \sin t \, dt = \frac{1}{2\pi} Vp [-\cos t]_0^{\pi} = \frac{Vp}{2\pi} [-\cos \pi + \cos 0] \\
 &= \frac{Vp}{2\pi} [1 + 1] = 2 \frac{Vp}{2\pi} = \frac{Vp}{\pi} = 0.318Vp
 \end{aligned}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

En el siguiente circuito que se muestra en la figura 1.15 se tiene un rectificador de media onda, que consta de un voltaje senoidal $v(t)=V\sin(t)$ de un solo diodo y una resistencia de carga (R_L) en el que se solicita obtener la forma de onda de salida en la

Resistencia de carga, también los valores de voltaje pico (VP), voltaje de corriente directa (VCD), corriente pico (IP) y corriente en directa (ICD).

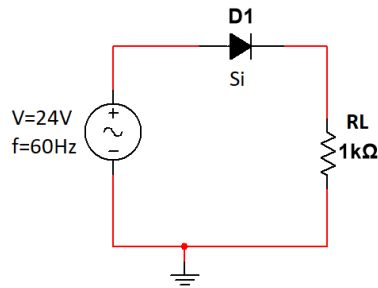


Figura 1.15 Circuito rectificador de media onda

Solución.

$$V_p = \sqrt{2} \cdot V_{rms} = \sqrt{2}(24V) = 33.94V$$

$$V_p(RL) = 33.94V - 0.7V = 33.24V$$

$$VCD = 0.318V_p(RL) = 0.318(33.24V) = 10.57$$

Comprobando Resultados y observando forma de onda de salida

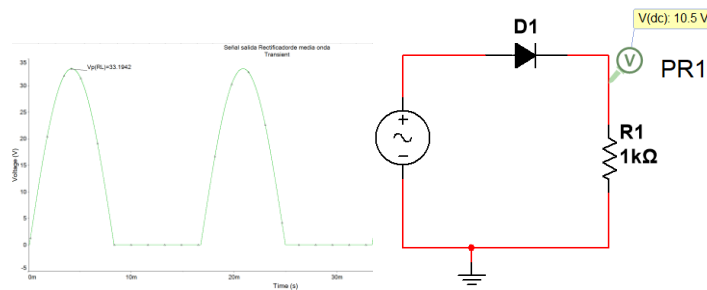


Figura 1.16 Comprobación de Resultados en software de simulación.

Rectificador de Onda completa con transformador con derivación central.

Este rectificador mejora en un 100% el aprovechamiento de la señal de entrada con respecto al rectificador de media onda, conduciendo la parte positiva a través del diodo D1

y cerrando el circuito a través de la Resistencia RL hacia la derivación central. El semiciclo negativo conduce por el diodo D2 y cerrando el circuito también hacia la derivación central, teniendo una señal de salida con pulsos positivos como se muestra en la figura 1.18

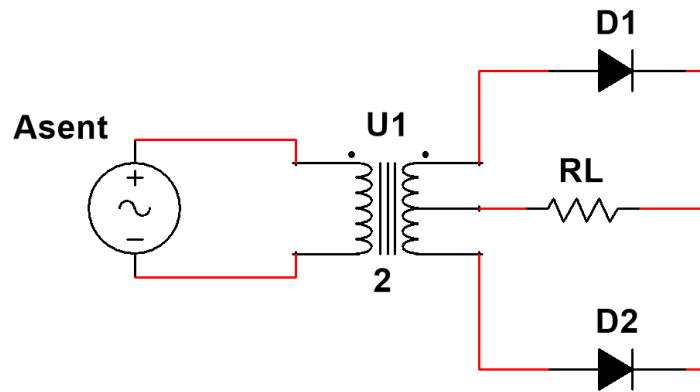


Figura 1.17 Rectificador de media onda con transformador con derivación central

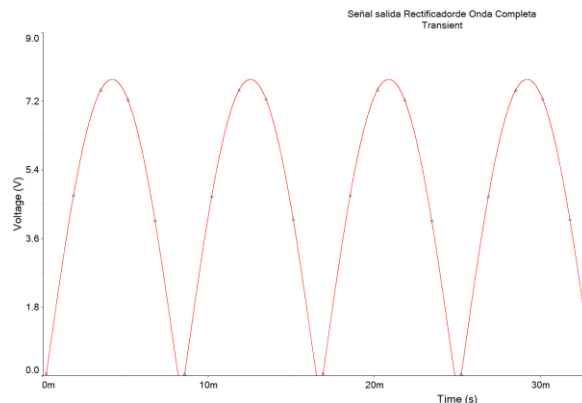


Figura 1.18 Señal de salida rectificada de onda completa

Los voltajes y corrientes de la señal de salida se obtienen de la siguiente manera:

Para el VP en la Resistencia RL, se considera el VP entrada aplicando la relación de transformación, dividida entre 2 debido a la derivación central y restando la caída del diodo del modelo aproximado, en este caso se considera de silicio de 0.7V.

$$V_p(RL) = \frac{\frac{V_p(in)}{R:T}}{2} - 0.7V$$

Para el VCD se considera la siguiente integral para obtener su promedio del tipo senoidal en los límites de 0 a π , y multiplicado por 2 debido a que son dos semiciclos positivos;

Ecuación

$$\begin{aligned} VCD &= \frac{1}{T} \int_0^t V_p \sin t \, dt = 2 \frac{V_p}{2\pi} \int_0^\pi \sin t \, dt = \frac{1}{\pi} V_p [-\cos t]_0^\pi = \frac{V_p}{\pi} [-\cos \pi + \cos 0] \\ &= \frac{V_p}{\pi} [1 + 1] = 2 \frac{V_p}{\pi} = 0.636 V_p \end{aligned}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito rectificador obtener los voltajes V_p y VCD de salida en la resistencia RL , así como las corrientes en dicha resistencia. También graficar la señal de salida.

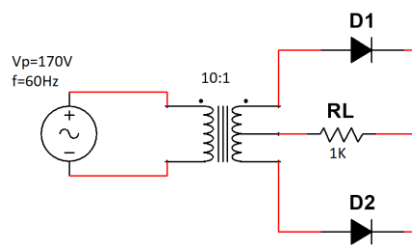


Figura 1.19 Circuito rectificador de onda completa con transformador con derivación central

Solución:

$$V_p(RL) = \frac{\frac{170V}{10}}{2} - 0.7V = 7.8V$$

$$VCD(RL) = 0.636V_p = 0.636(7.8V) = 4.96V$$

$$I_p(RL) = \frac{V_p}{R} = \frac{7.8V}{1K\Omega} = 7.8mA$$

$$ICD(RL) = \frac{VCD}{R} = \frac{4.96V}{1K\Omega} = 4.96mA$$

Simulaciones:

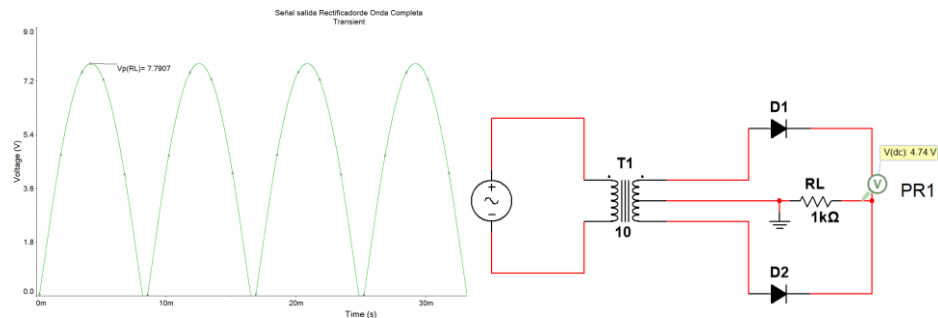


Figura 1.20 Simulaciones de Señal en RL en Multisim

Rectificador de Onda completa tipo puente

Este rectificador también mejora en un 100% el aprovechamiento de la señal de entrada con respecto al rectificador de media onda, no necesariamente se necesita un transformador y se utilizan 4 diodos como se muestra en la siguiente figura:

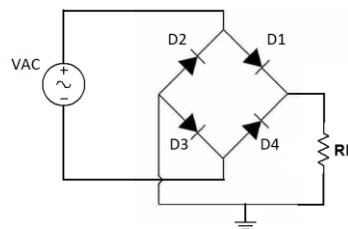


Figura 1.21 Rectificador de onda completa tipo puente

Como se puede observar, en el semiciclo positivo solo conducen los diodos D1 y D3 fluyendo una corriente en la carga RL en el sentido de arriba a abajo y con polaridad como se muestra en la siguiente figura.

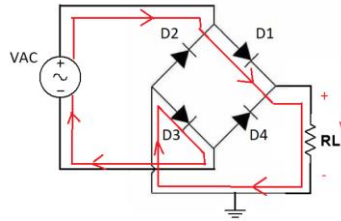


Figura 1.22 Semiciclo positivo en rectificador

Cuando se produce el semiciclo negativo de la señal de entrada, entonces ahora solo conducen los diodos D2 y D4, por lo que su sentido de corriente y polaridad en la carga RL es igual que en el semiciclo anterior. Se muestra en la siguiente figura.

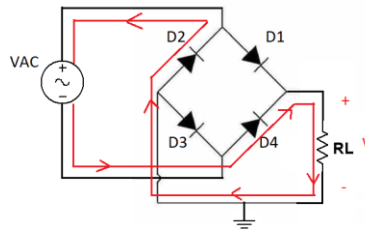


Figura 1.23 Semiciclo negativo en rectificador

En la siguiente figura se muestra la señal de salida, en el que se muestra que se obtiene una señal rectificada y siendo ya de corriente directa pulsante. Se debe considerar la caída de tensión de dos los dos diodos por los que conduce en cada semiciclo.

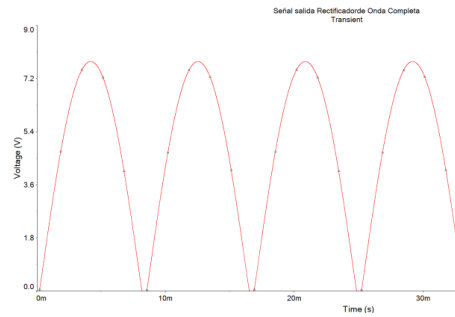


Figura 1.24 Forma de onda de salida de puente rectificador

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito rectificador obtener los voltajes V_p y V_{CD} de salida en la resistencia R_L , así como las corrientes en dicha resistencia, considere los diodos de silicio. También graficar la señal de salida.

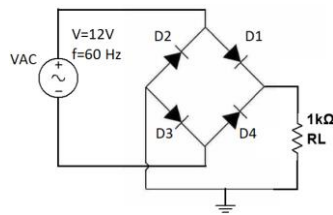


Figura 1.25 Circuito rectificador tipo puente

$$V_p(in) = 12V \cdot \sqrt{2} = 16.97V$$

$$V_p(RL) = 16.97V - 1.4 = 15.57V$$

$$V_{CD}(RL) = 0.636V_p = 0.636(15.57V) = 9.9V$$

$$I_p(RL) = \frac{V_p(RL)}{RL} = \frac{15.57V}{1K\Omega} = 15.57mA$$

$$I_{CD}(RL) = \frac{V_{CD}}{RL} = \frac{9.9V}{1K\Omega} = 9.9mA$$

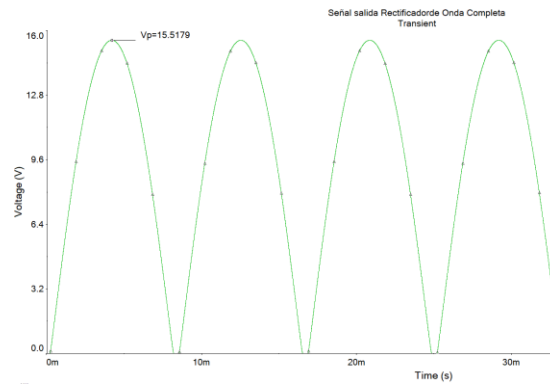


Figura 1.26 Forma de onda de voltaje en la carga

Simulaciones en software para su comprobación:

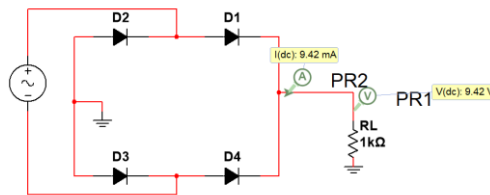


Figura 1.27 Simulaciones en software

Filtrado

En este subtema se da continuidad a la etapa de rectificación, y es muy importante para poder obtener una señal de corriente continua, esto es, tener una señal muy utilizada para los dispositivos y componentes electrónicos. El filtrado consiste en colocar algún o algunos componentes para lograr una señal constante en el tiempo y que esta señal sea útil.

Existen diferentes circuitos de filtrado y cada una de ellas tiene ventajas y desventajas. En este caso se analizará el filtro capacitivo.

Filtro C

En la siguiente figura se muestra la señal que se tiene después del circuito rectificador de onda completa, y que es pasado a través de un filtro capacitivo. Si se analiza se puede ver que en el primer cuarto de ciclo de la señal de entrada se carga el capacitor al valor pico V_p , cuando el voltaje rectificado comienza a ser menor de V_p entonces el capacitor empieza a descargarse, la rapidez con la que se descarga va a depender de los valores de RC , si este parámetro es demasiado grande, es decir, mucho mayor al periodo, se descargará muy lento quedando una señal casi continua. En el segundo semiciclo el capacitor nuevamente vuelve a cargarse al valor de V_p y continúa el filtrado de la misma manera.

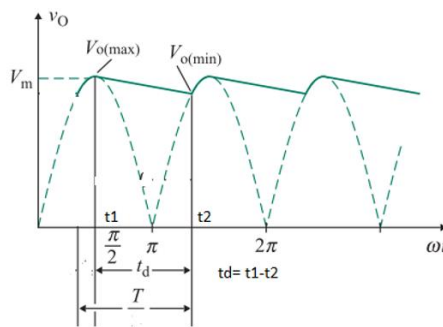


Figura 1.28 Señal con filtro capacitivo

De la figura anterior se desprenden una serie de fórmulas para aplicar y conocer los parámetros de voltaje de rizo, y que están en función de los parámetros de corriente, resistencia, capacitancia y frecuencia.

Se tiene del capacitor:

$$Q = CV; \quad V = \frac{Q}{C}$$

$$V_{max} - V_{min} = \frac{Q_1 - Q_2}{C};$$

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{t_2 - t_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{(t_2 - t_1)C}$$

$$\text{Si } T \cong t_2 - t_1$$

Entonces

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{T} = \frac{Q_1 - Q_2}{TC}$$

Si sabemos que $I = \frac{dq}{dt}$

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{T} = \frac{I}{TC}$$

$$\frac{V_{max} - V_{min}}{T} = \frac{I}{C}$$

Ahora

$$V_{max} - V_{min} = V_r \text{ y } T = \frac{1}{f}$$

Finalmente

$$V_r = \frac{I}{fC}$$

Donde

V_r es voltaje de rizo

I es la corriente de carga continua (I en DC)

f es la frecuencia de rizado, es decir, si es de onda completa son 2 veces la frecuencia de entrada.

Con la señal de salida de corriente continua, se tiene que los parámetros del diodo de pueden calcular con las siguientes fórmulas.

$$V_{PI} = V_p$$

$$I_{DC} = \frac{V_P}{R} = \frac{V_{CD}}{R}$$

$$I(\text{Diodo}) = 0.5 I_{DC} \text{ Debido a la conducción de } \frac{T}{2} \text{ de cada diodo}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, obtener:

de la carga el VCD, ICD, V_r

Forma de onda de salida

Del diodo el PIV y corriente promedio (IAV)

Realizar simulaciones en Multisim para comprobar resultados

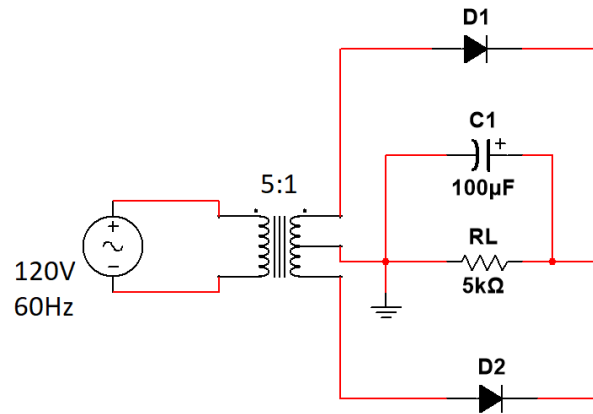


Figura 1.29 Circuito rectificador con filtro C

Solución.

a)

$$V_p = 120V\sqrt{2} = 169.7V$$

$$V_p(\text{sec.}) = \frac{169.7V}{5} = 33.94V$$

$$V_p(RL) = \frac{33.94V}{2} - 0.7V = 16.27V \cong V_{CD}$$

$$I_{CD} = \frac{16.27V}{5K\Omega} = 3.25mA$$

$$V_r = \frac{I}{fC} = \frac{3.25mA}{120Hz(100\mu F)} = 271mV$$

b)

$$V_p(\text{max.}) = V_p(RL) = 16.27V$$

$$V_p(\text{min.}) = V_p(RL) - V_r = 16.27V - 271mV = 16V$$

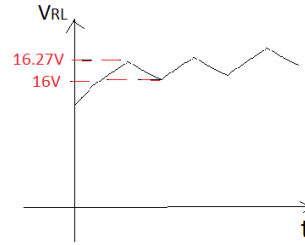


Figura 1.30 Gráfica con filtro C

c)

$$PIV \geq Vp(sec.) \geq 33.94V$$

$$I(AV) = \frac{ICD(RL)}{2} = \frac{3.25mA}{2} = 1.625mA$$

d)

simulación en Multisim

Gráfica y Voltaje de rizo, $Vp(max)$ y $Vp(min)$

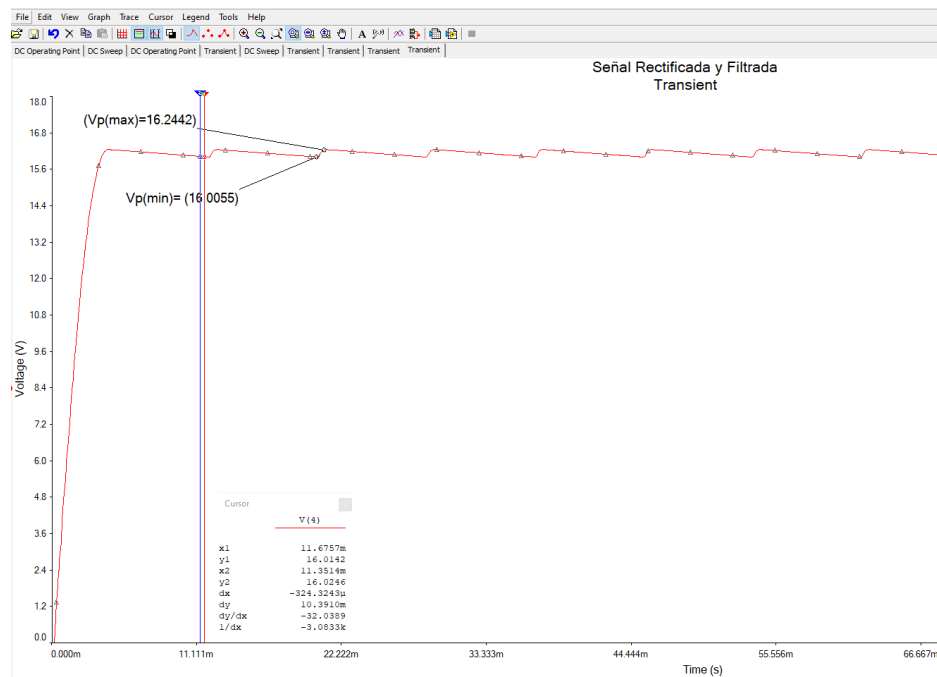


Figura 1.31 Simulación Gráfica con filtro C

Voltaje VCD y Corriente IDC

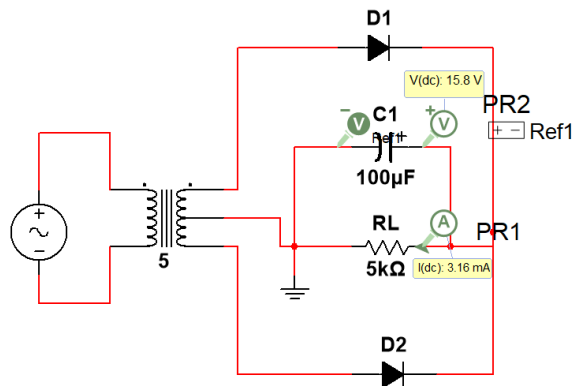


Figura 1.32 Simulación Gráfica con filtro C

1.3.2 Circuitos con Recortadores

Los recortadores son circuitos que sirven para recortar una parte de la señal, estos pueden ser desde tan sencillos como las aplicaciones de rectificación de media onda o agregando alguna fuente de CD adicional para que recorte más o menos según lo deseado. Hay circuitos recortadores en serie y en paralelo, esto se define en la colocación del diodo al voltaje producido o modificado, es decir la salida V_o .

Recortadores en Serie.- El recortador en serie se muestra en la siguiente figura y en la cual se ha agregado una fuente de CD para modificar la cantidad de señal que se requiere recortar de la señal de entrada.

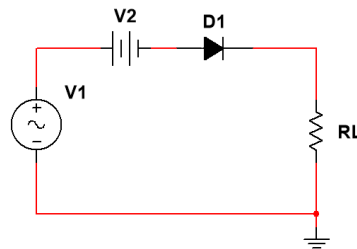


Figura 1.33 Circuito recortador serie con fuente de CD

En este caso existe una fuente de voltaje senoidal en la entrada, la cual anteriormente se ha visto que sucede con el diodo, esto es, recortará un semiciclo y dejará pasar al otro. Se toma en cuenta la caída del diodo V_k , es decir 0.7V para el silicio y 0.3V para el germanio. Además de ello se debe de considerar la fuente de CD agregada, en este caso la polaridad está en contra a los semiciclos positivos de la señal de entrada, por lo que también se restará de dicho semiciclo. Quedando de la siguiente manera.

$$V_{sal} = 0; \quad V_{in} \leq V_k + V_2$$

$$V_{sal} = V_{in} - V_k - V_2; \quad V_{in} > V_k + V_2$$

En el caso del semiciclo positivo, el V_p de salida será a $V_{pin} - (V_k + V_2)$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Obtener la forma de onda de salida de voltaje del siguiente recortador

Invertir la fuente de VCD y obtener la forma de onda de salida

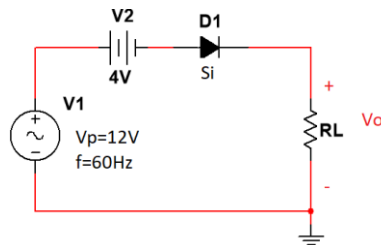


Figura 1.34 Ejercicio de circuito recortador serie con fuente de CD

Solución:

a)

Semiciclo Negativo y $V_{in} \leq V_k + V_2; \quad V_o = 0$

Para $V_{in} > V_k + V_2$; $V_o = V_{in} - V_k - V_2$;

Siendo $V_p(V_o) = V_p(in) - (V_k + V_2) = 12V - (0.7V + 4V) = 7.3V$

Entonces la forma de onda de voltaje de V_o quedaría:

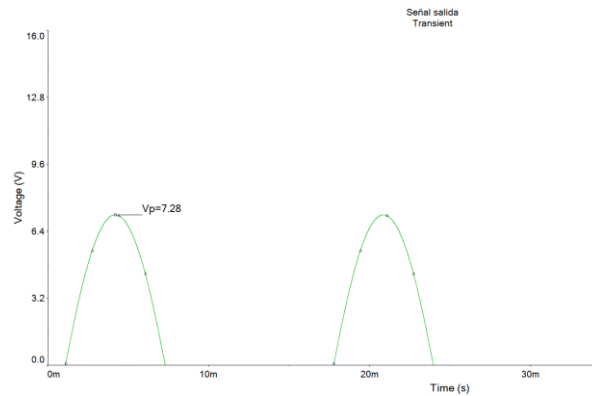


Figura 1.35 Señal de salida de voltaje

b)

Semiciclo Negativo y $V_{in} + V_2 \leq V_k$; $V_o = 0$

Para $V_{in} + V_2 > V_k$; $V_o = V_{in} + V_2 - V_k$;

Siendo $V_p(V_o) = V_p(in) + V_2 - V_k = 12V + 4V - 0.7V = 15.3V$

Entonces la forma de onda de voltaje de V_o quedaría:

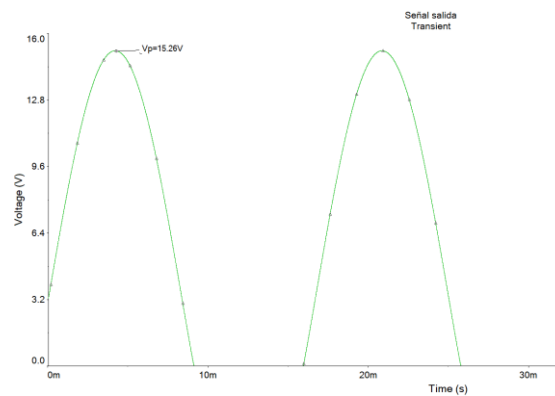


Figura 1.36 Señal de salida de voltaje

Recortadores en Paralelo.- En esta configuración el análisis es muy parecido al de serie, sin embargo la salida V_o ahora se toma del lado del diodo, de allí su nombre; este también puede llevar una fuente en serie al diodo o no llevarlo según se requiera, así como invertir el diodo. En la siguiente figura se muestra un circuito recortador paralelo.

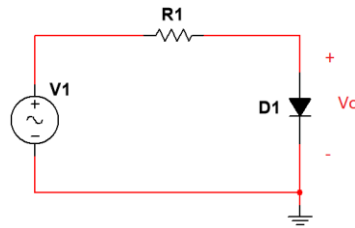


Figura 1.37 Circuito Recortador Paralelo

En este circuito todavía no se consideran fuentes de CD adicionales, entonces el análisis de conducción se toma de la misma forma que el rectificador de media onda, pero el voltaje de salida V_o es el voltaje del diodo.

Semiciclo positivo: El diodo conduce si $V_{in} > V_k$ y el $V_o = V_k$

Semiciclo Negativo: El diodo no conduce si $V_{in} \leq V_K$ y el $V_o = V_{in}$; es decir ve la señal de entrada. Entonces la forma de onda de voltaje de V_o quedaría:

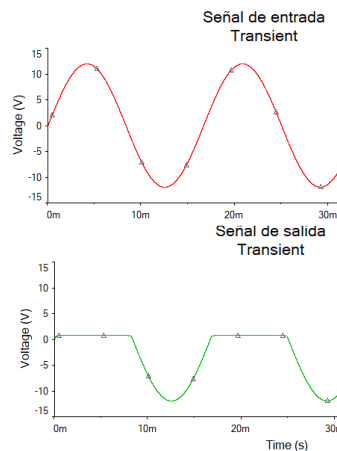


Figura 1.38 Señal de salida con respecto a la entrada de Recortador Paralelo

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Para el siguiente circuito se agregó una fuente de CD en serie con el diodo. Obtener la forma de onda de salida respecto a la entrada.

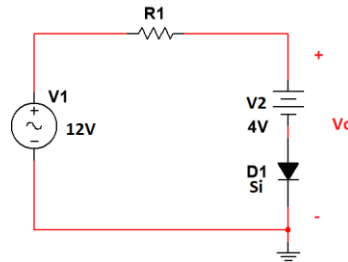


Figura 1.39 Ejercicio Circuito Recortador Paralelo

Solución:

Semiciclo positivo: El diodo conduce si $V_{in} \geq V_2 + V_k$ y $V_o = V_2 + V_k$

Entonces conduce cuando: $V_{in} \geq 4V + 0.7V = 4.7V$ y $V_o = 4.3V$

Semiciclo negativo: El diodo no conduce y $V_o = V_i$; con $-V_p = -12V$

Entonces la forma de onda quedaría de la siguiente manera:

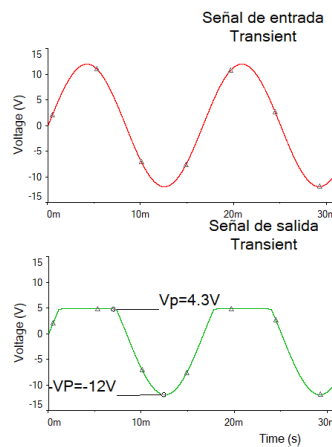
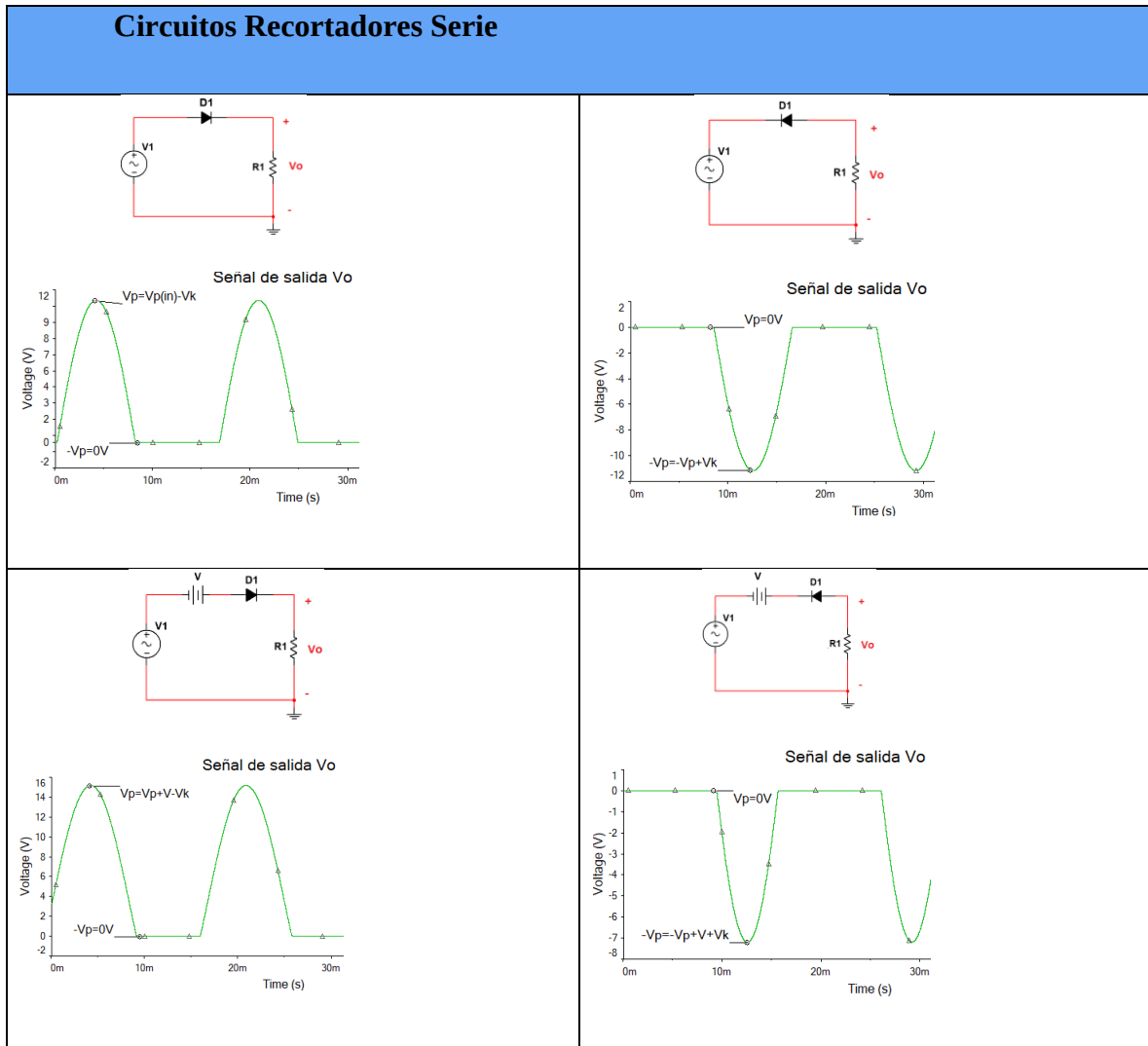


Figura 1.40 Señal de salida con respecto a la entrada de Recortador Paralelo

Como resumen, se muestran las siguientes figuras con las variantes que se pueden tener con estos circuitos recortadores en serie y paralelo. Aplicándole una señal senoidal alterna simétrica.

Circuitos Recortadores en Serie



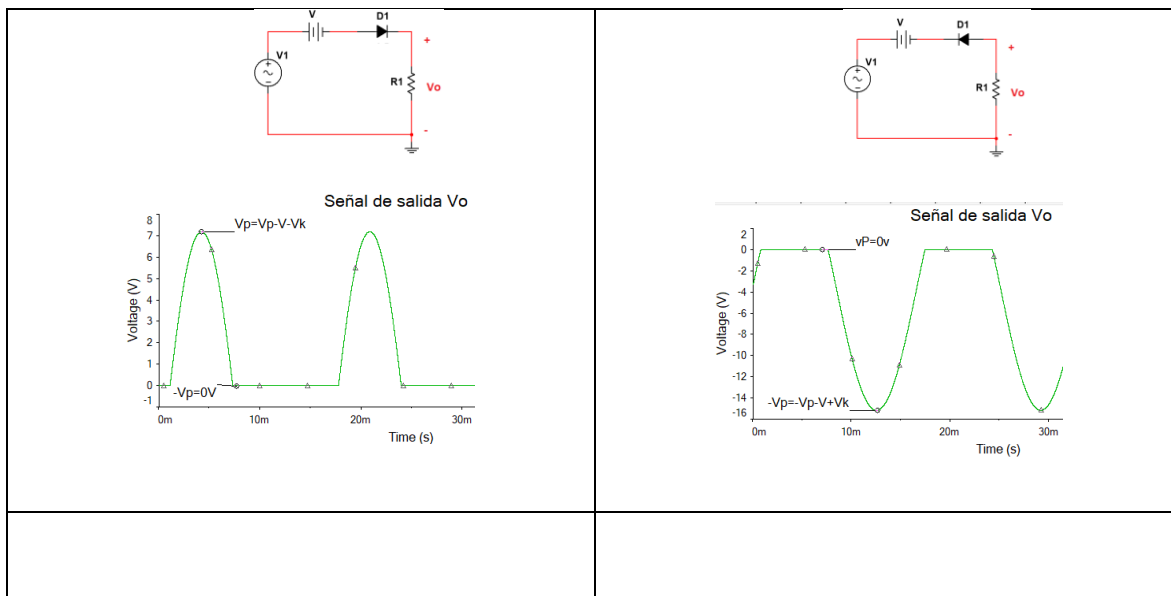
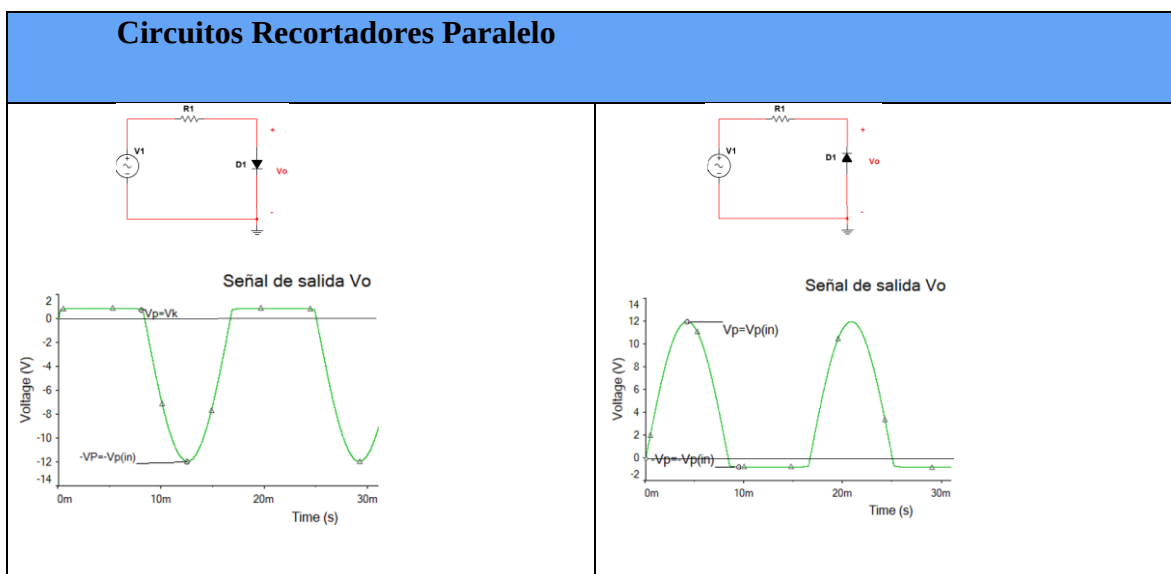


Figura 1.41 Diferentes configuraciones de Recortadores Serie

Circuitos recortadores en Paralelo



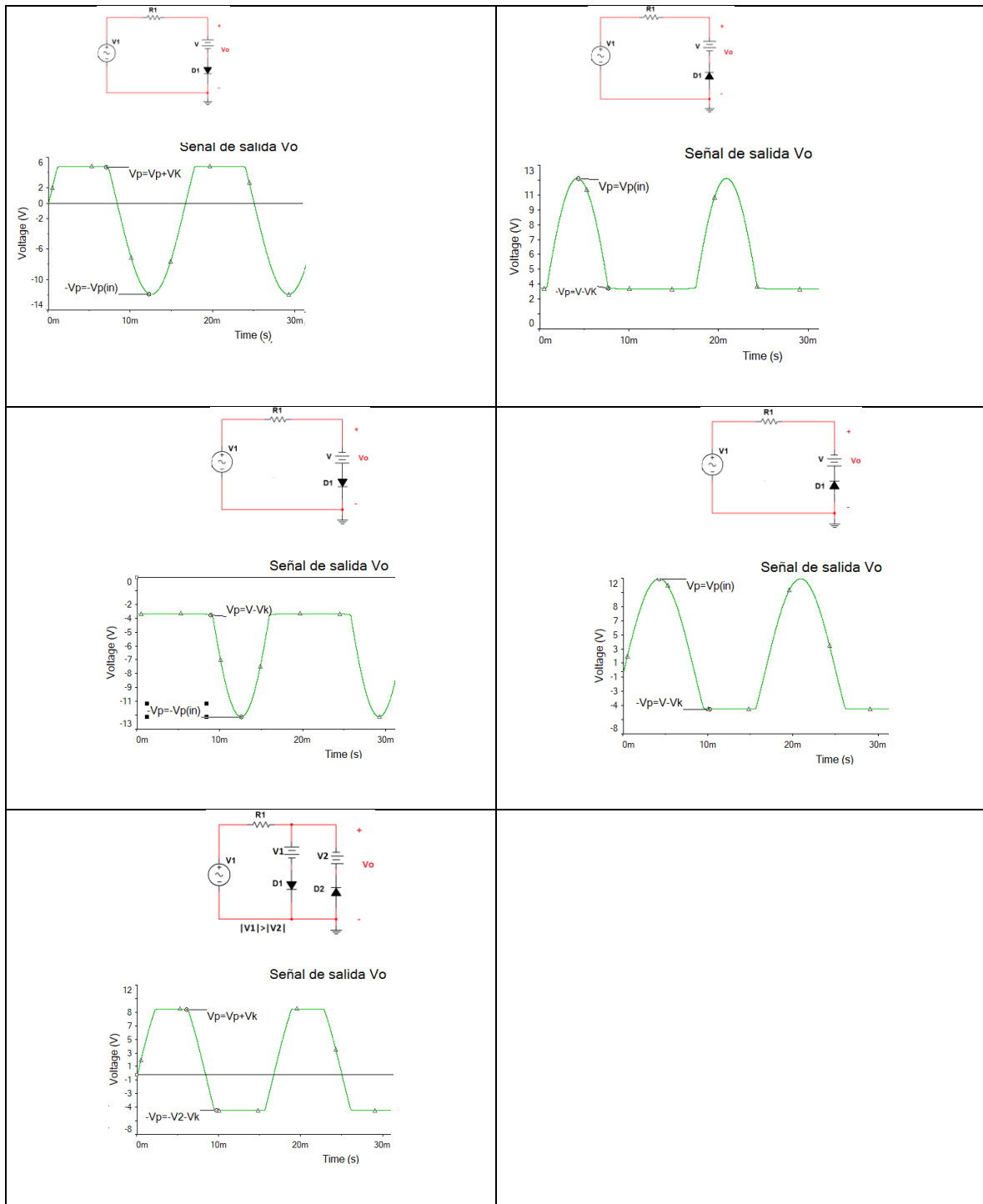


Figura 1.42 Diferentes configuraciones de Recortadores Paralelo

1.3.3 Circuitos Sujetadores

Los circuitos sujetadores es una aplicación más con diodos, donde se agrega un capacitor y puede llevar o no fuentes de cd, en esta aplicación lo que se logra es cambiar el nivel de Cd de una señal sin modificarla. Es importante considerar la constante de tiempo RC demasiado mayor al Periodo de la señal para que no se distorsione dicha señal.

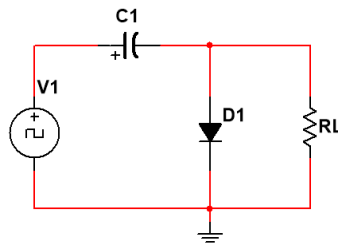


Figura 1.43 Circuito Sujetador

Si se aplica una señal de entrada al circuito sujetador como se muestra en la siguiente figura.

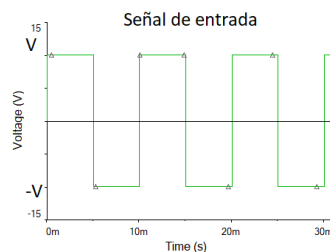


Figura 1.44 Señal de entrada

En el semiciclo en donde se carga el capacitor es en el positivo, cargándose instantáneamente a través del diodo y quedando cargado a de la entrada como se muestra en la siguiente figura.

El capacitor se carga a $V_c = +V - V_k$

Y el voltaje de salida es $V_o = V_k$ en todo el semiciclo.

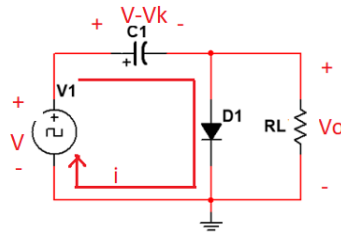


Figura 1.45 Carga del capacitor

En el semiciclo negativo ahora el diodo está en inversa y no conduce, en este semiciclo el capacitor trata de descargarse, pero si se tiene $T \ll R.C$ no se alcanza a descargar, por lo que el voltaje en la Resistencia R_L es:

LVK: $-V - V_c - V_o = 0$; entonces: $V_o = -V - V_c = -V - V + V_k = -2V + V_k$

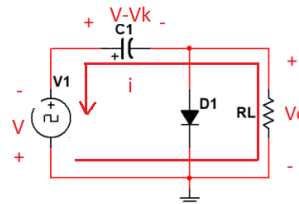


Figura 1.46 Diodo en inversa en semiciclo negativo

Obteniendo así la señal de V_o como se muestra en la siguiente figura, en la que se observa que se baja de nivel de CD prácticamente $-V$ volts, quedando casi a -2 veces la amplitud de la señal de entrada.

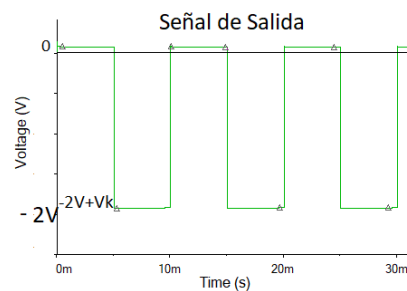


Figura 1.47 Señal de salida

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Ejemplo1: Obtener la forma de onda de salida para el siguiente circuito sujetador

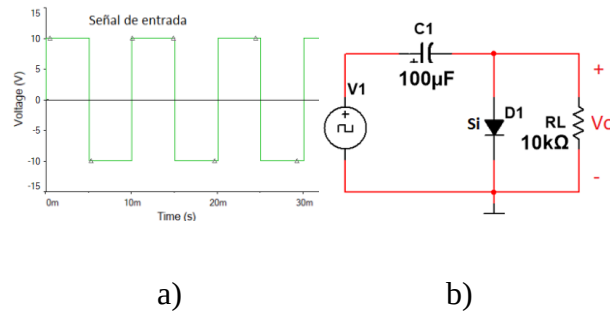


Figura 1.48 Circuito sujetador a)señal de entrada b)circuito

Solución:

Semiciclo positivo. En éste se carga el capacitor

$$V_c = +V_p - V_k = 10V - 0.7V = 9.3V$$

Y la salida es $V_o = V_k = 0.7V$

Semiciclo negativo: En este el diodo queda en inversa y ahora circula corriente a través de la Resistencia, tratándose de descargar el capacitor, entonces se calcula el periodo y la constante de descarga para comprobar que no se logra y así no se distorsione la señal.

De la gráfica de entrada se puede ver que $T = 10ms$ y $R.C = 10K\Omega(100\mu F) = 1s$ Por lo tanto se cumple que $T \ll RC$ y que no se alcanzará a descargar en este semiciclo y a distorsionar con respecto a la señal de entrada.

El voltaje de salida quedaría $V_o = -V - V_c = -10V - 9.3V = -19.3V$

Entonces la señal de salida queda de la siguiente forma:

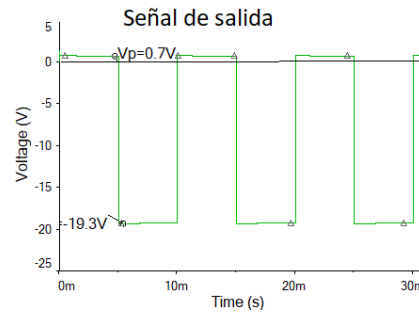


Figura 1.49 Señal de salida del sujetador

Ejemplo 2. En el siguiente circuito sujetador se agregó una fuente de CD, obtener la forma de onda de la señal de salida.

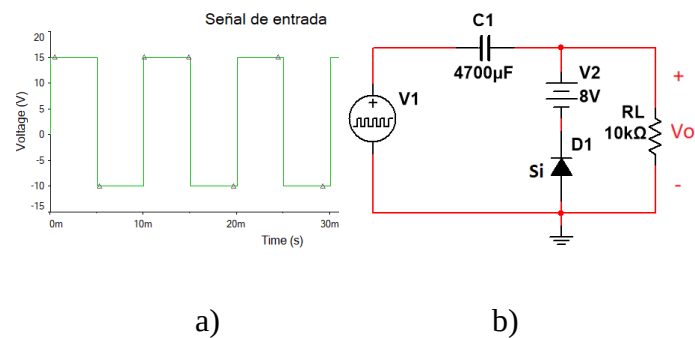


Figura 1.50 Circuito sujetador a)señal de entrada b)circuito

Semiciclo negativo: En éste se carga el capacitor a través de polarizar en directa al diodo como se muestra en la figura 1.51

$$\text{LVK: } -10V + V_c - 8V + V_k = 0;$$

$$V_c = 10V + 8V - 0.7V = 17.3V$$

$$Y \quad V_o = 8V - 0.7V = 7.3V$$

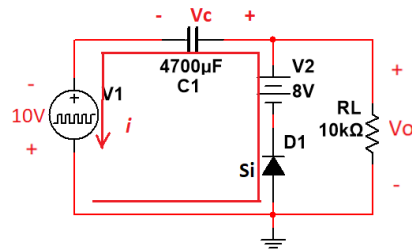


Figura 1.51 Carga del capacitor en semiciclo negativo

Semiciclo positivo: El diodo se polariza en inversa y la corriente circula a través de la resistencia R_L tratándose de descargar. Si $T \ll R.C$ entonces no alcanza a descargarse y la señal de entrada no se deforma, manteniendo un voltaje casi constante en V_o .

De la figura de la señal de entrada $T=10\text{ms}$ y $R.C=10\text{k}\Omega(4700\mu\text{F})=47\text{s}$; si se cumple que $T \ll R.C$ por lo que la señal no se deforma.

$$\text{LVK: } +15V + V_c - V_o = 0; \quad V_o = +15V + 17.3V = 32.3V$$

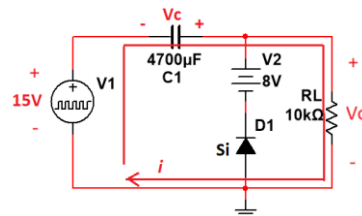


Figura 1.52 Descarga de capacitor a través de la Resistencia R_L

Entonces la señal de salida es la siguiente:

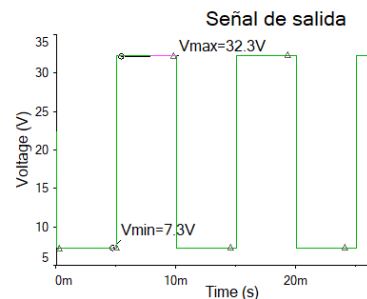
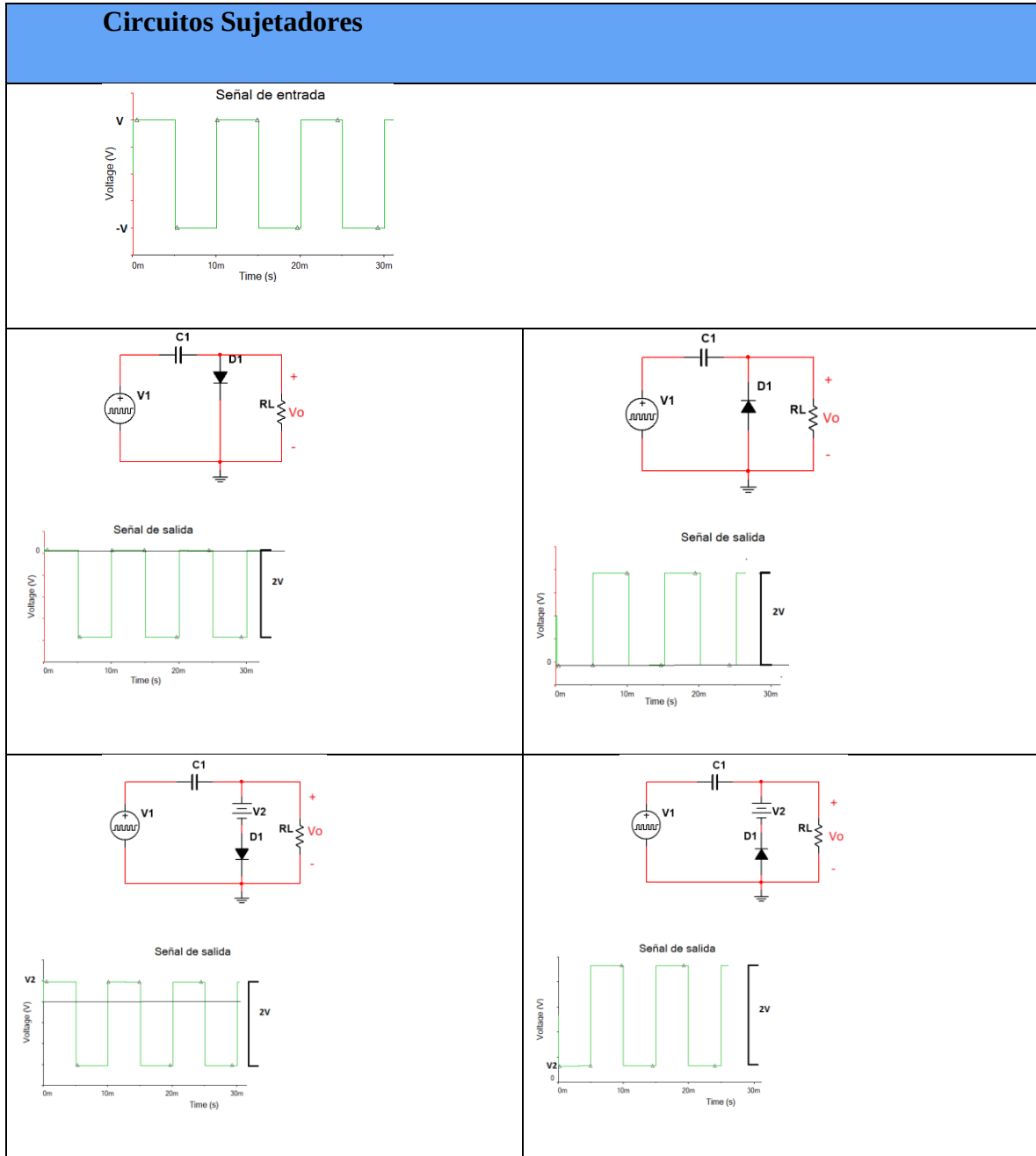


Figura 1.53 Forma de onda de salida

Como resumen, se muestran las siguientes figuras con las variantes que se pueden tener con estos circuitos sujetadores. Aplicándole una señal cuadrada simétrica de V a $-V$ y considerando al diodo ideal, es decir sin tomar en cuenta V_k .



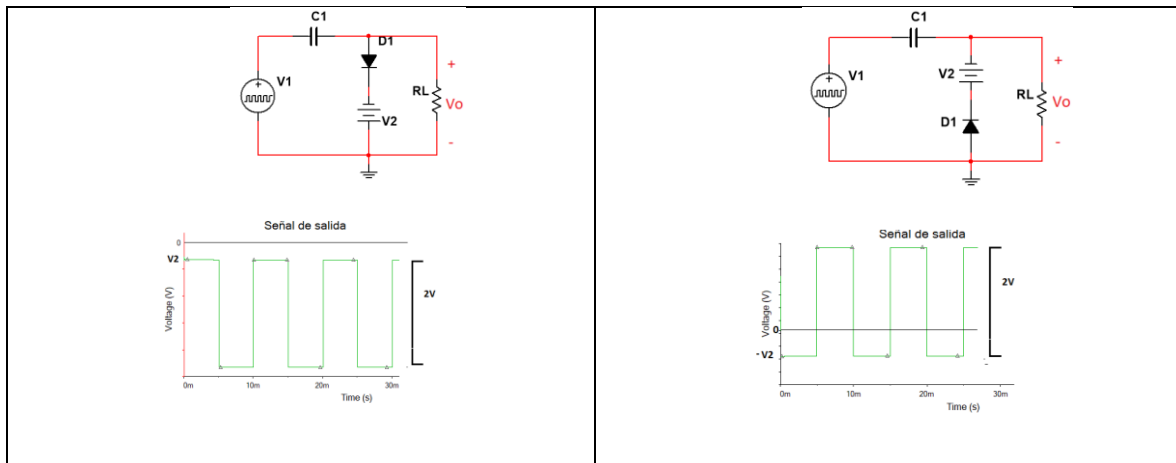


Figura 1.54 Diferentes configuraciones de sujetadores

1.3.4 Multiplicadores

Los multiplicadores son circuitos aplicando diodos y capacitores en diferentes arreglos para multiplicar el voltaje pico de una señal rectificada. Esto es de gran ayuda para aplicaciones donde se requiere elevar el voltaje n veces el voltaje de un transformador de voltaje bajo.

Duplicador de voltaje de media onda

Esta configuración funciona para duplicar el voltaje de un transformador, y utiliza dos etapas en serie, en las que para obtener la salida deseada se requiere de la anterior.

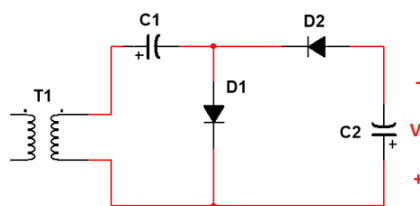


Figura 1.55 Duplicador de voltaje de media onda

Semiciclo positivo: El capacitor $C1$ se carga a través del diodo $D1$ al valor de amplitud de la señal de entrada $V_m - V_k$.

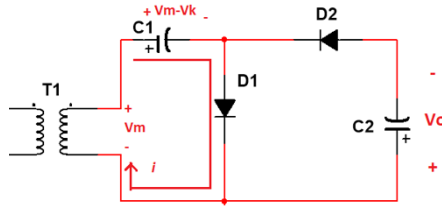


Figura 1.56 Semiciclo positivo en sujetador

Semiciclo negativo: El capacitor C2 se carga a través del diodo D2 a un valor en serie del V_{C1} y de $V_m - V_k$, dando por resultado $V_o = 2V_m - 2V_k$

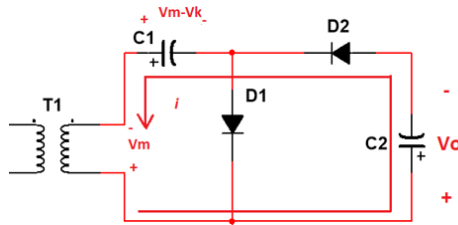


Figura 1.57 Semiciclo negativo en sujetador

Entonces se obtiene una señal de salida duplicada como se muestra en la siguiente figura. Es importante considerar las capacidades de los capacitores de acuerdo a la corriente consumida por la carga para que se siga manteniendo constante.

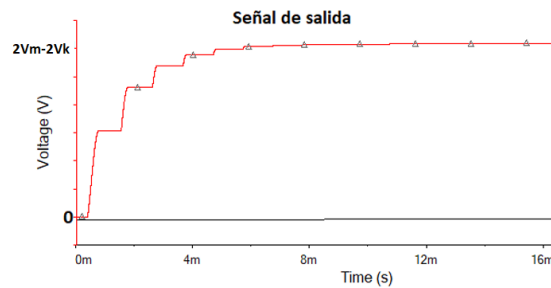


Figura 1.58 Señal de cd duplicada

Duplicador de onda completa

Esta configuración es llamada de onda completa y cada semiciclo carga a un capacitor, el voltaje de salida duplicado se toma de los dos capacitores de esta configuración.

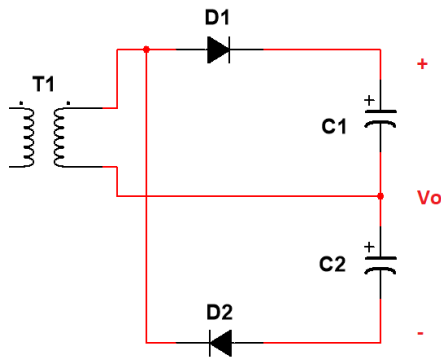


Figura 1.59 Duplicador de onda completa

Semiciclo positivo. El capacitor C1 se carga a través del diodo D1 a un voltaje de $V_p - V_k$

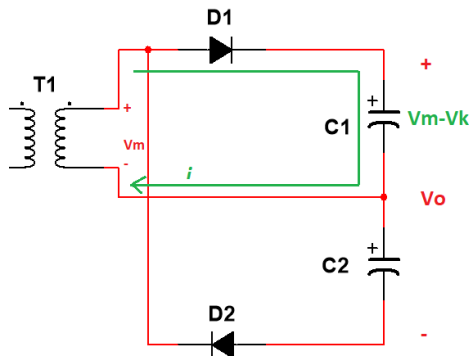


Figura 1.60 Semiciclo positivo en duplicador

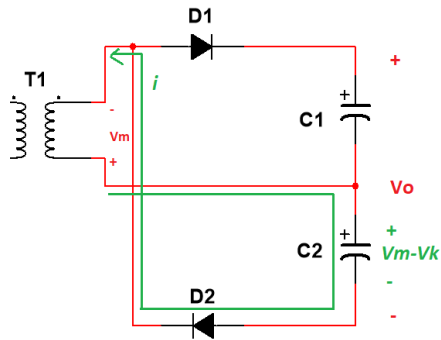


Figura 1.61 Semiciclo negativo en duplicador

La señal de salida del duplicador se toma de los capacitores cargados a un voltaje de salida de $2V_m - 2V_k$, quedando como se muestra en la siguiente figura. Es importante considerar las capacidades de los capacitores de acuerdo a la corriente consumida por la carga para que se siga manteniendo constante.

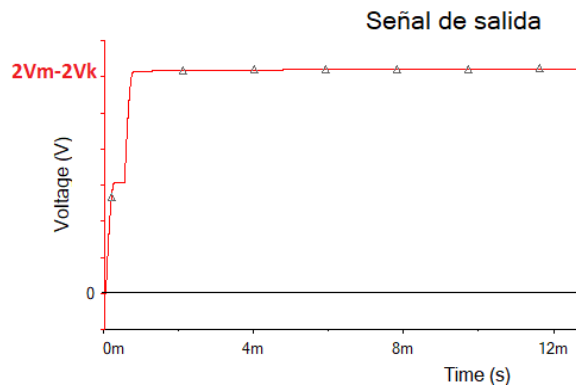


Figura 1.62 Señal de salida duplicada

Multiplicador por n

El duplicador por n, se toma de la configuración de duplicador de media onda, con el que, agregando más etapas se va multiplicando por 3, 4, 5, 6 etc. Cargándose el capacitor C1 a V_m y los otros a $2V_m$, sin considerar V_k . Esto se puede ver en la siguiente figura.

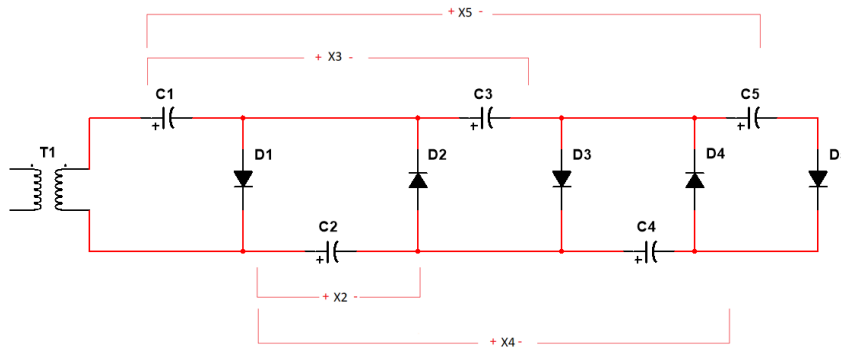


Figura 1.63 Multiplicador por n

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Obtener del siguiente circuito multiplicador la forma de onda de la señal de salida

V_o

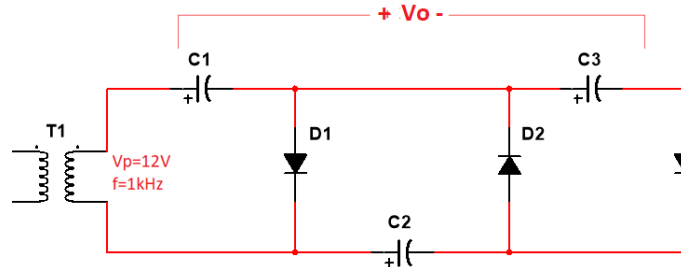


Figura 1.64 Multiplicador de media onda

Solución:

Semiciclo positivo. El capacitor C1 se carga a través de D1 a $V_{C1} = V_p - V_k = 12V - 0.7V = 11.3V$

Semiciclo negativo. El capacitor C2 se carga a través del diodo D2 a $V_p - V_m + V_{C1}$; $V_{C2} = 12V - 0.7V + 11.3V = 22.6V$

Semiciclo positivo: El capacitor C3 se carga a través de D3 a $V_p - V_{c1} - V_{c3} - V_k + V_{C2} = 0$; $V_{c3} = 12V - 11.3V - 0.7V + 22.6V = 22.6V$

Por lo tanto $V_o = V_{C1} + V_{C3} = 11.3V + 22.6V = 33.9V$ es un triplicador

En la siguiente figura se muestra la señal de salida del triplicador.

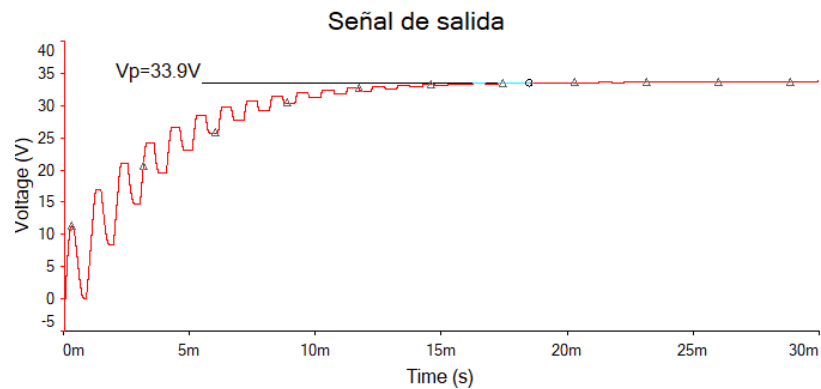


Figura 1.65 Señal de salida del triplicador

1.4 Diodo Zener

El diodo Zener es un dispositivo que, a diferencia de los diodos rectificadores su región de trabajo es la Zener, es decir trabaja en inversa para poder regular a un voltaje deseado sin llegar a la ruptura o dañarse. La localización de esta región se debe al control de los niveles de dopaje, un aumento de dopaje o incremento de impurezas decrementa el potencial Zener.

En la siguiente figura se muestra el símbolo y gráfica, en la que se observa que puede trabajar en las 3 regiones, directa, corriente de fuga y Zener. En la región Zener se utiliza como regulador, en la directa se utiliza como un diodo de propósito general teniendo un V_k de 0.7V al ser de silicio, y en la región de fuga solo conduce una muy pequeña

corriente. El parámetro I_{ZT} es la corriente a la cuál el fabricante provee el V_z indicado en el dispositivo, y la I_{ZM} es la máxima corriente que puede circular a través del Zener.

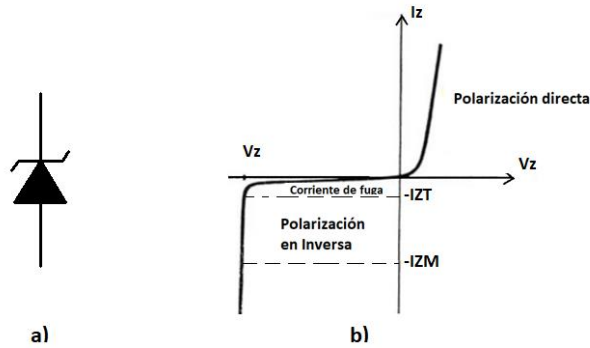


Figura 1.66 Diodo Zener a) Símbolo b) Curva

1.4.1 Circuitos Reguladores

El diodo Zener es un dispositivo útil para regular un voltaje deseado, hay de diferentes valores, por ejemplo, se pueden encontrar desde 3V hasta 100V o más, en los que se encuentran a diferentes potencia. Un circuito muy básico es el que se muestra y se realizará el análisis con algunas variantes.

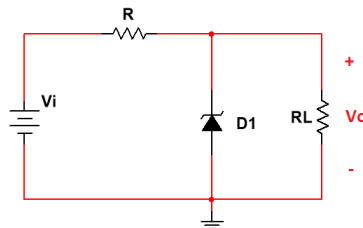


Figura 1.67 Regulador con zener

Análisis cuando V_i y R_L son fijos

En este análisis primeramente se quita el diodo Zener y se obtiene el voltaje entre esos nodos.

Se puede observar que se puede mediante un divisor de tensión, entonces:

$$V = V_{RL} = \frac{V_i \cdot R_L}{R_L + R}$$

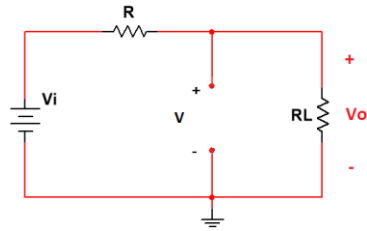


Figura 1.68 Regulador con Zener para análisis

Ahora se compara el voltaje V

Si $V < V_Z$; entonces el Zener no regula, no circula corriente y $V_o < V_Z$. El circuito equivalente es un circuito abierto, como el de la figura 1.68.

Si $V > V_Z$; entonces el Zener regula, circula corriente y se puede colocar el circuito equivalente siguiente.

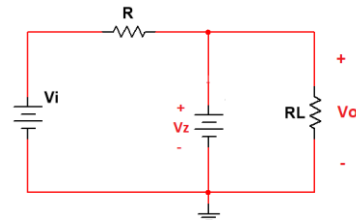


Figura 1.69 Circuito equivalente zener regula

En el circuito equivalente el diodo Zener se reemplaza por una fuente de valor V_Z , debido a que mantendrá constante ese voltaje, entonces ahora se deducen los parámetros de

V_o y I_z

$$V_o = V_{RL} = V_Z$$

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R_L} \quad ; \quad I_R = \frac{V_i - V_Z}{R}; \quad I_Z = I_R - I_{RL}$$

$P_Z = I_Z \cdot V_Z$. Esta potencia no debe superar la máxima que soporta el dispositivo.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, a) conocer si el diodo Zener regula, V_o , I_z y P_z . b) cambiar $R_L = 3.3k\Omega$ y obtener nuevamente V_o , I_z y P_z .

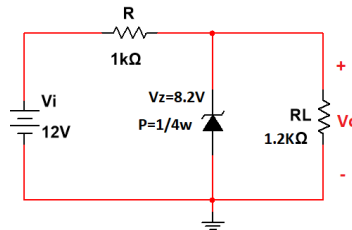


Figura 1.70 Circuito regulador

Solución:

a) Se quita el Zener y se encuentra el voltaje V entre esos nodos para determinar si conduce.

$$V = V_{RL} = \frac{V_i \cdot R_L}{R_L + R} = \frac{12V(1.2k\Omega)}{1k\Omega + 1.2k\Omega} = 6.54V$$

Como $V < V_z$ entonces el Zener no regula y $V_o = V = 6.54V$; $I_z = 0A$; $P_z = 0W$.

b) Se reemplaza R_L a $3.3k\Omega$ y se quita el Zener y se encuentra el voltaje V entre esos nodos para determinar si conduce.

$$V = V_{RL} = \frac{V_i \cdot R_L}{R_L + R} = \frac{12V(3.3k\Omega)}{1k\Omega + 3.3k\Omega} = 9.2V$$

Como $V > V_z$, entonces el Zener si regula, se coloca nuevamente el diodo Zener y se calculan los parámetros solicitados.

$$V_o = V_z = 8.2V$$

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{8.2V}{3.3k\Omega} = 2.48mA \quad ; \quad I_R = \frac{V_i - V_z}{R} = \frac{12V - 8.2V}{1k\Omega} = 3.8mA;$$

$$I_z = I_R - I_{RL} = 3.8mA - 2.48mA = 1.32mA$$

$$P_z = V_z I_z = 8.2V(1.32mA) = 10.82mW \quad \text{La potencia es menor a la máxima}$$

Análisis cuando V_i es fijo y R_L variable

En este caso es cuando se requiere utilizar un diodo Zener en un circuito regulador específico y se consideran sus parámetros para calcular el rango de valor de la resistencia de carga en los que va a regular y no se dañará el dispositivo.

Se toma nuevamente como referencia el circuito de la figura 1.67, donde ahora se debe tomar en cuenta la R_L variable, y encontrar el rango de trabajo.

Primeramente, se debe asegurar que el voltaje en el Zener supere el V_z , por lo que del divisor de voltaje antes visto, ahora se despejará la variable R_L para encontrar el valor mínimo de R_L que asegura que el Zener regule.

$$R_L(\text{min.}) \geq \frac{R \cdot V_z}{V_i - V_z}$$

La resistencia recién obtenida debe ser mayor o igual para asegurar la regulación, pero si sigue aumentando, disminuye la corriente I_{RL} y aumenta la I_z , pero recordemos que hay un límite de corriente que soporta el Zener, llamada I_{ZM} . Entonces ahora se obtendrá ese valor de R_{Lmax} para que el Zener no se dañe.

I_R es constante ya que se considera que el Zener regula

$$I_R = \frac{V_z - V_i}{R}$$

Como I_{ZM} es la máxima corriente que puede circular por el Zener, entonces se hace $I_Z = I_{ZM}$, y se obtiene la I_{RLmin} que circulará por R_L

$$I_{RLmin} = I_R - I_{ZM}$$

Y finalmente $R_{Lmax} = \frac{V_Z}{I_{RLmin}}$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Obtener el rango de los valores de Resistencia para que el siguiente circuito regule y el zener no se dañe.

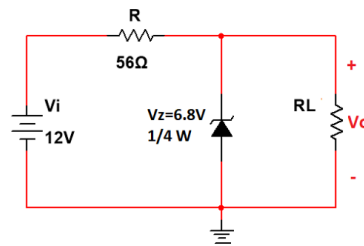


Figura 1.71 Circuito regulador con Zener R_L variable

Solución:

$$R_L(\text{min.}) \geq \frac{R \cdot V_Z}{V_i - V_Z} = \frac{56\Omega(6.8V)}{12V - 6.8V} \geq 73.23\Omega$$

Se obtiene $I_{ZM} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{0.25W}{6.8V} = 36.76mA$

$$I_{RLmin} = I_R - I_{ZM} = \frac{V_i - V_Z}{R} - I_{ZM} = \frac{12V - 6.8V}{56\Omega} - 36.76mA = 56.09mA$$

$$RL_{max} \leq \frac{V_Z}{I_{RLmin}} \leq \frac{6.8V}{56.09mA} \leq 121\Omega$$

Por lo que el rango de la resistencia RL debe ser $73.23\Omega \leq RL \leq 121\Omega$

Análisis cuando RL es fijo y V_i variable

Este análisis es una aplicación de regulación cuando se tiene un circuito y se prevee saber el rango de voltaje de entrada para que el Zener regule y no se dañe. De acuerdo con el circuito regulador 1.67 se hace variable solo el parámetro de entrada. Entonces:

Para garantizar que el Zener regule, se hace el divisor de voltaje y despeja V_i , y se obtiene el voltaje de entrada mínima:

$$V_{in(min.)} = \frac{V_Z(R + RL)}{RL}$$

Si se sigue aumentando el voltaje de entrada V_i sigue regulando, pero también aumenta la corriente total, y con ello la corriente que circula por el Zener, rebasando el parámetro de I_{ZM} y dañando al zener, entonces definimos ese V_i máximo que se puede tener.

$$I_R(max.) = I_{RL} + I_{ZM}; \quad I_{RL} = \frac{V_Z}{RL} \quad \text{y} \quad I_{ZM} \text{ es proporcionado por el fabricante}$$

$$V_i(max.) = I_R(max.)R + V_Z$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, determine el voltaje de entrada para que regule y no se dañe el Zener.

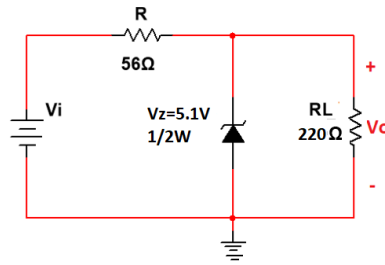


Figura 1.72 Circuito regulador con Zener Vi variable

Solución:

$$V_{in(\min.)} \geq \frac{V_Z(R + R_L)}{R_L} \geq \frac{5.1V(56\Omega + 220\Omega)}{220} \geq 6.4V$$

$$I_{ZM} = \frac{P_{ZM}}{V_Z} = \frac{0.5W}{5.1V} = 98mA$$

$$I_{R(max.)} = I_{RL} + I_{ZM} = \frac{V_Z}{R_L} + I_{ZM} = \frac{5.1V}{220} + 98mA = 121mA;$$

$$\text{Entonces: } V_{i(max.)} \leq I_{R(max.)}R + V_Z \leq 121mA(56\Omega) + 5.1V \leq 11.87V$$

$$\text{Resultando el rango: } 6.4V \leq V_i \leq 11.87V$$

1.5 Otros diodos (Varactor, Schottky, PIN, Avalancha, Gunn, Túnel, LASER, etc.)

características y circuitos de aplicación.

Al ser éste un subtema abierto, debido a que se estudiaron con más detalle los diodos de propósito general, en aplicaciones de rectificación, recortadores, sujetadores, multiplicadores y Diodos Zener como reguladores, además de aplicaciones con Diodos emisores de LUZ (LED). En este subtema se aborda con una presentación en Power Point como complemento educacional, donde se ven su definición, simbología y principalmente donde se aplica.

COMPLEMENTOS EDUCACIONALES DE LA UNIDAD 1

1.- Presentación. Subtema 1.5 otros diodos

Software utilizado. Power Point

Diodo Varactor

Definición: El diodo Varactor o Varicap también es un dispositivo semiconductor de unión PN en el que al aplicar un voltaje su capacitancia varía. Éste trabaja en inversa y es inversamente proporcional a dicho voltaje, es decir, cuando disminuye el voltaje inverso aumenta su capacitancia.

Símbolo: 

Aplicaciones: Entre sus aplicaciones se pueden mencionar sintonizadores de frecuencias, osciladores controlados por voltaje (VCO), Moduladores en radios, etc.

Diodo Schottky

Definición: Es un diodo que a diferencia de los convencionales, unión PN(semiconductor-semiconductor) es una unión metal (oro, platino, etc)-semiconductor. En el que su barrera de potencial disminuye, haciéndolo más rápido para su conmutación y con menos caída de voltaje en directa.

Símbolo: 

Aplicaciones: Entre sus aplicaciones se pueden mencionar los utilizados en fuentes conmutadas por su alta frecuencia, diodos protección de picos de voltaje por su rápida respuesta, etc.



Diodo PIN

Definición: Es un diodo formado por tres materiales, dos dopados P y N, además de uno intrínseco, de allí su nombre. Prácticamente tiene las características de alta impedancia de entrada, alta velocidad de conmutación y puede aplicarse para alta potencia.

Símbolo: 

Aplicaciones: Entre sus aplicaciones se pueden mencionar en rectificadores de potencia, en comunicaciones de fibra óptica como detectores, en dispositivos de protección de picos de voltaje, etc.

Diodo GUNN

Definición: Es un diodo construido por tres capas de material N, una de ellas menos dopada, el cuál su característica principal es una resistencia que conforma se aplique el voltaje funciona así, hasta que llega a un voltaje umbral y esta cambia a resistencia negativa. Esto lo permite oscilar.

Símbolo: 

Aplicaciones: Entre sus aplicaciones se pueden mencionar los osciladores de alta frecuencia, como sensores de movimiento, etc.

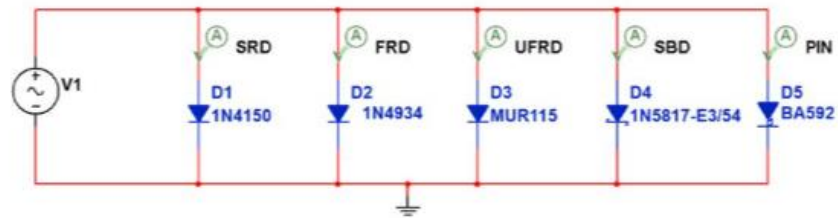
2.- Infografía. Comparativa de magnitud y fase de diferentes diodos

Software utilizado. Genially

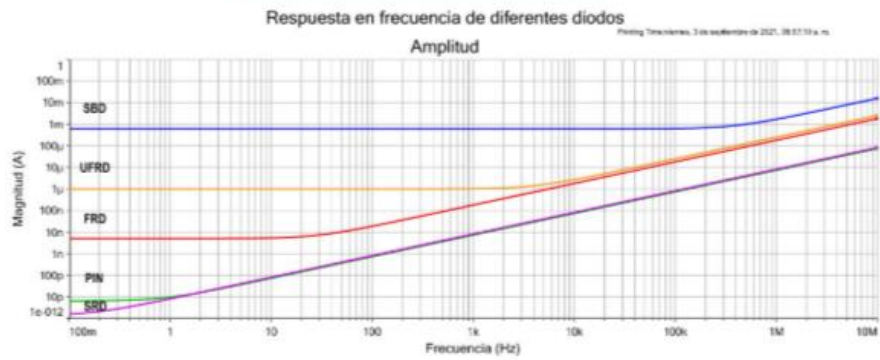
Objetivo: Informar al estudiante de forma gráfica la comparativa de diferentes diodos en relación a su frecuencia de trabajo y fase. Es muy importante conocerlo, debido a que como se ha dicho se debe utilizar el adecuado según la aplicación, sobre todo cuando se utilizan diodos de rápida recuperación para altas o medianas frecuencias. La comparativa es de diodos de recuperación estándar (SRD), Diodo PIN, diodo de alta recuperación (FRD), ultra rápida recuperación (UFRD) y diodo Schottky (SBD).

Comparativa

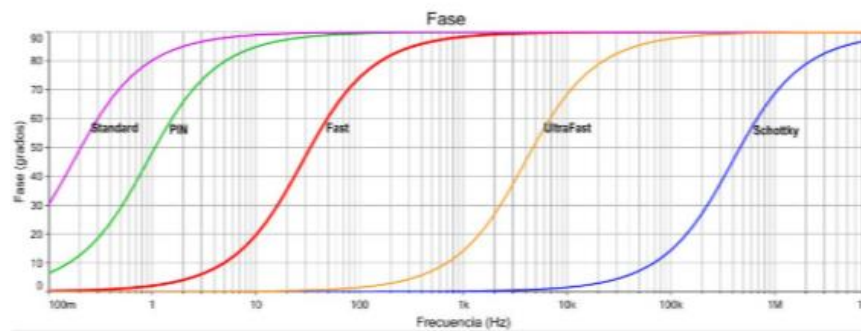
ANÁLISIS CA EN MULTISIM



RESPUESTA EN MAGNITUD



RESPUESTA EN FASE



3.- Infografía. Recortadores serie y paralelo

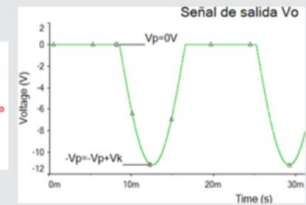
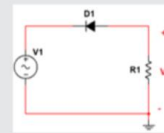
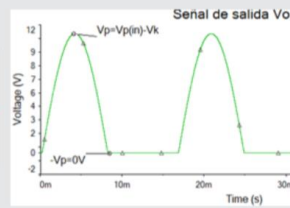
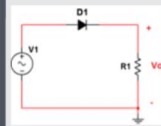
Software utilizado. Genially

Objetivo: Informar al estudiante de forma gráfica y genérica las señales obtenidas con las diferentes configuraciones de recortadores serie y paralelo. Debido a que en clase no se ven todas las configuraciones posibles.



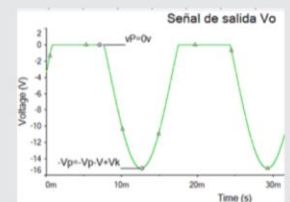
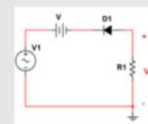
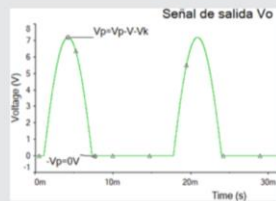
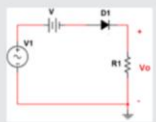
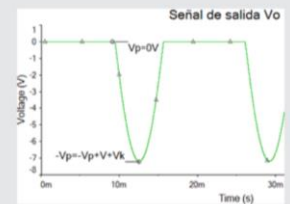
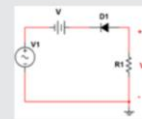
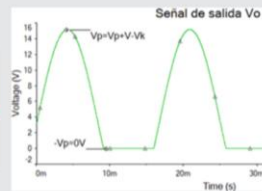
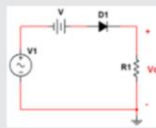
RECORTADORES SERIE

Sin fuentes



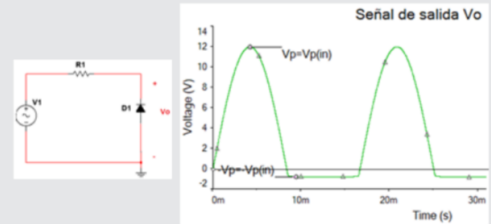
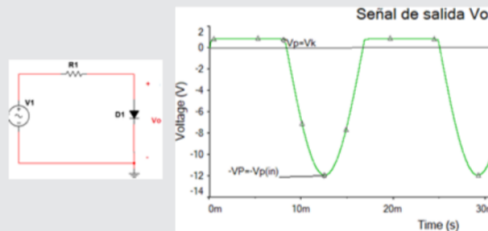
RECORTADORES EN SERIE

Con fuentes



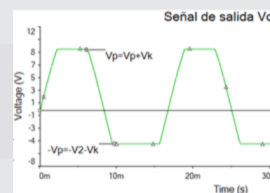
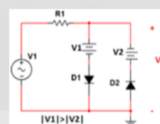
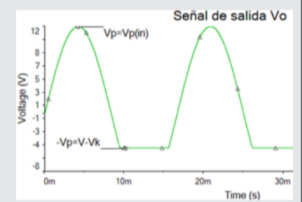
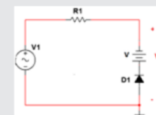
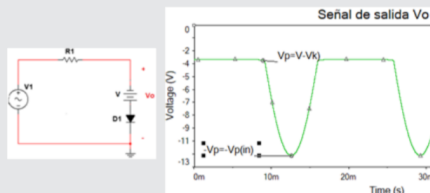
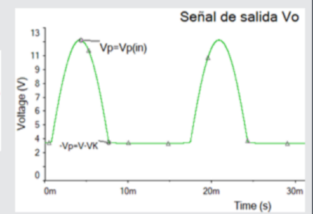
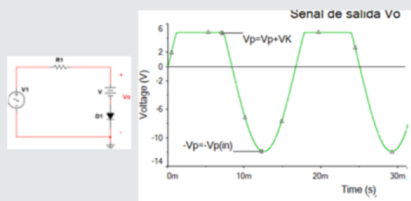
RECORTADORES PARALELO

Sin fuentes



RECORTADORES PARALELO

Con fuentes



3.- Cuestionario

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce los subtemas vistos, de una manera que pueda dar respuesta a los conceptos básicos y aplicaciones con diodos

- 1.- De forma breve defina al diodo, dibuje su símbolo y curva ID/VAK.
- 2.- Defina polarización directa e inversa y de forma breve ejemplifíquela con circuitos
- 3.- De forma breve defina al diodo Zener, dibuje su símbolo y curva ID/VAK.
- 4.- Defina de forma breve a otro diodo y mencione una aplicación
- 5.- Defina de forma breve al recortador y sujetador

4.- Ejercicios prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce las habilidades de solución de problemas, es este caso de los temas de rectificadores, recortadores, sujetadores y diodos zener.

1.- Obtener las corrientes I_1, I_2 y I_{D2} del siguiente circuito. Realizar la simulación en Multisim.

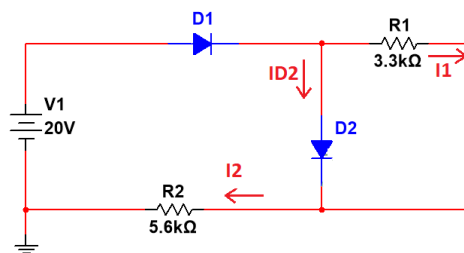


Figura 1.73 Circuito diodos

2.- Obtener las corrientes la forma de onda de V_o . Del siguiente circuito

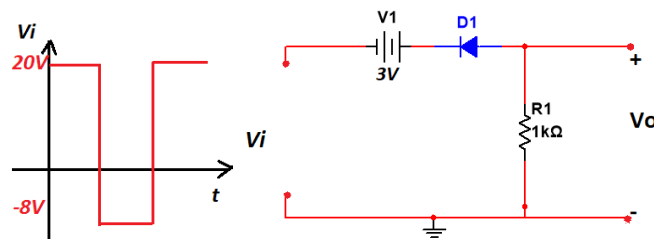


Figura 1.74 Circuito recortador serie

3.- Obtener $5T$. Compararla con $T/2$. de la señal aplicada. Graficar V_o

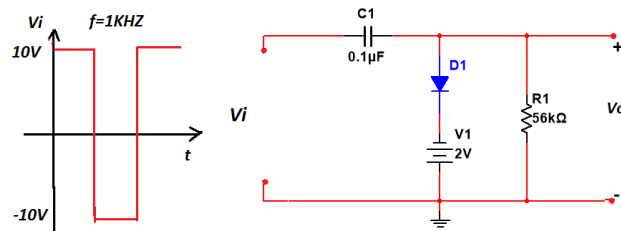


Figura 1.75 Circuito recortador paralelo

4.- Del siguiente circuito, obtener VCD, Vrizo, ICD y forma de onda de voltaje en RL. Determinar también la corriente promedio de los diodos.

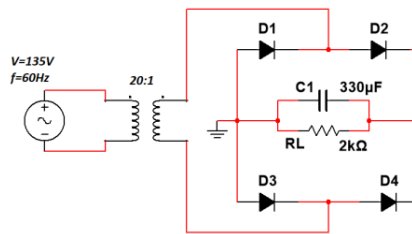


Figura 1.76 Circuito rectificador con filtro C

5.- Del siguiente circuito, obtener el rango de voltaje de entrada V_i , al que la resistencia R_L se mantendrá a 8V sin sobrepasar la potencia máxima del diodo zener.

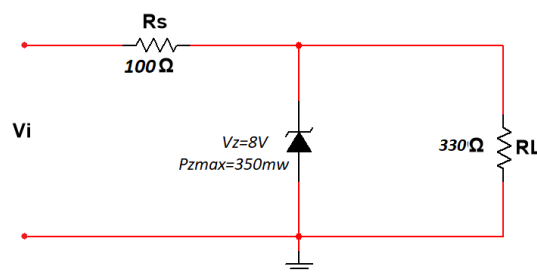


Figura 1.77 Circuito regulador con Zener

Solución en Anexo A

5.- Ejercicios/Casos prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: El estudiante después de ver teóricamente el comportamiento del diodo I_D/V_{AK} . Realizará mediciones prácticas y recuperará la curva del diodo con los datos obtenidos. Esto le ayudará a ver el comportamiento práctico y que teóricamente se utilizan modelos que solo lo aproximan.

Material necesario:

1 Voltímetro

1 Amperímetro

1 Diodo UF4001.

1Fuente de CD variable

1 par de cables banana-caimán

1 Protoboard

1 Resistencia de 100Ω

Desarrollo:

1.- Arme el siguiente circuito

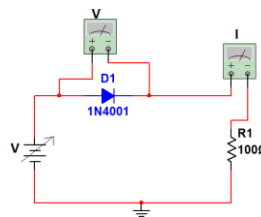


Figura P1 Circuito con diodo

Comience a variar el voltaje de la fuente desde 0V. incremente y registre los valores hasta obtener el voltaje en el diodo de 0.75V.

Voltaje en el diodo	Corriente ID (Valor Práctico)	Resistencia en el diodo(Teóricamente)	Observaciones
0V			
0.1V			
0.2V			
0.3V			
0.4V			
0.5V			
0.6V			
0.7V			
0.75V			

4.- Apague la fuente e invierta la polaridad de la conexión. Mida los valores solicitados

Voltaje en el diodo	Corriente ID (Valor Práctico)	Resistencia en el diodo (Teóricamente)	Observaciones
0V			

-2V			
-4V			
-6V			
-8V			
-10V			
-12V			
-14V			
-16V			

5.- Con los datos obtenidos, grafique la curva I-V (En directa e inversa)

Conclusiones y Observaciones por el estudiante.

Tema 2. Transistor Bipolar (BJT)

2.1 Características, parámetros y punto de operación.

El transistor

El transistor fue inventado en 1947 en los laboratorios Bell, por Walter H. Brattain y John Bardeen, el cual es un dispositivo de estado sólido de tres terminales y sustituyó a su antecesor el bulbo. Éste era en principio más pequeño, no necesitaba calentarse y sus voltajes con el que operaba eran menores. Su invención ha sido muy importante para la tecnología que hasta hoy en día se tiene y su principal función es la de amplificación, dicha fórmula es como se muestra.

$$I_C = I_B \cdot \beta$$

El transistor está construido por tres capas, éstas son 2 de material N y 1 P a este se le llama NPN, también está el de 2 P y 1 N llamado PNP. Las terminales son llamadas Base (B), colector(C) y emisor (E). El material del emisor está mayormente dopada que las otras y la base solo ligeramente.

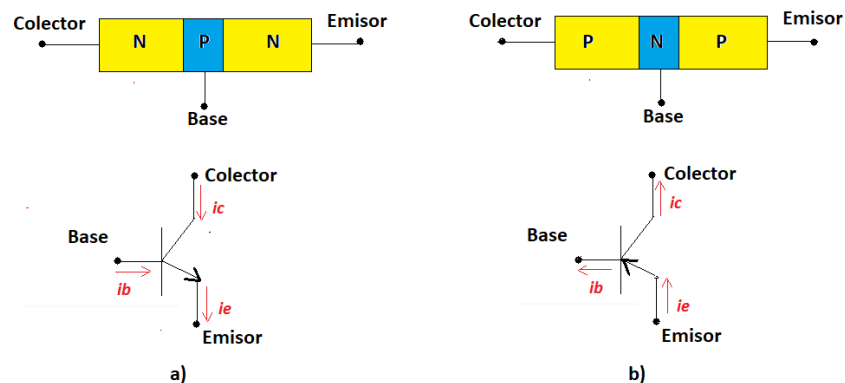


Figura 2.1 Transistor a) NPN y b) PNP por su construcción y simbología

En la figura anterior se muestran la nomenclatura utilizada para las corrientes y los sentidos convencional que se utilizan para su operación.

Regiones de trabajo

El transistor tiene tres regiones de trabajo, Corte, saturación y activa, estas se muestran en la siguiente figura:

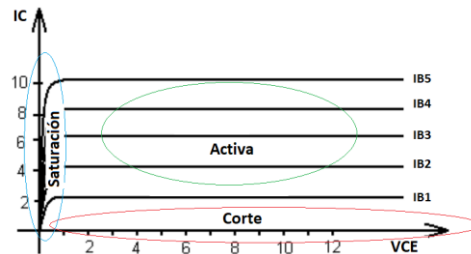


Figura 2.2 Regiones de trabajo del transistor

La **región de corte**, es cuando el transistor está prácticamente apagado, es decir, cuando: La corriente de base es mínimo, la corriente de colector es mínimo y el voltaje colector-emisor es máximo.

$$I_b \cong 0A$$

$$I_c \cong 0A$$

$$V_{CE} \cong V_{CC}$$

La **región de saturación**, es cuando el transistor está trabajando a una corriente máxima de colector, solo limitada por la Resistencia o carga del colector.

$$I_b = Grande$$

$$I_c = Grande$$

$$V_{CE} \cong 0V$$

La **región activa o amplificación**, es cuando el transistor está trabajando con una corriente de colector media, no saturándose ni en corte.

$$I_b = media$$

$$I_c = media$$

$$V_{CE} = media$$

2.2 Configuraciones de polarización.

Existen diferentes configuraciones en los transistores bipolares, según de donde se conecte la señal de entrada y salida, así como las características que se desean de la amplificación, éstas son Emisor común, base común y Colector común.

2.2.1 Emisor común

Esta configuración es bastante utilizada debido a que se tiene ganancia en voltaje y corriente, la señal de entrada se conecta entre base y emisor, siendo esta última en común con la salida.

2.2.1.1 Polarización fija.

Esta polarización es muy sencilla debido a los pocos componentes que se necesitan y se utiliza en muchas aplicaciones, sin embargo, no quiere decir que sea la mejor o con mayor estabilidad. En la siguiente figura se muestra

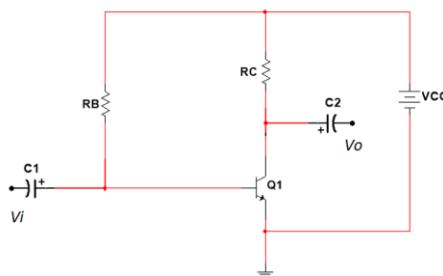


Figura 2.3 Circuito emisor común polarización fija

En seguida se muestra el análisis del circuito. Primeramente para el análisis de cd se abren los capacitores debido a $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0Hz)C} = \infty$. Quedando de la siguiente manera:

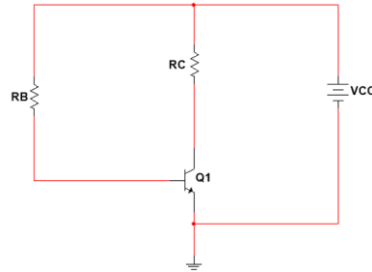


Figura 2.4 Circuito polarización fija para análisis en cd

Ahora, analizando la malla de entrada y aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff:

$$LVK: +VCC - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{VCC - V_{BE}}{R_B}; \text{ donde se considera } V_{BE} = 0.7V$$

La corriente I_C se obtiene de:

$$I_C = I_B \beta$$

$$I_E = I_C + I_B \text{ y como } I_C = I_B \beta \text{ entonces } I_E = I_B(\beta + 1) \text{ o } I_E \cong I_B \beta$$

Aplicando el análisis en la malla de salida se tiene:

$$LVK: V_{CE} + I_C R_C - VCC = 0$$

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

Los voltajes en terminales son los siguientes:

$$V_{CE} = V_C - V_E; \text{ como } V_E = 0;$$

$$V_{CE} = V_C$$

$$V_{BE} = V_B - V_E; \text{ como } V_E = 0;$$

$$V_{BE} = V_B$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

1.- del siguiente circuito, obtener I_B , I_C , V_{CE} , V_B y V_C

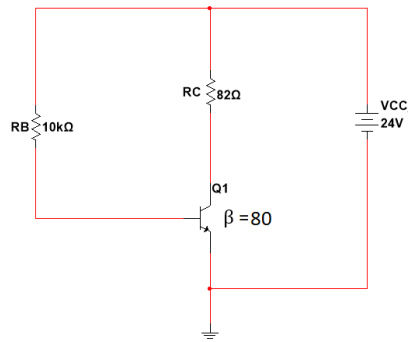


Figura 2.5 Circuito emisor común polarización fija

Solución:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{24V - 0.7V}{10K\Omega} = 2.33mA;$$

$$I_C = I_B \beta = 2.33mA(80) = 186.4mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 24V - 186.4mA(82\Omega) = 8.7V$$

Saturación del transistor

Este concepto es el trabajo del transistor a su mayor corriente para un circuito particular, es decir, la corriente de colector solo es limitada por la carga del colector, llamada normalmente RC. Entonces la corriente de colector ya no obedece a $I_c = I_B \beta$

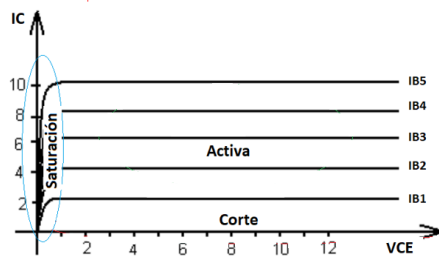


Figura 2.6 Regiones de saturación del transistor

En un diseño de amplificación de señal, no debe trabajarse en esta zona, ya que la señal se distorsionará.

De los análisis anteriores y haciendo $V_{CE} \cong 0$, entonces se tiene que dicha corriente es:

$$I_c (sat) = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

Ejemplo:

Obtener la corriente de saturación del circuito anterior (fig 2.6)

$$I_c (sat) = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{24V}{82\Omega} = 293mA$$

Esta es la corriente máxima a la que puede variar. Como se resolvió anteriormente el ejercicio, se puede observar que no está trabajando en la región de saturación.

2.2.1.2 Polarización de emisor.

Esta configuración de polarización se ve mejorada a la fija, agregando una resistencia en el emisor y haciendo al circuito un poco menos dependiente la salida de la ganancia.

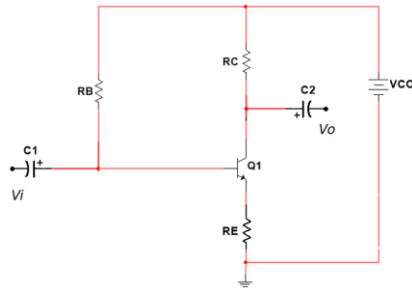


Figura 2.7 Circuito emisor común polarización de emisor

En seguida se muestra el análisis del circuito. Primeramente, para el análisis de cd se abren los capacitores debido a $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0Hz)C} = \infty$. Quedando de la siguiente manera:

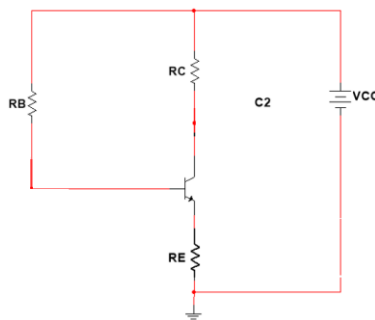


Figura 2.8 Circuito polarización de emisor para análisis en cd

Analizando la malla de entrada y aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff :

$$+VCC - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

Y como $I_E = I_B(\beta + 1)$

Entonces:

$$VCC - IB R_B - V_{BE} - IB(\beta + 1)R_E = 0, \text{ despejando } IB$$

$$IB = \frac{VCC - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

Esto se puede ver como:

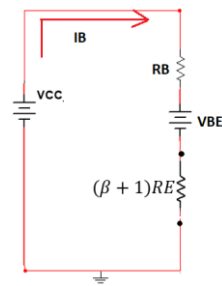


Figura 2.9 Circuito equivalente de la entrada del transistor

Para la malla de salida:

$$VCE = VCC - ICRC - IERE \quad \text{como } IC \cong IE \quad \text{entonces:}$$

$$VCE \cong VCC - IC(RC + RE)$$

Los voltajes en terminales son los siguientes:

$$VE = IERE$$

$$VC = VCE + VE \quad \text{o} \quad VC = VCC - ICRC$$

$$VB = VCC - IB R_B \quad \text{o} \quad VB = V_{BE} + VE$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito obtener: I_B , I_C , V_{CE} , V_C y V_E . A manera de comprobación realizar simulación en Multisim

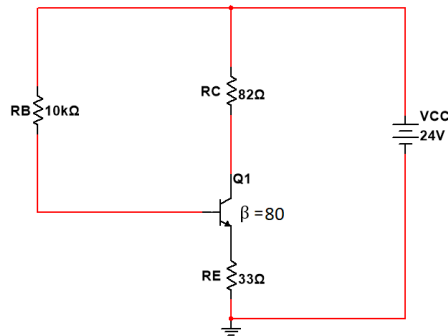


Figura 2.10 Circuito de polarización de emisor

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{24V - 0.7V}{10K\Omega + (81)33\Omega} = 1.84mA$$

$$I_C = I_B\beta = 1.84mA(80) = 147.2mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 147.2mA(82\Omega + 33\Omega) = 7.07V$$

$$V_C = V_{CC} - I_C R_C = 24V - 147.2mA(82\Omega) = 11.9V$$

$$V_B = V_{CC} - I_B R_B = 24V - 1.84mA(10k\Omega) = 5.26V$$

Simulación en Multisim:

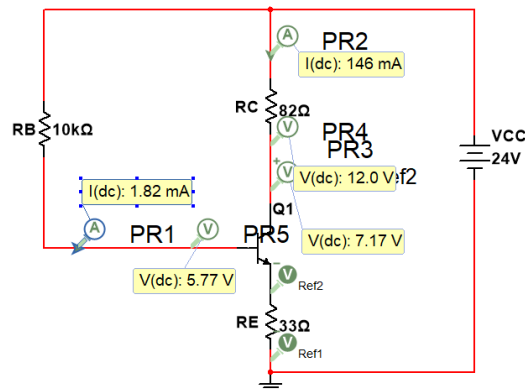


Figura 2.11 Simulación en Multisim

Saturación del transistor

Para esta polarización de emisor común y haciendo $V_{CE} \cong 0$ queda de la siguiente manera:

$$I_c (sat) = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

Ejemplo: Del circuito anterior (Figura 2.12) obtener la corriente de saturación de colector.

$$I_c (sat) = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{24V}{82\Omega + 33\Omega} = 208mA$$

Del ejemplo anterior la $I_c = 147.2mA$ Por lo que se puede observar que el circuito no está en un punto en saturación, ya que no llega al valor de la $I_c(sat)$.

2.2.1.3 Polarización por Divisor de Voltaje.

En las configuraciones anteriores la corriente de colector es muy dependiente de la ganancia β , esto no es siempre lo más adecuado para el diseño de amplificadores de señal, ya que la ganancia que nos proporciona el fabricante, en realidad es un rango que varía en función de la corriente de colector, temperatura y hasta del mismo lote. Por lo que esta configuración hace la salida más independiente de dicha ganancia. El circuito se muestra en la siguiente figura:

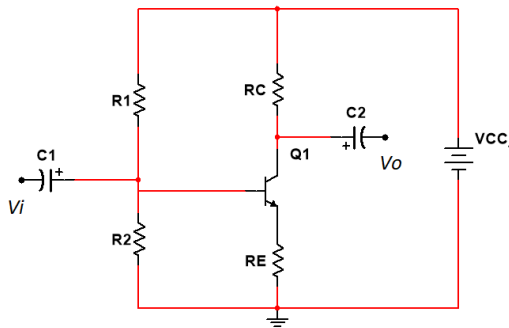


Figura 2.12 Polarización Divisor de voltaje

Como ya se ha mencionado anteriormente, para el análisis primeramente se quitan los capacitores debido a $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0\text{Hz})C} = \infty$. Existen dos formas para hacer el análisis, la forma exacta y el aproximado.

Análisis exacto. En este método se observa que no es tan simple obtener una malla y encontrar la corriente de base I_B . Por lo que se comienza encontrando el circuito equivalente de Thevenin para la terminal o nodo de la base. Para ello se debe encontrar el Voltaje de Thevenin (V_{th}) en dicho nodo y la resistencia de Thevenin (R_{TH}).

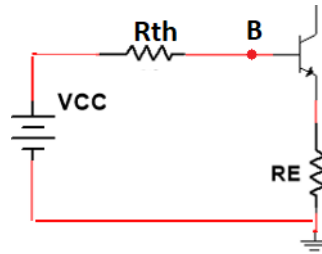


Figura 2.13 Circuito equivalente de Thevenin en la terminal de Base

Voltaje de Thevenin. Se obtiene el voltaje entre la terminal base y tierra, entonces:

$$V_{th} = V_{R2} = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Resistencia de Thevenin. Se obtiene apagando las fuentes y encontrando la resistencia equivalente entre base y tierra.

$$R_{th} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Entonces, el circuito queda de la siguiente manera.

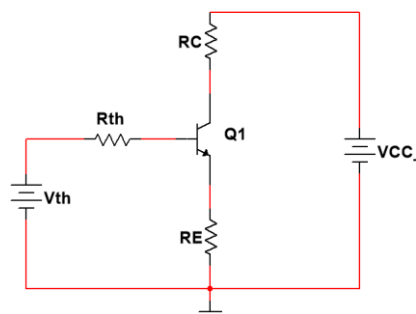


Figura 2.14 Circuito equivalente de Thevenin

Realizando el análisis con el nuevo circuito, se tiene que:

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

$$I_C = I_B \beta$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Los voltajes en terminales son los siguientes:

$$V_E = I_E R_E$$

$$V_C = V_{CE} + V_E \quad \text{o} \quad V_C = V_{CC} - I_C R_C$$

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

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito obtener por el método exacto I_B , V_{CE} , V_C , V_B y V_E . A manera de comprobación simular en Multisim.

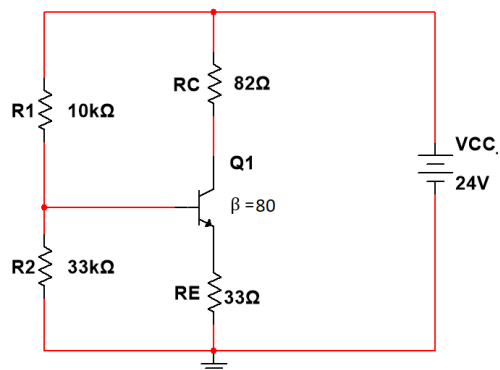


Figura 2.15 Circuito Polarización por divisor de voltaje

Solución.

Se obtiene el circuito equivalente de thevenin en nodo de la Base:

$$V_{th} = V_{R2} = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24V(33k\Omega)}{10k\Omega + 33k\Omega} = 18.41V$$

$$R_{th} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10k\Omega(33k\Omega)}{10k\Omega + 33k\Omega} = 7.68k\Omega$$

Entonces:

$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{18.41V - 0.7V}{7.68k\Omega + [(81)(33\Omega)]} = 1.71mA$$

$$I_C = I_B \beta = 1.71mA(80) = 136.8mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 136.8mA(82\Omega + 33\Omega) = 8.26V$$

$$V_E = I_E R_E = I_B(\beta + 1)R_E = [1.71mA(81)]33\Omega = 4.57V$$

$$V_C = V_{CE} + V_E = 8.26V + 4.57V = 12.83V$$

$$V_B = V_{BE} + V_E = 0.7V + 4.57V = 5.27V$$

Simulación en Multisim.

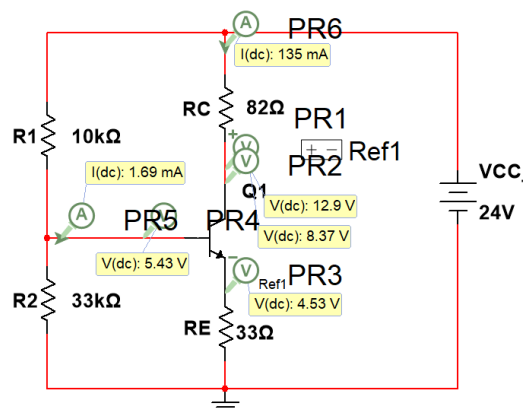


Figura 2.16 Circuito en simulación Multisim

Análisis Aproximado. Este método es una forma más simple de obtener los parámetros de interés del circuito, pero se debe cumplir con una condición para poderlo utilizar y que los valores sean muy cercanos al método exacto.

Del siguiente circuito equivalente que se tiene del divisor de tensión, se observa que entre mayor sea la resistencia R_i a R_2 , entonces la corriente I_B es menor, idealmente 0A y por lo tanto el voltaje de Base sería el Voltaje en R_2 , y se obtiene con un simple divisor de voltaje; con este parámetro se pueden encontrar los voltajes y corrientes deseadas.

Como $R_i = \beta R_E$; entonces para utilizar este método debe cumplirse la condición: $\beta R_E > 10R_2$.

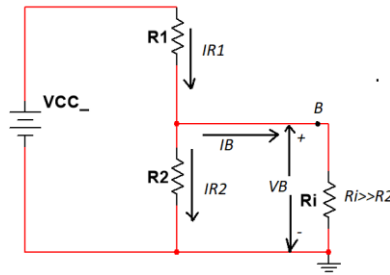


Figura 2.17 Circuito equivalente en entrada del transistor

Para obtener los voltajes y corrientes se utiliza el Voltaje V_{B2} obtenido por el divisor de voltaje, y entonces:

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

$$I_E \cong \frac{V_E}{R_E}$$

$$I_C \cong I_E$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E)$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

1: a) Obtener por el método aproximado V_B , I_C , V_E y V_{CE} ; comparar los resultados con el método anterior.

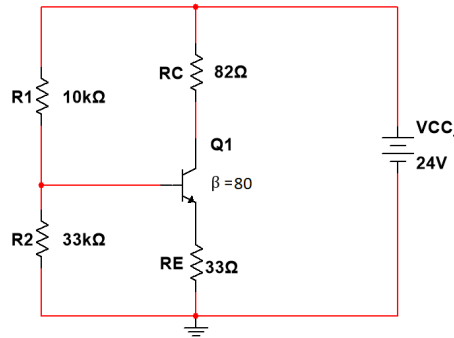


Figura 2.18 Circuito Polarización por divisor de voltaje

Solución.

$$V_B = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24V(33K\Omega)}{10K\Omega + 33K\Omega} = 18.41V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 18.41V - 0.7V = 17.71V$$

$$I_E \cong \frac{V_E}{R_E} = \frac{17.71V}{33\Omega} = 537mA$$

$$I_C \cong I_E \cong 537mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 537mA(82\Omega + 33\Omega) = -37.7V$$

Comparando los resultados con los obtenidos con el método exacto son muy dispares y por lo tanto se realizará si cumple con la condición:

$\beta R_E > 10R_2$. $80(33\Omega) > 10(33K\Omega)$; $2.64K\Omega > 330K\Omega$ **No cumple,**
es por ello que los valores no son correctos.

- 2.- a) Obtener V_B , I_C , V_E y V_{CE} por el método exacto y simularlo en Multisim.
 b) Si cumple la condición, resolverlo por el método aproximado y comparar resultados.

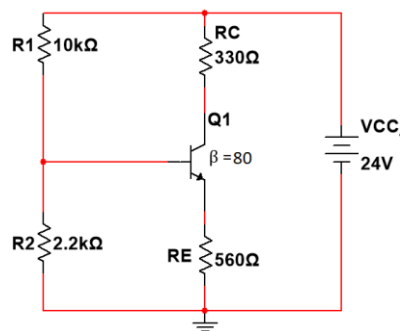


Figura 2.19 Circuito Polarización por divisor de voltaje

Solución.

a)

$$V_{th} = V_{R2} = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24V(2.2k\Omega)}{10k\Omega + 2.2k\Omega} = 4.33V$$

$$R_{th} = R_1 || R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10k\Omega(2.2k\Omega)}{10k\Omega + 2.2k\Omega} = 1.8k\Omega$$

$$I_B = \frac{V_{th} - V_{BE}}{R_{th} + (\beta + 1)R_E} = \frac{4.33 - 0.7V}{1.8k\Omega + [(81)(560\Omega)]} = 77\mu A$$

$$I_C = I_B\beta = 77\mu A(80) = 6.16mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 6.16mA(330\Omega + 560\Omega) = 18.51V$$

$$V_E = I_E R_E = I_B(\beta + 1)R_E = [77\mu A(81)]560\Omega = 3.49V$$

$$V_B = V_E + V_{BE} = 3.49V + 0.7V = 4.19V$$

Simulación en Multisim

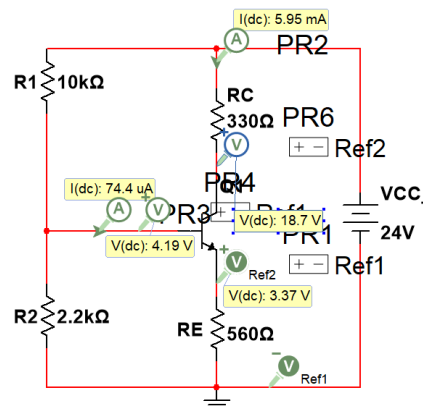


Figura 2.20 Simulación en Multisim

b) Condición: $\beta R_E > 10R_2$. $80(560\Omega) > 10(2.2K\Omega)$; $44.8K\Omega > 22K\Omega$; **Si cumple**

Entonces:

$$V_B = \frac{V_{CC} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24V(2.2K\Omega)}{10K\Omega + 2.2K\Omega} = 4.33V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 4.33V - 0.7V = 3.63V$$

$$I_E \cong \frac{V_E}{R_E} = \frac{3.63V}{560\Omega} = 6.48mA$$

$$I_C \cong I_E \cong 6.48mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 6.48mA(330\Omega + 560\Omega) = 18.23V$$

Comparando los resultados con el método exacto si son muy cercanos, y como cumple la condición, entonces es correcto su resolución.

Saturación del transistor

Para esta polarización de divisor de voltaje y haciendo $V_{CE} \cong 0$ queda de la siguiente manera:

$$I_C(sat) = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

2.2.1.4 Polarización por realimentación de colector.

Esta polarización también es utilizada, debido a que la salida tiene mayor independencia a la ganancia en CD que la de polarización fija y de emisor, afectándole menos las variaciones de β y de temperatura.

En la siguiente figura se muestra dicha polarización:

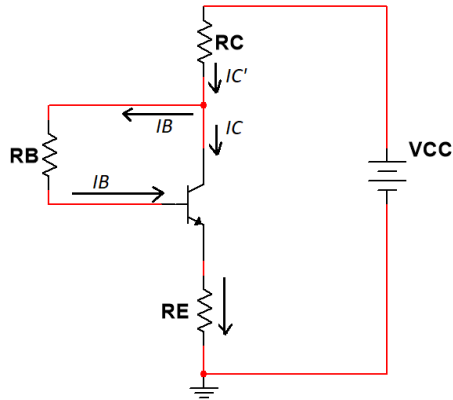


Figura 2.21 Polarización de realimentación de colector

Comenzando el análisis

Por LVK:

$$VCC - IC'.RC - IB.RB - VBE - IERE = 0$$

Donde: $IC' = IC + IB$ como IB es mucho menor que IC e IC'

Entonces se puede decir que: $IC = IC' = IE$. Y

$$VCC - (IB.\beta).RC - IB.RB - VBE - (IB.\beta).RE = 0;$$

$$VCC - VBE - (IB.\beta)(RC + RE) - IB.RB = 0$$

$VCC - VBE - IB[\beta(RC + RE) + RB] = 0$; Despejando IB se tiene que

$$IB = \frac{VCC - VBE}{RB + \beta(RC + RE)}$$

Como $IC = IC' = IE$.

Entonces: $VCE = VCC - IC(RC + RE)$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito obtener I_C y V_{CE} . A manera de comprobación simular en Multisim.

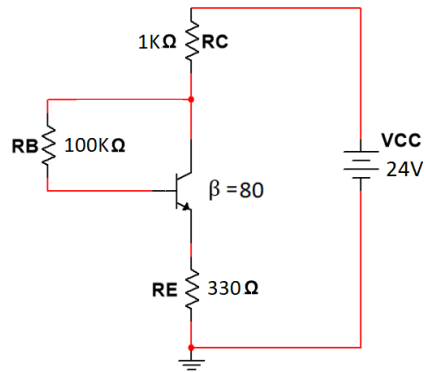


Figura 2.22 Circuito de Polarización de realimentación de colector

Solución.

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = \frac{24V - 0.7V}{100k\Omega + [80(1k\Omega + 330\Omega)]} = 113\mu A$$

$$I_C = I_B \beta = 113\mu A(80) = 9mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 24V - 9mA(1k\Omega + 330\Omega) = 12V$$

$$I_C = \frac{V'\beta}{R_B + \beta R'} \cong \frac{\beta V'}{\beta R'} = \frac{V'}{R'}$$

Como se puede observar en esta última expresión la corriente I_C ya no depende de β .

2.2.2 Base común

Esta configuración tiene diferencias a las otras y básicamente se reconoce por tener la entrada y salida de CA referenciadas a la base, es por ello del nombre. Las características específicas de esta configuración es que tiene una ganancia en CA alta en voltaje y no en corriente.

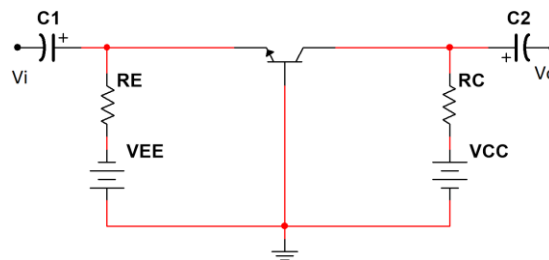


Figura 2.24 Configuración Base común

Para el análisis de CD de esta configuración, primeramente se quitan los capacitores debido a $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0Hz)C} = \infty$.

Al aplicar la ley de voltaje de Kirchhoff en la entrada se tiene:

$$-V_{EE} + I_{E}R_E + V_{BE} = 0; \text{ despejando}$$

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E}$$

Al aplicar la ley de voltajes de Kirchhoff a todo el perímetro de la red:

$$-V_{EE} + I_{EE}R_E + V_{CE} + I_{C}R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_{EE}R_E - I_{C}R_C$$

y como $I_E \sim I_C$

$$\text{Entonces: } V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_E(R_C + R_E)$$

El Voltaje VCB se determina aplicando la ley de voltaje de Kirchhoff a la malla de salida:

$$V_{CB} + I_{C}R_C - V_{CC} = 0$$

$$V_{CB} = V_{CC} - I_{C}R_C$$

$$\text{Entonces: } V_{CB} = V_{CC} - I_{C}R_C$$

Aplicando LCK: $I_E = I_B + I_C$; $I_E = I_B + I_B\beta$; $I_E = I_B(\beta + 1)$; entonces:

$$I_B \cong \frac{I_E}{\beta}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito de Base Común, obtener I_B , I_E , V_{CE} y V_{CB} . A manera de comprobación simular en Multisim.

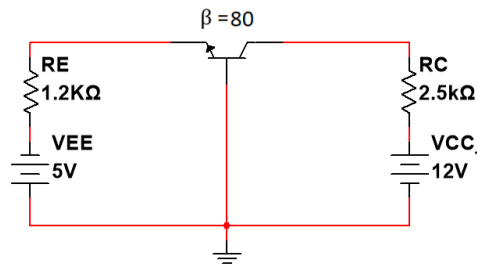


Figura 2.25 Configuración Base común

Solución:

$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E} = \frac{5V - 0.7V}{1.2K\Omega} = 3.58mA$$

$$I_B \cong \frac{I_E}{\beta} = \frac{3.58mA}{80} = 44.75\mu A$$

$$V_{CE} = V_{EE} + V_{CC} - I_E(R_C + R_E) = 5V + 12V - 3.58mA(2.5K\Omega + 1.2K\Omega) = 3.75V$$

$$V_{CB} = V_{CC} - I_C R_C = 12V - 3.58mA(2.5K\Omega) = 3.05V$$

Simulación en Multisim:

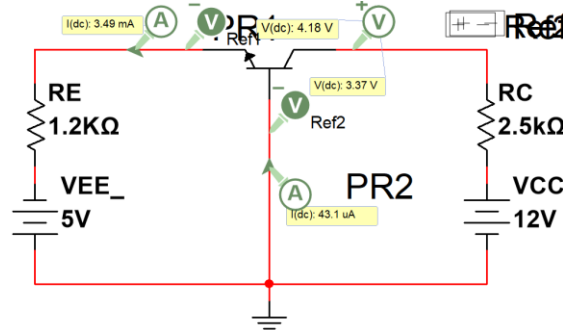


Figura 2.26 Simulación en Multisim Configuración Base común

2.2.3 Colector común

Esta configuración también llamada Emisor Seguidor tiene la entrada y salida referenciada al colector, sus características particulares en CA es la ganancia alta en corriente, pero no en voltaje. Entonces es por ello que depende la aplicación y necesidades es la configuración a elegir. Al igual que las otras configuraciones, la polarización es más positiva en colector y base con respecto al emisor, esto no cambia.

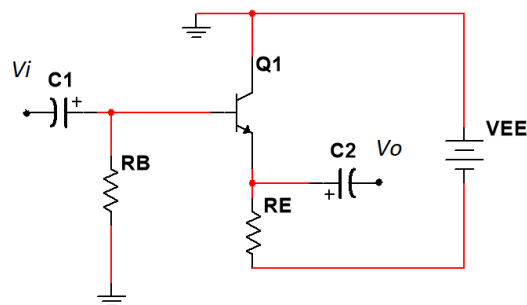


Figura 2.27 Configuración Colector común

Para el análisis de CD de esta configuración, como se ha visto anteriormente, primeramente, se quitan los capacitores debido a $X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(0Hz)C} = \infty$.

Al aplicar la regla de voltajes de Kirchhoff a la malla de entrada obtenemos:

$$-IBR_B - V_{BE} - IERE + V_{EE} = 0$$

$$\text{y utilizando } I_E = IB(\beta + 1)$$

$$IBR_B + (\beta + 1)IBR_E = V_{EE} - V_{BE}$$

$$\text{De modo que: } IB = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_E = IB + IC$$

$$I_E = IB + \beta IB$$

$$I_E = IB(\beta + 1)$$

Si se aplica la ley de voltajes de Kirchhoff a la red de salida se obtiene:

$$V_{CE} - IERE + V_{EE} = 0.$$

$$\text{entonces: } V_{CE} = V_{EE} - IERE$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito de configuración Colector Común, obtener VCE y IE. A manera de comprobación realizar la simulación en Multisim

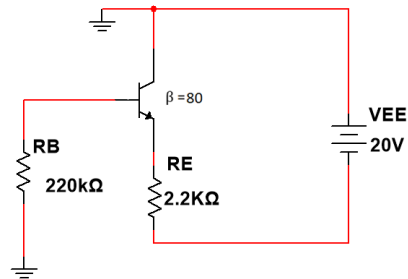


Figura 2.28 Circuito con configuración Colector Común

Solución:

$$I_B = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20V - 0.7V}{220K\Omega + (81)(2.2K\Omega)} = 48.46\mu A$$

$$I_E = I_B(\beta + 1) = 48.46\mu A(81) = 3.92mA$$

$$V_{CE} = V_{EE} - I_E R_E = 20V - 3.92mA(2.2K\Omega) = 11.37V$$

Simulación en multisim

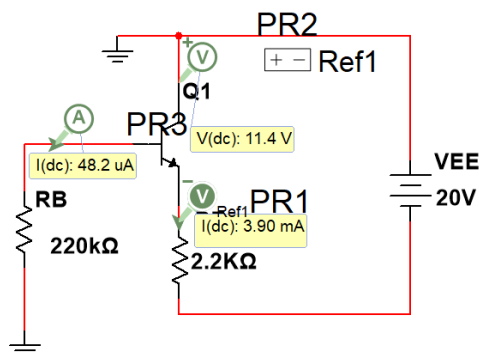


Figura 2.29 Simulación en Multisim Configuración Colector común

2.3 Conmutación.

En los temas anteriores se ha visto el análisis de CD de diferentes configuraciones y polarizaciones que son útiles para colocar al transistor en un punto Quiescente (Q) o estable medio, para que, al introducir una señal alterna, ésta se mueva en la región activa sin llegar a saturación ni corte, y se amplifique sin distorsionar la señal de entrada.

En este tema el transistor se trata como interruptor, es decir, como apagado o encendido, en sus regiones de trabajo llamados corte y saturación. Es frecuente utilizarlo de esta manera en activación de cargas que requieren una corriente considerable y que puedan ser utilizadas con señales de muy poca corriente, ya sea provenientes de procesadores, microcontroladores y en general de circuitos integrados de control. En la siguiente figura se muestra un transistor como conmutador inversor de emisor común.

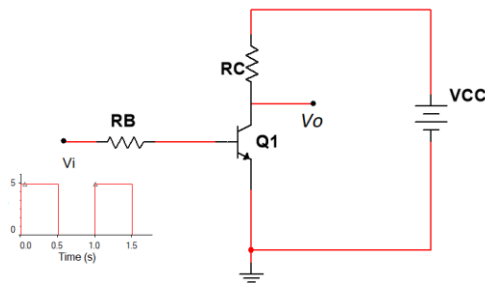


Figura 2.30 Circuito con Transistor como conmutador

En el circuito mostrado, se observa la señal de entrada (V_i) aplicada en la base, en la que son dos estados de 0 y 5V. En seguida se analiza cada uno de ellos y se considera primeramente un funcionamiento ideal.

V_i en el estado de 5V. Existe una corriente de base relativamente grande (R_B se calcula para este fin) que hace que el transistor se sature, es decir I_C es grande, solo

limitada por RC , V_{CE} pequeño, idealmente $0V$. Entonces la señal de voltaje de salida (V_o), tomada desde el colector, idealmente es $0V$.

V_i en estado de $0V$. La corriente de base es $0A$, por lo que idealmente la corriente de colector $I_C=0$, el transistor se encuentra apagado o corte, por lo que el $V_{CE} \cong V_{CC}$ y $V_o \cong V_{CC}$.

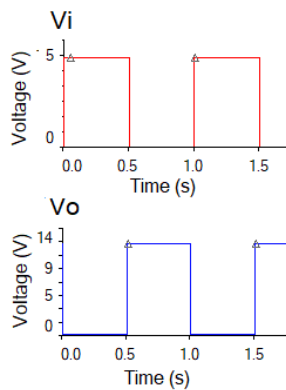


Figura 2.31 Señal de salida V_o Vs Señal de entrada V_i

En la señal de salida se observa que se invierte con respecto a la entrada.

Anteriormente se analizó idealmente, pero en la realidad esto no es así, y los parámetros cambian de esta forma. Cuando el transistor está apagado ($I_B = 0$) hay una pequeña corriente llamada I_{CEO} que es la que circula como I_C , este parámetro está definido por el fabricante del dispositivo, lo que hace que la salida no sea exactamente igual a V_{CC} . Cuando se enciende o satura el transistor V_{CE} no es $0V$, sino $V_{CE} \cong 0.7V$, este valor depende del dispositivo y de la corriente I_C . Esto es muy importante y se debe tener presente porque en la práctica real esto influye en el comportamiento deseado.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Obtener la señal de salida para el siguiente circuito, también R_B y R_C para que trabaje como interruptor, y que circule una $I_C = 12mA$

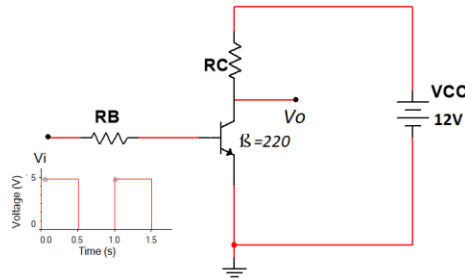


Figura 2.32 Circuito interruptor inversor

Solución:

Obtenemos R_C , suponiendo $V_{CE} = 0$ (idealmente).

$$R_C = \frac{V_{CC}}{I_C} = \frac{12V}{12mA} = 1K\Omega$$

Y ahora I_B necesaria para I_C deseada:

$$I_B = \frac{I_C(sat)}{\beta} = \frac{12mA}{220} = 54.54\mu A$$

Para obtener el valor de R_B necesaria para saturarse, se incrementa la corriente a un 30% de su valor, esto para asegurar dicha saturación. En este caso se aplica un factor de seguridad (F.S) del 30% para mitigar las variaciones que pueda tener el dispositivo, entre ellos la β .

$$I_B(sat) = I_B(F.S) = 54.54\mu A(1.3) = 70.9\mu A$$

Entonces:

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B} = \frac{12V - 0.7V}{70.9\mu A} = 159,379\Omega. \quad \text{Un valor comercial hacia abajo es}$$

150K Ω

Calculando nuevamente I_B con R_B comercial:

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{12V - 0.7V}{150K\Omega} = 75.33\mu A; \quad \text{suficiente para saturar al transistor}$$

El voltaje de salida V_o , se muestra en la siguiente figura:

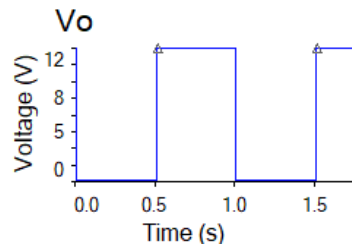


Figura 2.33 Señal de salida V_o

Tiempo de conmutación.

Es importante tomar en cuenta la frecuencia de trabajo a los que se conmutarán los transistores, ésta es definida por el tiempo de encendido y apagado de dicho transistor y es proporcionado como dato del fabricante. En la siguiente figura se muestra una señal de salida en función de sus tiempos.

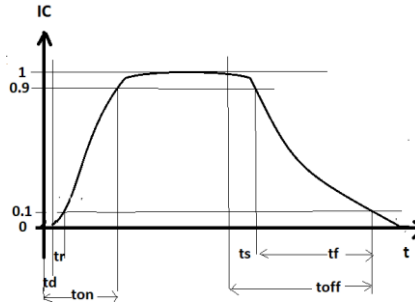


Figura 2.34 conmutación en transistor

Siendo:

El tiempo total de encendido $t_{on} = t_d + t_r$

Tiempo total de apagado $t_{off} = t_s + t_f$

$t_d =$ tiempo de retardo

$t_r =$ tiempo de subida

$t_s =$ tiempo de almacenamiento

$t_f =$ tiempo de bajada

2.4 Estabilidad

En los amplificadores de voltaje, donde la polarización en CD se posiciona en un punto estable (Q) centrado en la región activa, es de gran importancia para cuando el paso siguiente que es introducirle una señal de CA, la salida se amplifique, pero no llegue ni a corte ni saturación y evitar la distorsión. Sin embargo, al posicionarlo en dicho punto centrado, existen factores que pueden moverlo de donde se fijó, uno de ellos es la

temperatura. Es por ello que se estudiaron diferentes polarizaciones y hacer menos vulnerable al diseño que se hace y dar más estabilidad a dicho punto estable (Q).

Las variaciones de temperatura afectan a los siguientes parámetros:

Ganancia en CD β : ésta se incrementa en función directa de la temperatura.

Voltaje VBE: Este voltaje se ve afectado con 2.5mV aprox por cada °C de temperatura.

Ico (Corriente de saturación inversa). Éste, duplica su valor por cada 10°C.

Los factores de estabilidad están en función del incremento que tiene IC con respecto a los parámetros de Ico, VBE y β . Estos se muestran a continuación:

$$S(Ico) = \frac{\Delta Ic}{\Delta Ico}; \quad S(VBE) = \frac{\Delta Ic}{\Delta VBE}; \quad S(\beta) = \frac{\Delta Ic}{\Delta \beta}$$

Cada una de las configuraciones vistas tiene una estabilidad determinada, siendo la fija la más sensible y menos estable; y mejorando las demás configuraciones. Cuando se realiza el análisis a diferentes temperaturas, entonces se puede obtener dicha estabilidad con las fórmulas mencionadas. Cuando se tiene un factor de estabilidad bajo, significa que es muy estable, es decir, que no le afecta tanto los cambios de temperatura a los parámetros de IC, VBE y β .

El tema de sensibilidad antes visto ayuda a comprender este concepto de Estabilidad y en qué configuraciones es más estable el punto Q seleccionado, así como los parámetros que influyen para mejorarlo, como es hacer lo más pequeño la relación RB/RE o RTh/RE .

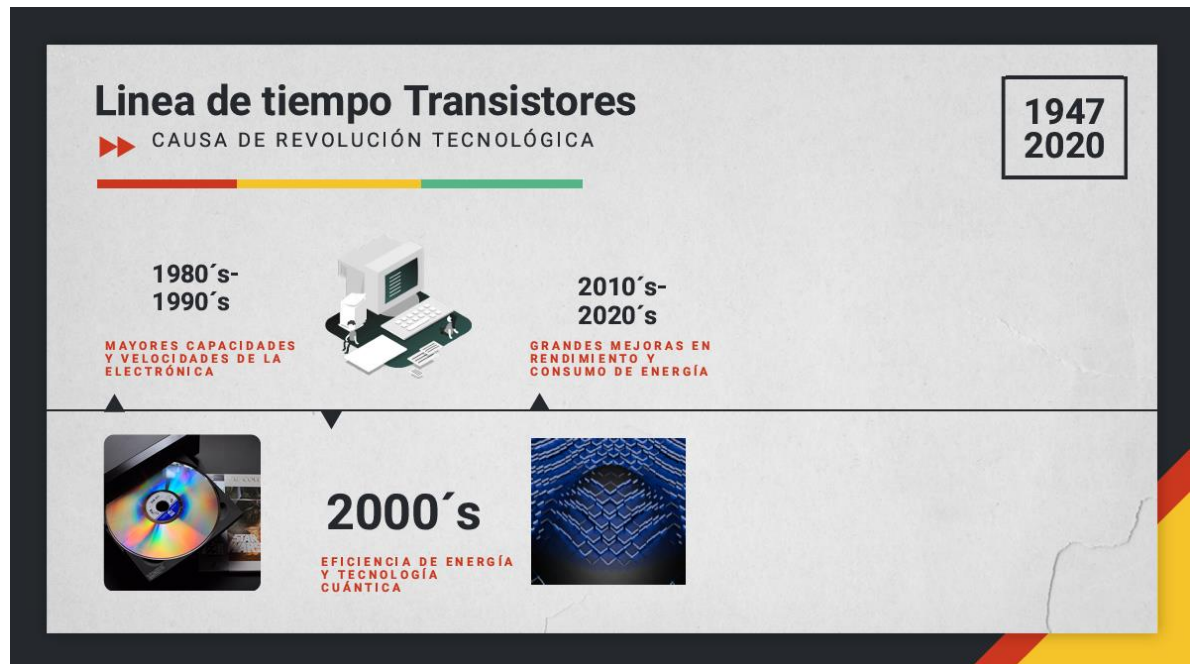
COMPLEMENTOS EDUCACIONALES DE LA UNIDAD 2

1.- Infografía. Línea de tiempo Transistores

Software utilizado. Genially

Objetivo: Introducir al estudiante en el estudio de los transistores, desde el avance tecnológico que se ha tenido desde su invención hasta estos días, es decir, que el estudiante lo conozca en la forma en que lo utiliza en dispositivos en la vida cotidiana hasta en altas tecnologías de la industria. Esto también ayuda a dar sentido a la importancia del estudio teórico y aplicaciones.





2.- Presentación. Sensibilidad de β

Software utilizado. Power Point

Sensibilidad a β

La ganancia β ha sido muy importante en el análisis de CD en las diferentes polarizaciones y configuraciones, debido a que la corriente de IC está en función de ésta, y un cambio en ella, puede mover el punto Q (estable) y con ello afectar a la amplificación.

$$I_C = \beta I_B$$



Forma de IB

El formato de las fórmulas obtenido en las diferentes configuraciones es muy parecido, sobre todo para las ecuaciones de IB.

$$IB = \frac{V'}{RB + \beta R'}$$

Donde V' es la diferencia de voltajes
y R' es el equivalente de cada configuración



Forma de IB

El formato de las fórmulas obtenido en las diferentes configuraciones es muy parecido, sobre todo para las ecuaciones de IB.

$$IB = \frac{V'}{RB + \beta R'}$$

Donde V' es la diferencia de voltajes
y R' es el equivalente de cada configuración



Polarización fija

$$I_B = \frac{V'}{R_B + \beta R'}$$

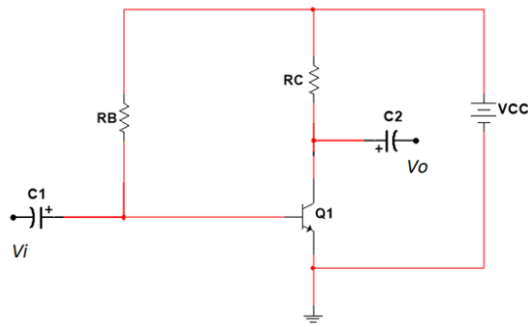
$$I_C = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'}$$

polarización fija → Sin R'

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B}$$

En la salida IC es dependiente de β



Polarización de emisor

$$I_B = \frac{V'}{R_B + \beta R'}$$

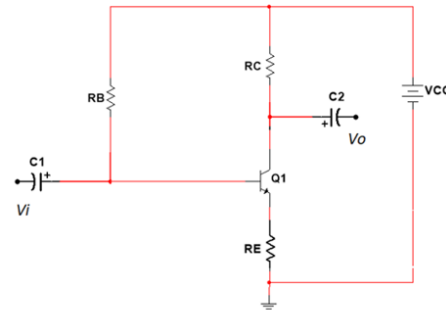
$$I_C = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'}$$

polarización R en Emisor $\rightarrow \beta = (\beta + 1)$ y $R' = R_E$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

$$I_C = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + (\beta + 1)R_E}$$

En la salida I_C , β es afectada en la entrada y salida. Por lo que es menos sensible que la polarización fija. Entre mayor sea el término $\beta(R_C + R_E)$ menor es la sensibilidad a β .



Polarización de realimentación de colector

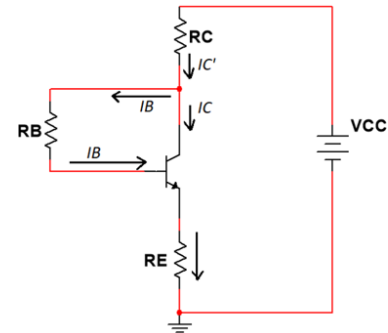
$$I_B = \frac{V'}{R_B + \beta R'}$$

$$I_C = \frac{\beta V'}{R_B + \beta R'}$$

polarización Realimentación de colector $\rightarrow R' = R_C + R_E$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$

$$I_B = \frac{\beta(V_{CC} - V_{BE})}{R_B + \beta(R_C + R_E)}$$



En la salida I_C , β es afectada en la entrada y salida. Por lo que es menos sensible que la polarización fija. Entre mayor sea el término $\beta(R_C + R_E)$ menor es la sensibilidad a β .

3.- Cuestionario

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce los subtemas vistos, de una manera que pueda dar respuesta a la construcción, funcionamiento y aplicaciones que el transistor BJT tiene, dando certeza al aprendizaje construido.

- 1.- ¿Qué es un transistor BJT?
- 2.- Mencione y defina brevemente las regiones de trabajo del transistor
- 3.- ¿En qué región debe trabajar el transistor como amplificador? y ¿por qué?
- 4.- ¿Mencione 3 configuraciones de emisor común?
- 5.- Defina sensibilidad en función de β de las diferentes configuraciones

4.- Ejercicios prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce las habilidades de solución de problemas, es este caso de los temas de diferentes configuraciones y regiones de trabajo en el análisis de corriente directa CD que retomará en materias posteriores como es “Diseño con Transistores”.

1.- Del siguiente circuito, obtener:

a) IBQ, ICQ y VCEQ

b) Duplicar la ganancia y obtener IBQ, ICQ y VCEQ

c) Obtener el porcentaje de variación de ICQ y VCEQ

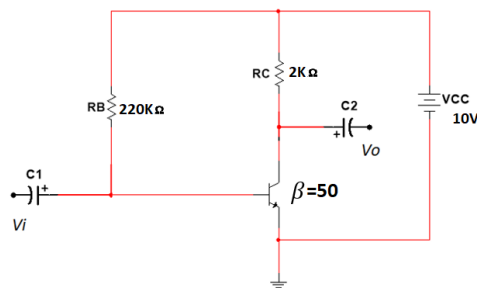


Figura 2.35 Circuito con BJT polarización fija

2.-Del siguiente circuito, obtener:

a) IBQ, ICQ y VCEQ

b) Duplicar la ganancia y obtener IBQ, ICQ y VCEQ

c) Obtener el porcentaje de variación de I_{CQ} y V_{CEQ}

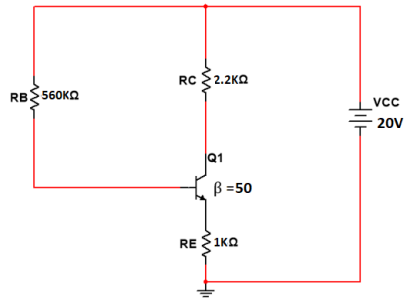


Figura 2.36 Circuito con BJT polarización Resistencia en Emisor

3.-Del siguiente circuito, obtener:

a) I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

b) Duplicar la ganancia y obtener I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

c) Obtener el porcentaje de variación de I_{CQ} y V_{CEQ}

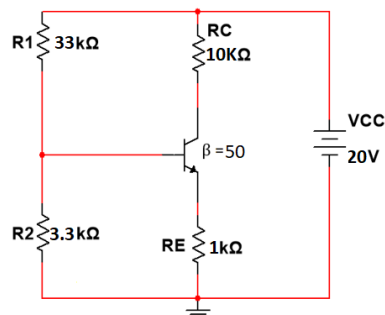


Figura 2.37 Circuito con BJT polarización divisor de voltaje

4.-Del siguiente circuito, obtener:

a) I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

b) Duplicar la ganancia y obtener I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

c) Obtener el porcentaje de variación de I_{CQ} y V_{CEQ}

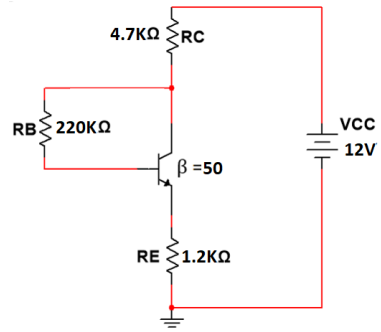


Figura 2.38 Circuito con BJT polarización Realimentación de colector

Solución en Anexo A

5.- Ejercicios/Casos prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: El estudiante investigará en internet, mediante videos, libros, publicaciones, etc. Lo necesario para poder identificar las terminales del transistor a través de un multímetro en la función de prueba de diodos. Esto es, saber en la práctica y físicamente dónde se encuentra cada terminal (Base, Colector y Emisor), qué tipo de transistor es (NPN o PNP) y si el transistor se encuentra en buen estado. Esto servirá para que en las prácticas siguientes con diferentes configuraciones, el estudiante sepa realizar las conexiones de manera correcta.

A manera de comprobar lo investigado, el estudiante realizará una pequeña práctica.

Material necesario:

1 Multímetro

3 Transistores (BC548, 2N2222 y BC558).

Desarrollo:

Con el conocimiento adquirido, identificar de manera práctica y con multímetro en función de diodos lo siguiente:

1.- Realice los dibujos de cómo conecta el multímetro al transistor y registre en la tabla los valores que obtuvo.

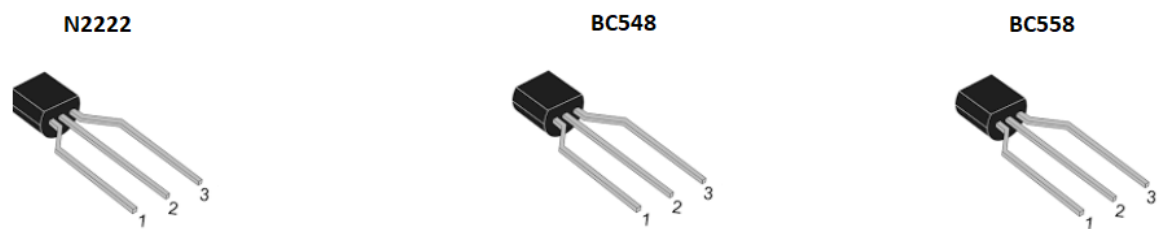


Figura 2.39 Circuito con BJT polarización Realimentación de colector

Transistor	Terminales			Tipo de transistor (NPN o PNP)	Estado del transistor (Bueno o malo)	Observaciones
	1	2	3			
2N2222						
BC548						
BC558						

Figura Tabla 2.1 Tabla de terminales en transistores

Explique cómo encontró la(s) terminal(es) de Base del Transistor NPN

Explique cómo encontró la(s) terminal(s) de Base del Transistor PNP

Conclusiones y Observaciones por el estudiante.

Tema 3. Transistor Unipolar. (FET, MOSFET)

Introducción.

JFET

Recordando el concepto del dispositivo JFET, es un componente unipolar que por sus siglas es Transistor de unión de efecto de campo (Junction Field Effect Transistor). En éste, se tienen características diferentes a las de un Transistor BJT, entre ellas son, en que la terminal de control no tiene un contacto directo con el canal de conducción, sino que lo hace a través de un campo eléctrico, esto es por el aislamiento que existe entre ellos, entonces a diferencia del BJT es que son controlados por voltaje y no por corriente. Éstos los hay en canal n y canal p y el nombre de sus terminales son Compuerta(G), fuente (S) y drenaje (D) lo que en el BJT son Base, emisor y colector. En la siguiente figura se muestra sus símbolos del JFET canal n y canal p.

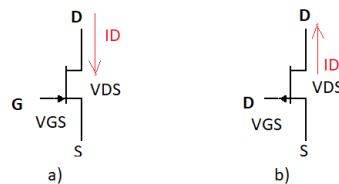


Figura 3.1 Símbolo de Transistor JFET a) Canal n b) Canal p

El JFET es un dispositivo que controla la corriente I_D a través de la terminal de control compuerta, sin embargo, no es lineal como la del BJT. La siguiente ecuación de Shockley representa el funcionamiento:

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

Funcionamiento JFET canal n:

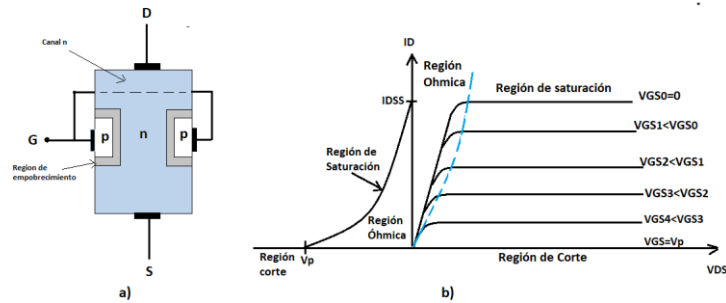


Figura 3.2 JFET a) Construcción b) Gráfica

En la figura mostrada, se observa que prácticamente al polarizar en inversa de compuerta-fuente V_{DS} se controla la corriente I_D , si se polariza en inversa la unión PN, se ensancha la región de empobrecimiento, reduciéndose el canal de corriente I_D . Entonces se generan los 3 siguientes rangos de trabajo:

Voltaje entre compuerta y drenaje $V_{DS} = 0V$

$I_D = \text{máxima corriente o corriente de saturación de drenaje a fuente } I_{DSS}$

Voltaje entre compuerta y drenaje $V_{DS} < 0V$

$0 < I_D < I_{DSS}$

Voltaje entre compuerta y drenaje $V_p \leq V_{DS} < 0V$

$I_D = 0$

También se observa que al aumentar el valor de VDS a un Voltaje VG constante, la corriente llega a ser constante o saturarse, a este valor de VG se le llama V_p y se representa mediante esta ecuación.

$$V_p = V_G - V_{GS(off)}$$

3.1 Configuraciones de Polarización.

3.1.1 Fija

Esta polarización es la más simple, pero la mas sensible a los parámetros del JFET como se ha visto anteriormente. El análisis que se realiza en la polarización en CD, por lo que los capacitores actúan como circuito abierto.

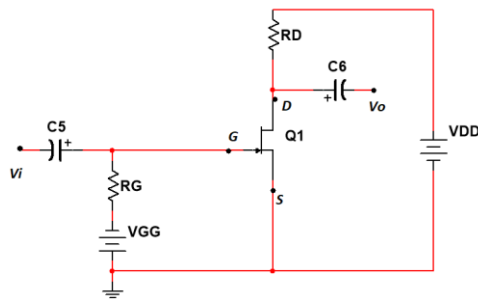


Figura 3.3 Polarización fija

Para el análisis se puede representar de la siguiente manera, como se muestra en la figura.

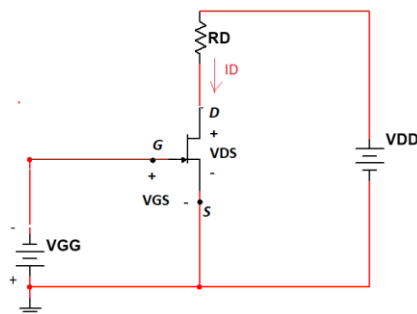


Figura 3.4 Circuito equivalente de Polarización fija

Como se había mencionado, se quitan los capacitores para el análisis de CD y además la resistencia R_G para facilitar la comprensión ya que es de valor muy grande y $I_G \cong 0$ entonces $V_{RG} = 0$ (corto circuito), pero necesaria en el análisis de CA.

Haciendo el análisis:

En la malla de entrada y aplicando la LVK:

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

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

Donde la ecuación de Shockley define I_D

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

Aplicando la LVK en la malla de salida, se tiene:

$$+V_{DS} + I_D R_D - V_{DD} = 0$$

Entonces: $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$

Los voltajes en terminales son:

$$V_S = 0$$

$$V_D = V_{DS}$$

$$V_G = V_{GS}$$

Método Gráfico.

Un análisis gráfico requeriría una gráfica de la ecuación de Shockley como se muestra. Si se seleccionara $V_{GS} = \frac{V_p}{2}$ se obtendrá una corriente de drenaje $I_D = \frac{I_{DSS}}{4}$,

cuando se grafique la ecuación. Para este análisis, los tres puntos definidos son por ID_{SS} , V_p y la intersección que acabamos de describir bastarán para trazar la curva

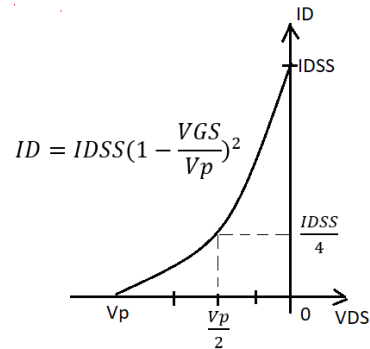


Figura 3.5 Curva de JFET

Una vez que se tiene la curva, entonces se tiene $V_{GSQ} = -V_{GG}$, y se traza una línea vertical hasta donde se intersecte con la curva de corriente, y ese es el valor de ID .

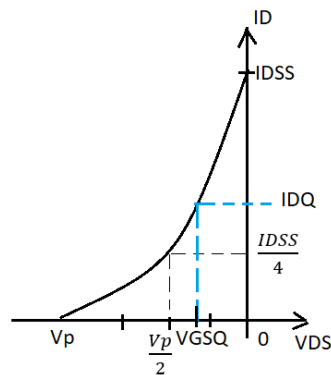


Figura 3.6 Curva de JFET método gráfico

Los demás parámetros son obtenidos a partir de V_{GS} e ID . Al ser un método gráfico, los parámetros encontrados tienen un cierto rango de error con respecto a los analíticos.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito obtener V_{GSQ} , I_{DQ} , V_{DS} , V_D , V_G y V_S con el método a) Analítico, b) Práctico y c) Simulación en Multisim

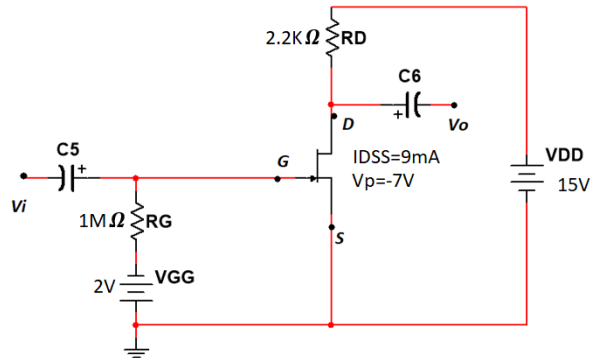


Figura 3.7 Circuito Polarización fija

Solución:

a)

$$V_{GS} = -V_{GG} = -2V$$

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2 = 9mA \left(1 - \frac{-2V}{-7V}\right)^2 = 4.59mA$$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D = 15V - (4.59mA)2.2K\Omega = 4.9V$$

$$V_S = 0$$

$$V_D = V_{DS} = 4.9V$$

$$V_G = V_{GS} = -2V$$

b) Se grafica con los valores conocidos, $IDSS$, V_p , $\frac{V_p}{2}$, $\frac{IDSS}{4}$ y se traza una línea vertical a $-V_{GS}$ y donde está la intersección con la curva, ese es el valor de ID , en este caso:

$-V_p = -7V$, $IDSS = 9mA$, $V_{DS} = -V_{GG} = -2V$, y el valor obtenido es $ID = 4.5mA$.

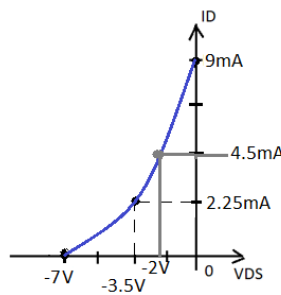


Figura 3.8 Método Gráfico

Una vez obtenido ID se continúa con los valores solicitados:

$$V_{DS} = V_{DD} - ID \cdot R_D = 15V - (4.5mA)2.2K\Omega = 5.1V$$

$$V_S = 0$$

$$V_D = V_{DS} = 5.1V$$

$$V_G = V_{GS} = -2V$$

Se puede observar que los valores con los dos métodos son muy cercanos.

Simulación en Multisim:

Para la simulación se requiere cambiar los datos de voltaje V_p y Transconductancia en el dispositivo JFET, en “*Edit model*”.

$$V_p = V_{TO} = -7V$$

$$BETA = \frac{IDSS}{V_p^2} = \frac{9mA}{(-7)^2} = 000184 \frac{A}{V^2}$$

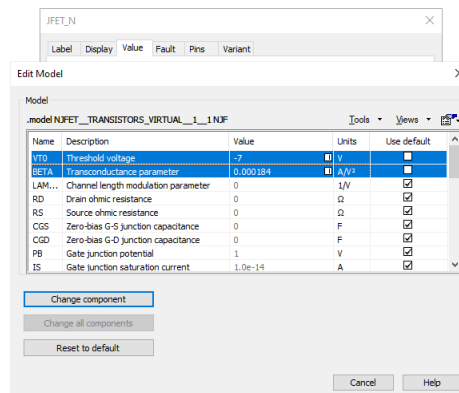


Figura 3.9 Configuración de parámetros en JFET

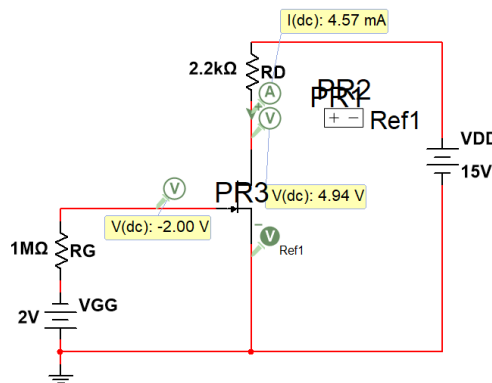


Figura 3.10 Simulación en Multisim Polarización Fija

3.1.2 Autopolarización

Esta es otra configuración que elimina la necesidad de utilizar la fuente de compuerta, y agrega una resistencia en la terminal fuente para que pueda haber y controlar el voltaje de control V_{GS} , esta polarización se muestra en la siguiente figura.

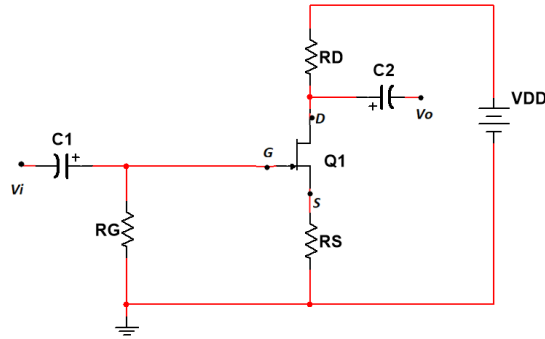


Figura 3.11 Autopolarización

Para el análisis de CD se requiere primeramente considerar, como ya se ha dicho antes, los capacitores como circuito abierto. Además, para facilitar el análisis se quita la resistencia de compuerta R_G , ya que la corriente es aproximadamente 0A y entonces la caída de tensión también es 0V (corto circuito). En seguida se muestra el circuito equivalente.

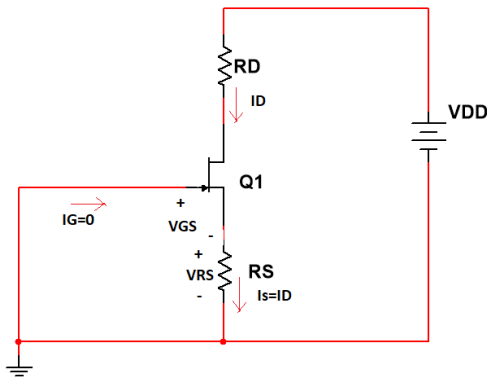


Figura 3.12 Circuito equivalente de Autopolarización

En seguida hacer la LVK en la malla de entrada y se tiene:

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

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

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

En la ecuación anterior, se tiene VGS en función de la corriente de salida ID y no un valor fijo como se tenía en la configuración de polarización fija. ésta la define la configuración de la red y por lo tanto no podemos solo sustituir en la ecuación de Shockley.

Al tener dos ecuaciones que relacionan a la variable ID, entonces se puede resolver de una manera gráfica.

Método Gráfico.

Esta forma de resolverlo, requiere que primero se establezcan las características de transferencia del dispositivo, es decir, su curva. Después, se define una línea recta en la gráfica con los elementos de la red de CD, identificando dos puntos en el eje de ID. Se traza una línea recta entre dichos puntos, y donde se intersectan es la corriente IDQ; el primer punto es cuando se hace $ID=0$; y si se sustituye en $VGS = -IDRS = 0$, entonces $VGS=0$. El siguiente punto es de un valor de ID y despejar VGS, en este caso puede ser por ejemplo $ID = \frac{IDSS}{2}$, donde se tendría $VGS = -\frac{IDSS}{2} \cdot RS$. En la siguiente figura se muestra el método.

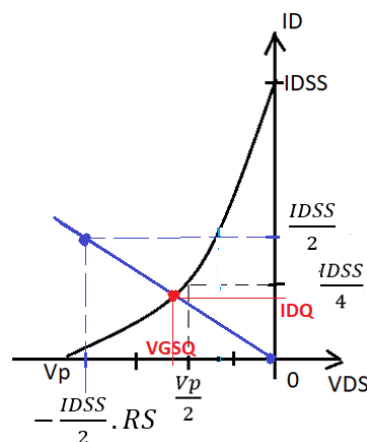


Figura 3.13 Gráfica para solución de Autopolarización

Después, ya con I_D se obtienen los demás datos solicitados. Para esta configuración se tiene:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D)$$

$$V_S = I_D \cdot R_S$$

$$V_G = 0$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = V_{DD} - V_{RD}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, y por el método gráfico, obtener V_{GSQ} , I_{DQ} , V_{DS} , V_D , V_G y V_S . A manera de comprobación simular en Multisim.

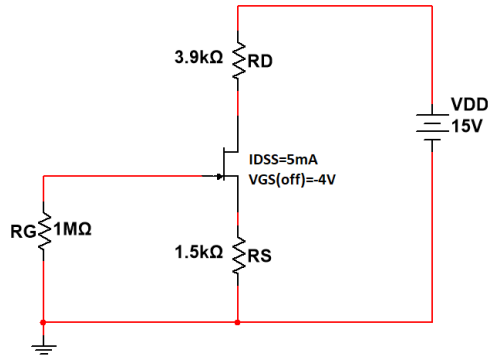


Figura 3.14 Circuito Autopolarización

Solución.

Primeramente, se grafica la curva con las características del dispositivo, es decir con

$$I_{DSS} = 5mA, V_{GS(off)} = V_p = -4V, \text{ en el punto de } \frac{V_P}{2} = \frac{-4V}{2} = -2V \text{ hay } \frac{I_{DSS}}{4} =$$

$$\frac{5mA}{4} = 1.25mA$$

Ahora, sobreponer la recta en:

con $V_{GS} = -I_{D}R_S = 0$,

Punto1: en $I_D = 0$, $V_{GS} = 0$

Punto 2: en lo $I_D = \frac{I_{DSS}}{2} = \frac{5mA}{2} = 2.5mA$, $V_{GS} = -I_D.R_S = -2.5mA(1.5K\Omega) = -3.75V$

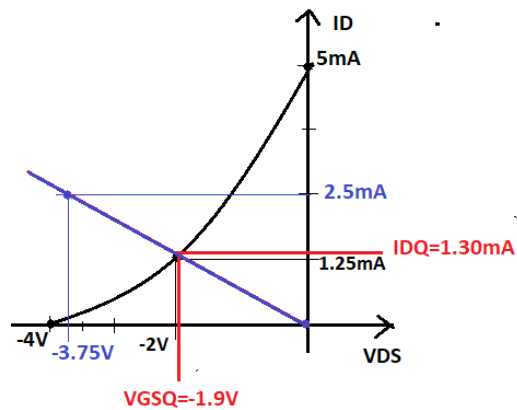


Figura 3.15 Método gráfico

Como se puede observar, la intersección se da en $I_{DQ} \cong 1.3mA$ y $V_{GSQ} \cong -1.9V$

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) = 15V - 1.3mA(1.5K\Omega + 3.9K\Omega) = 7.98V$$

$$V_S = I_D.R_S = 1.3mA(1.5K\Omega) = 1.95V$$

$$V_G = 0$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = 7.98V + 1.95V = 9.93V$$

Simulación en Multisim.

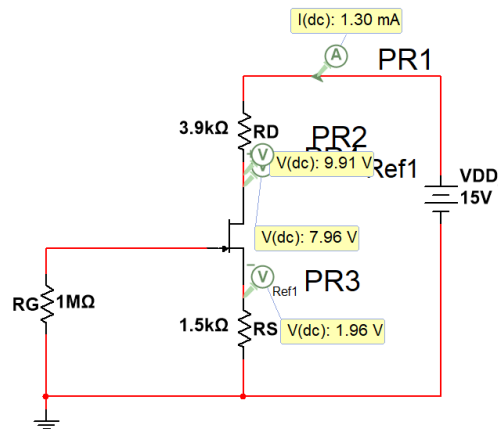


Figura 3.16 Simulación en Multisim

3.1.2.1 Utilizando la curva de polarización Universal.

Anteriormente, se utilizó el método gráfico para resolver el ejercicio de Autopolarización, pero existe una gráfica normalizada que facilita dicho método, ya que no se requiere hacer la curva para cada dispositivo con características propias, sino que se utiliza una gráfica universal normalizada. En esta, se puede utilizar cualquier valor de I_{DSS} y V_p .

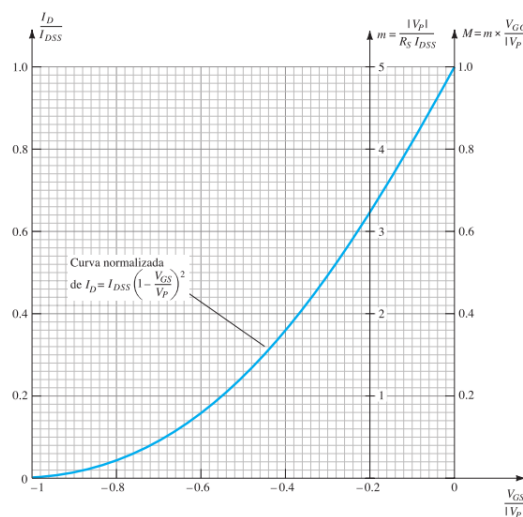


Figura 3.17 Gráfica universal

Como se puede observar, el eje horizontal está normalizado a 1 con la relación $\frac{V_{GS}}{V_p}$, así como el eje vertical con $\frac{I_D}{I_{DSS}}$. La escala **m** se utiliza para resolver la configuración de autopolarización y se encuentra con los parámetros externos e internos del dispositivo, que son: V_p , R_S y I_{DSS} . Una vez encontrado **m**, entonces se traza una línea desde el origen hasta el punto encontrado, pasando o intersectándose con la curva del dispositivo, Ahora, en esa intersección se traza una línea en horizontal y otra en vertical hasta encontrar los valores de la relación normalizada y finalizando con el despeje para encontrar I_D y V_{GS} . Ya con estos parámetros se puede encontrar los valores de voltaje entre terminales del dispositivo (V_{DS} , V_D , V_S , etc.).

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, y por el método gráfico universal, obtener V_{GSQ} , I_{DQ} , V_{DS} , V_D , V_G y V_S .

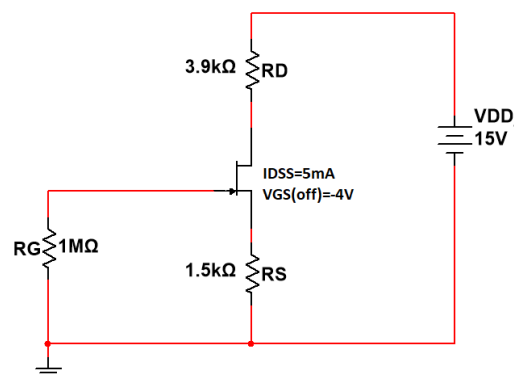


Figura 3.18 Circuito Autopolarización

Solución:

Primeramente se obtiene m ,

$$m = \frac{|V_p|}{R_S \cdot I_{DSS}} = \frac{|4V|}{1.5k\Omega(5mA)} = 0.53$$

Entonces ahora se coloca el punto y traza la curva como se muestra en la siguiente

figura:

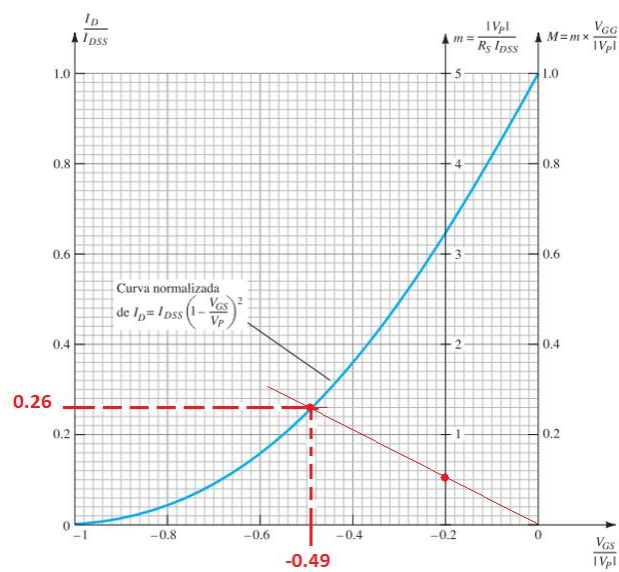


Figura 3.19 Curva de autopolarización universal.

Los valores son despejados de las relaciones normalizadas: entonces:

$$I_{DQ} = 0.26(I_{DSS}) = 0.26(5mA) = 1.3mA$$

$$V_{GSQ} = -0.49(|V_p|) = -0.49(4V) = -1.96V$$

Ahora, con I_{DQ} y V_{GSQ} se obtienen los parámetros V_{DS} , V_D , V_G y V_S .

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D) = 15V - 1.3mA(1.5K\Omega + 3.9K\Omega) = 7.98V$$

$$V_S = I_D \cdot R_S = 1.3mA(1.5K\Omega) = 1.95V$$

$$V_G = 0$$

$$V_D = V_{DS} + V_S = 7.98V + 1.95V = 9.93V$$

Como se puede observar, los valores son muy prácticamente los mismos a los obtenidos con el método gráfico anterior.

3.2 Polarización por divisor de voltaje.

3.2.1 Utilizando la curva de polarización universal

Para la polarización de divisor de voltaje también se puede resolver a través de la curva de polarización universal, facilitando su solución.

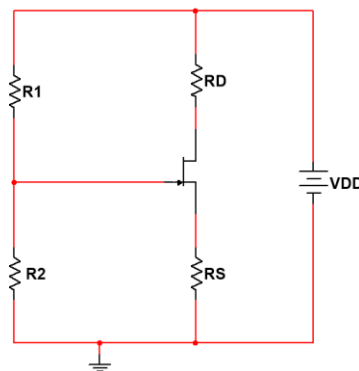


Figura 3.20 Circuito polarización por Divisor de voltaje

Para este caso se utiliza también la escala ***M***, ésta es el nivel del cuál comienza el desplazamiento de ***m***, una vez trazando la línea de los puntos de ***M*** y ***m***, resulta la intersección con la curva del dispositivo, entonces, al igual que la polarización anterior, en dicho punto se traza una línea horizontal y vertical de los cuales los resultados se despejan de la relación $\frac{V_{GS}}{V_p}$ y $\frac{I_D}{I_{DSS}}$. Obteniendo así I_D y V_{GS} del punto de operación en CD.

En esta configuración se tiene:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S)$$

$$V_D = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

$$V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$V_S = I_D \cdot R_S$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, y por el método gráfico universal, obtener V_{GSQ} , I_{DQ} , V_{DS} , V_D , V_G y V_S . A manera de comprobación simular en Multisim.

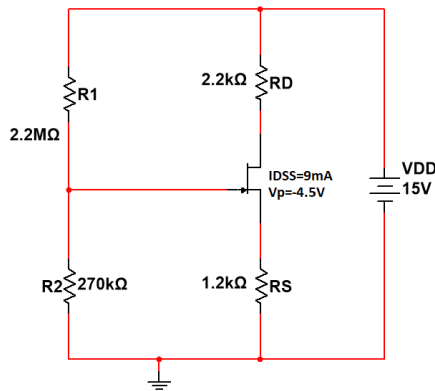


Figura 3.21 Circuito ejercicio de polarización por Divisor de voltaje

Solución:

Primeramente se obtiene **M** y **m**.

$$m = \frac{|V_p|}{R_S \cdot I_{DSS}} = \frac{4.5V}{1.2k\Omega(9mA)} = 0.417$$

Para obtener **M** se requiere el voltaje de compuerta V_G o V_{GG} . Siendo el voltaje en

R2:

$$V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{15V(270K\Omega)}{2.2M\Omega + 270k\Omega} = 1.64V$$

$$M = m * \frac{V_G}{|V_p|} = 0.417 \cdot \frac{(1.64)}{4.5V} = 0.15$$

Se colocan los puntos de M y a partir de allí se desplaza el valor de m, entonces se traza una línea cortando o intersectando en la curva del dispositivo. De ese punto se traza líneas en horizontal y vertical, encontrando los valores de la relación $\frac{V_{GS}}{V_p}$ y $\frac{I_D}{I_{DSS}}$, en la siguiente figura se muestra:

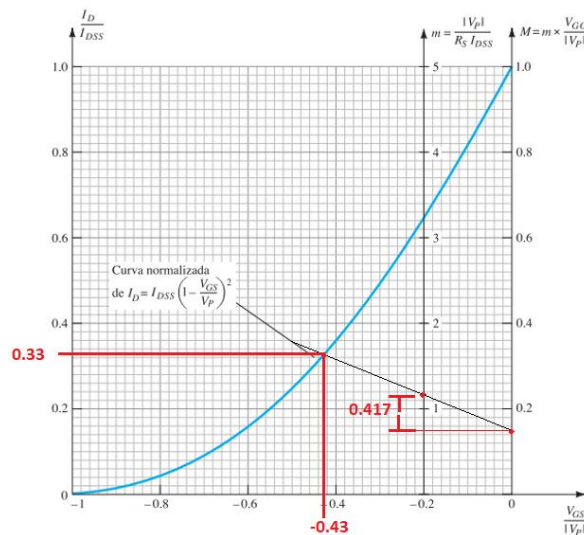


Figura 3.22 Curva de ejercicio de polarización por Divisor de voltaje

Los valores son despejados de las relaciones normalizadas: entonces:

$$I_{DQ} = 0.33(I_{DSS}) = 0.33(9mA) = 3mA$$

$$V_{GSQ} = -0.43(|V_p|) = -0.49(4.5V) = 2.2V$$

Ahora se obtiene V_{DS} , V_D , V_G y V_S .

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_D + R_S) = 15V - 3mA(2.2k\Omega + 1.2k) = 4.8V$$

$$VD = VDD - ID \cdot RD = 15V - 3mA(2.2K\Omega) = 8.4V$$

$$VG = \frac{VDD \cdot R2}{R1 + R2} = 1.64V$$

$$VS = ID \cdot RS = 3mA(1.2k\Omega) = 3.6V$$

Simulación en Multisim

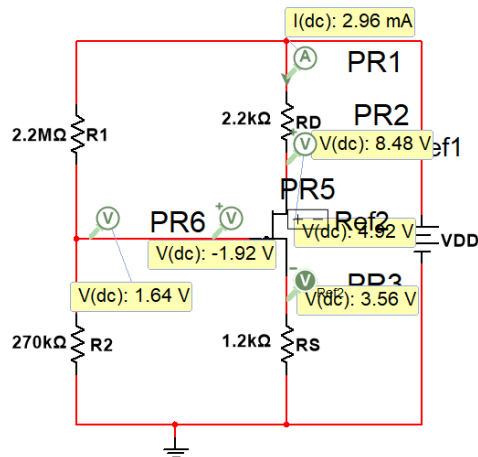


Figura 3.23 Circuito simulado en Multisim

3.3 Configuración en compuerta y drenador común.

Compuerta común

Esta configuración tiene la compuerta a tierra, y es común a las señales de entrada y salida. La siguiente figura muestra dicho circuito.

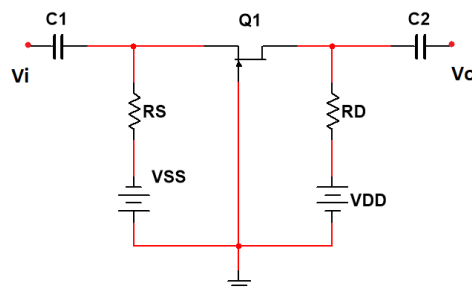


Figura 3.24 Circuito Compuerta común

Análisis:

Se comienza contemplando solo el análisis en CD, entonces como se ha visto antes, los capacitores se encuentran en circuito abierto, quitándose del análisis.

Haciendo LVK en la malla de entrada:

$$-V_{GS} - I_S \cdot R_S + V_{SS} = 0$$

$$V_{GS} = V_{SS} - I_S \cdot R_S$$

Se puede decir que $I_S = I_D$, entonces:

$$V_{GS} = V_{SS} - I_{D} R_S$$

Aplicando LVK en la malla de salida:

$$+V_{DD} - I_D \cdot R_D - V_{DS} - I_S \cdot R_S + V_{SS} = 0$$

$$+V_{DD} + V_{SS} - V_{DS} - I_D(R_D + R_S) = 0$$

Entonces: $V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D(R_D + R_S)$

Voltajes en terminales:

$$V_D = V_{DD} - I_{D} R_D$$

$$V_S = -V_{SS} + I_{D} R_S$$

Método Gráfico

Como en la configuración anterior, con los parámetros del dispositivo se grafica su curva.

Ahora se marcan dos puntos.

De la ecuación $V_{GS} = V_{SS} - I_{D} R_S$

P1: Cuando $ID=0$; entonces $V_{GS} = V_{SS}$

P2: Cuando $V_{GS}=0$, entonces $ID = \frac{V_{SS}}{R_S}$

Se traza una línea en estos puntos, donde se intersece con la curva del dispositivo, entonces, se trazan una línea vertical y otra horizontal, encontrándose los valores de ID_Q y V_{GSQ} de manera gráfica.

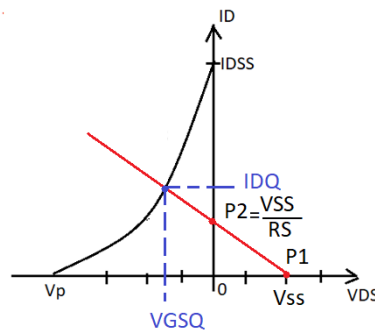


Figura 3.25 Método gráfico de Compuerta común

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Del siguiente circuito, y por el método gráfico, obtener V_{GSQ} , ID_Q , V_{DS} , V_D , V_G y V_S . A manera de comprobación simular en Multisim.

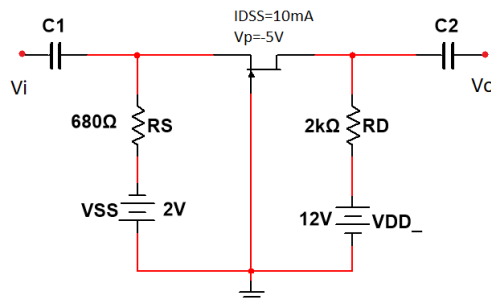


Figura 3.26 Circuito de ejemplo de compuerta común

Se traza la función del dispositivo.

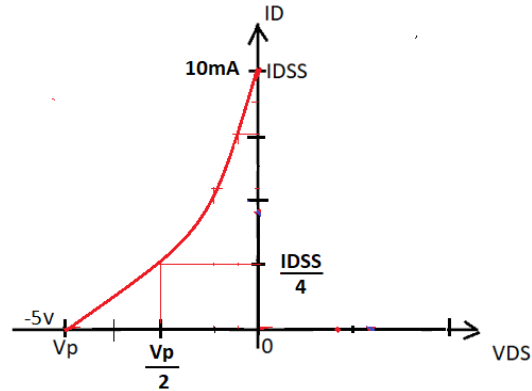


Figura 3.27 función del dispositivo

En seguida se obtienen los dos puntos para trazar la línea

P1:

$$VGS = VSS = 2V$$

P2:

$$ID = \frac{VSS}{RS} = \frac{2V}{680\Omega} = 2.9mA$$

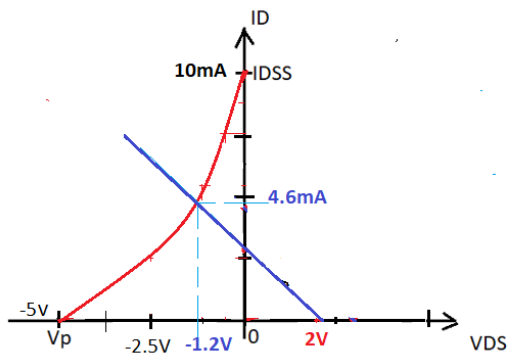


Figura 3.28 Solución Gráfica

De la gráfica se obtienen los valores aproximados de $IDQ = 4.6mA$ y $VGSQ = -1.2V$

$$V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D(R_D + R_S) = 12V + 2V - 4.6mA(2k\Omega + 680\Omega) = 1.67V$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D = 12V - 4.6mA(2k\Omega) = 2.8V$$

$$V_S = -V_{SS} + I_D R_S = -2V + 4.6mA(680\Omega) = 1.12V$$

Simulación en Multisim

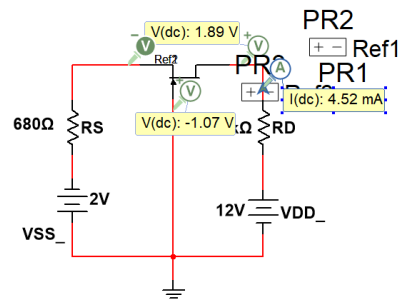


Figura 3.29 Simulación en Multisim

En la simulación mostrada, se puede observar que los resultados son muy proximados a los que se obtuvieron en la forma gráfica.

3.4 Polarización de MOSFET.

Introducción.

MOSFET TIPO EMPOBRECIMIENTO.

El MOSFET de empobrecimiento de canal n , básicamente está formado por una placa de material tipo p a partir de una base de silicio (*sustrato*). La fuente y el drenaje

están conectados con contactos metálicos a la región a través de un canal n ya formado, como se observa en la figura.

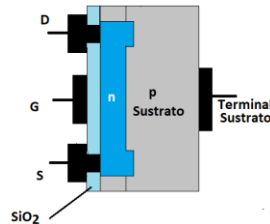


Figura 3.34 Construcción de MOSFET empobrecimiento

La compuerta está conectada a una superficie de contacto metálica, aunque está aislada del canal n por una capa de bióxido de silicio (SiO_2) muy delgada. El SiO_2 es un aislante o *dieléctrico*, el cual establece campos eléctricos dentro del dieléctrico cuando se expone a un campo externo.

Al igual que el JFET, éste depende del voltaje de polarización negativa establecida por V_{GS} , establece un nivel de recombinación entre los electrones y huecos que hace que se reduzca el número de electrones libres en el canal n disponibles para conducción y por lo tanto se va reduciendo la corriente de drenaje. En la siguiente figura se muestra su curva característica.

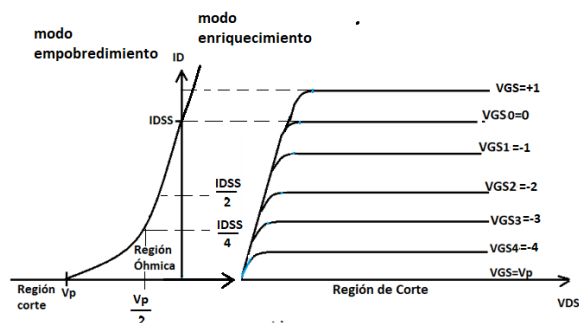


Figura 3.35 función de transferencia de MOSFET empobrecimiento

En la figura anterior se observa que en el modo de empobrecimiento su función es como la del JFET y por lo tanto también está determinado por la ecuación de Shockley vista anteriormente y sus análisis de polarizaciones son prácticamente las misma.

MOSFET TIPO ENRIQUECIMIENTO.

El MOSFET de enriquecimiento tiene características diferentes a las del JFET y MOSFET de empobrecimiento, ya que las curva no está definida por la ecuación de Shockley. En este caso la corriente de drenaje está en corte mientras el voltaje de compuerta sea 0V o supere un voltaje de umbral específica (V_T). En el MOSFET canal n la corriente de drenaje es controlada por el voltaje positivo aplicado a la compuerta.

Su construcción es parecida a la del empobrecimiento, es decir, cuenta con sus terminales con contactos metálicos, la compuerta aislada a través de la capa de SiO_2 , pero en éste, no se tiene un canal entre drenaje y fuente.

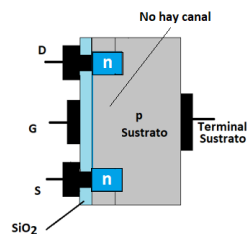


Figura 3.36 Construcción de MOSFET enriquecimiento

Si se aplica un voltaje positivo a V_{GS} y V_{DS} mayor a 0V con respecto a la terminal fuente, entonces se comienza a formar un canal entre drenaje y fuente, cuanto mayor sea

ese voltaje la densidad de electrones del canal inducido se aumentarán y mayor será la corriente de drenaje que puede fluir.

En la siguiente figura se muestra este efecto y cómo es el resultado de esa región de empobrecimiento cerca del dieléctrico libre de huecos, sin embargo, los electrones son atraídos por la compuerta y son acumulados formando el canal.

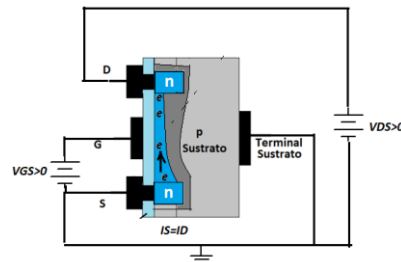


Figura 3.37 MOSFET con voltaje positivo aplicado en VGS y VDS

En la siguiente figura se puede observar que, si se aplica a la compuerta VGS un voltaje positivo mayor al umbral VP, aumenta la corriente ID, sin embargo, si se mantiene VGS constante y se aumenta VDS, la corriente de drenaje alcanzará un nivel de saturación como pasa con el JFET y el MOSFET tipo empobrecimiento. La regulación de ID se debe a un proceso de estrangulamiento por el canal más angosto en el extremo de drenaje del canal inducido.

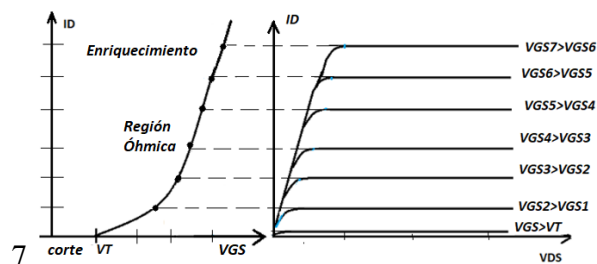


Figura 3.38 función de transferencia de MOSFET empobrecimiento

La función que describe ahora el funcionamiento para el MOSFET de enriquecimiento para valores de $V_{GS} > V_T$ es:

$$I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$$

Donde:

$k = \text{constante de construcción del dispositivo}$

$$K = \frac{I_D(on)}{(V_{GS(on)} - V_T)^2}$$

Para valores menores a V_T , la corriente de drenaje es 0A.

La saturación se produce cuando el valor de voltaje V_{DS} es:

$$V_{DS(sat)} = V_{GS} - V_T$$

Configuración de polarización por realimentación

Esta configuración de polarización es común para los MOSFET de enriquecimiento, donde se observa que la compuerta es realimentada por el drenaje con una resistencia muy grande.

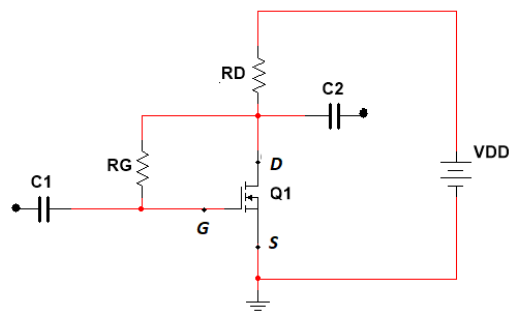


Figura 3.39 Circuito de polarización por realimentación

Análisis:

Al ser un análisis de CD, entonces se quitan los capacitores, y al tener una corriente muy pequeña de compuerta, se puede plantear de la siguiente manera.

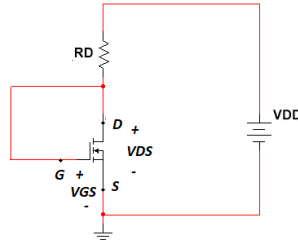


Figura 3.40 Circuito equivalente por realimentación

Se tiene una conexión directa entre drenaje y compuerta, por lo que:

$$V_D = V_{DS}, \quad \text{entonces } V_{GS} = V_{DS}$$

Aplicando la LVK en la malla de salida se tiene:

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

$$V_{GS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$$

Método gráfico

Partiendo de la función específica obtenida de $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$

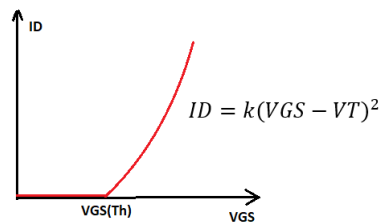


Figura 3.41 curva del dispositivo

Entonces de la ecuación $V_{GS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$ donde se consideran los componentes externos, se obtienen dos puntos:

P1: Con $ID=0$

$$V_{GS} = V_{DD}$$

P2: Con $V_{GS}=0$

$$ID = \frac{V_{DD}}{R_D}$$

Se traza la recta entre esos dos puntos y donde se intersecte, se realiza una línea horizontal y otra vertical, donde ID_Q y V_{GSQ} son encontrados de manera gráfica.

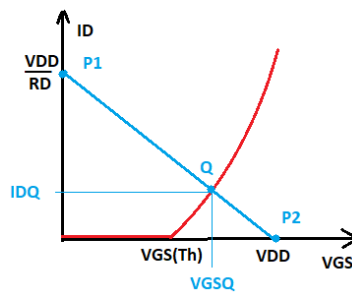


Figura 3.42 Solución método gráfico

Una vez obtenido ID_Q y V_{GSQ} , se pueden obtener los voltajes en terminales.

$$V_S = 0V$$

$$V_D = V_{GS}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Para el siguiente circuito obtener ID_Q y V_{GSQ} . A manera de comprobación simular en Multisim.

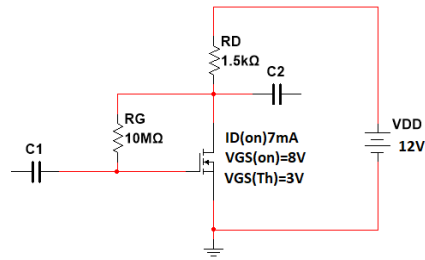


Figura 3.43 Circuito de polarización realimentación

Solución:

Se grafica la función del dispositivo

P1: $ID = 0$; $VGS = VGS(Th) = 3V$

Se Seleccionan algunos puntos en VGS para tener mejor resolución de la gráfica, en este caso dos, en $VGS = 5V$ y $VGS = 6V$.

$$K = \frac{ID(on)}{(VGS(on) - VT)^2} = \frac{7mA}{(8V - 3V)^2} = 0.00028$$

P2: Para $VGS = 5V$;

$$ID = k(VGS - VT)^2 = 0.00028(5V - 3V)^2 = 1.12mA$$

P3: Para $VGS = 6V$;

$$ID = k(VGS - VT)^2 = 0.00028(6V - 3V)^2 = 2.54mA$$

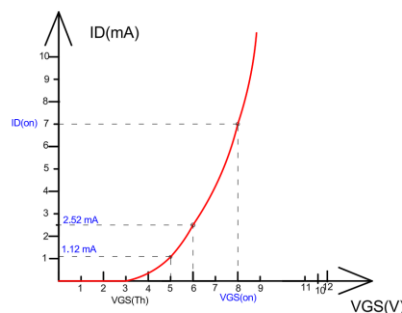


Figura 3.44 curva de dispositivo

Ahora, Se obtienen los dos puntos para la recta definida por los elementos externos, de la ecuación $V_{GS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$

P1: Para $I_D = 0$; $V_{GS} = V_{DD} = 12V$

P2: Para $V_{GS} = 0$; $I_D = \frac{V_{DD}}{R_D} = \frac{12V}{1.5K\Omega} = 8mA$

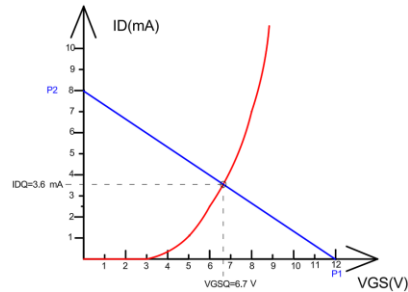


Figura 3.45 Solución gráfica polarización realimentación

Gráficamente se obtiene $I_{DQ} = 3.6 \text{ mA}$ y $V_{GSQ} = 6.7 \text{ V}$

Simulación en multisim

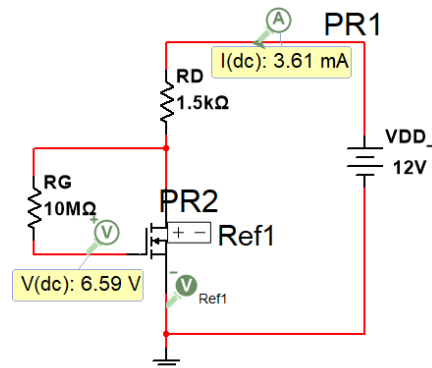


Figura 3.46 Simulación en multisim

Configuración de polarización por divisor de voltaje

Esta polarización de divisor de tensión es muy popular para el MOSFET de enriquecimiento, éste se muestra en la siguiente figura.

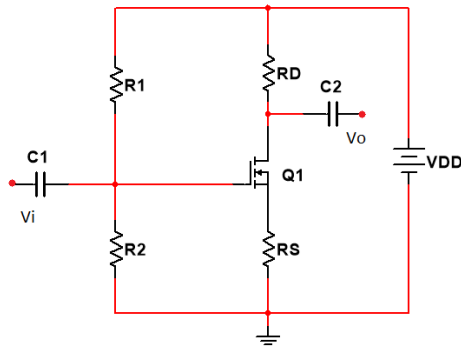


Figura 3.47 Configuración de polarización por Divisor de voltaje

Análisis: Primeramente, para el análisis de CD se quitan los capacitores, y se puede observar también que la corriente de la compuerta es muy pequeña, $\text{aprox}=0$; por lo que entonces el voltaje VGS es:

$$V_{GS} = V_{R2} = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Aplicando la LVK en la entrada

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

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

$$V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$$

Aplicando LVK en la salida

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

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

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D(R_S + R_D)$$

Voltajes en terminales

$$V_D = V_{DS} + I_D \cdot R_S$$

$$V_{RS} = I_D \cdot R_S$$

Método Gráfico

Partiendo de la función específica obtenida de $I_D = k(V_{GS} - V_T)^2$

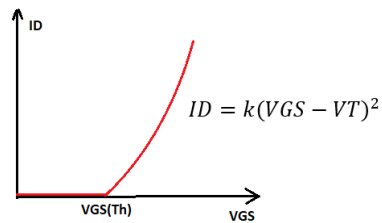


Figura 3.48 curva del dispositivo

Entonces de la ecuación $V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$, donde se consideran los componentes externos en polarización por divisor de tensión, se obtienen dos puntos:

P1: Con $I_D=0$

$$V_{GS} = V_G$$

P2: Con $V_{GS}=0$

$$I_D = \frac{V_G}{R_S}$$

Se traza la recta entre esos dos puntos y donde se intersecte, se realiza una línea horizontal y otra vertical, donde I_{DQ} y V_{GSQ} son encontrados de manera gráfica.

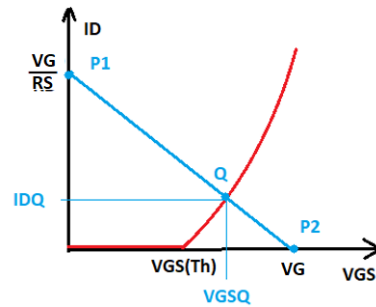


Figura 3.49 Solución método gráfico

Una vez obtenido IDQ y $VGSQ$, se pueden obtener los voltajes en terminales.

$$VS = ID \cdot RS$$

$$VD = VDS + ID \cdot RS$$

$$VDS = VDD - ID(RD + RS)$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Para el siguiente circuito obtener IDQ y $VGSQ$. A manera de comprobación simular en Multisim.

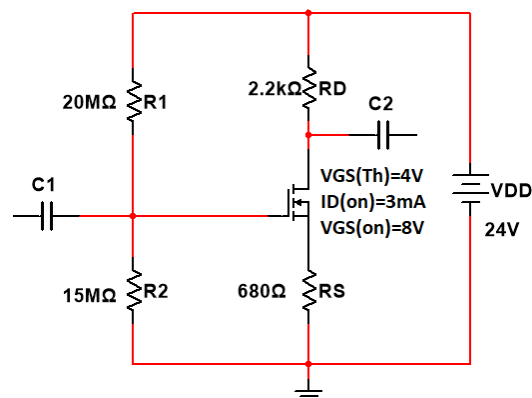


Figura 3.50 Circuito de ejemplo divisor de tensión

Solución:

Se grafica la función del dispositivo

P1: $ID = 0$; $VGS = VGS(Th) = 4V$

Se Seleccionan algunos puntos en VGS para tener mejor resolución de la gráfica, en este caso dos, en $VGS = 6V$ y $VGS = 10V$.

$$K = \frac{ID(on)}{(VGS(on) - VT)^2} = \frac{3mA}{(8V - 4V)^2} = 0.0001875$$

P2: Para $VGS = 6V$;

$$ID = k(VGS - VT)^2 = 0.0001875(6V - 4V)^2 = 0.75mA$$

P3: Para $VGS = 10V$;

$$ID = k(VGS - VT)^2 = 0.0001875(10V - 4V)^2 = 6.75mA$$

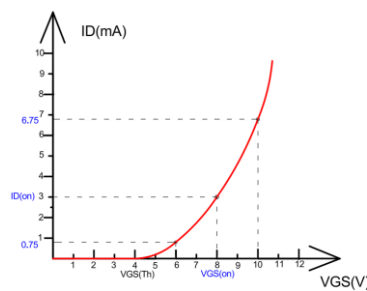


Figura 3.51 curva de dispositivo

Ahora, Se obtienen los dos puntos para la recta definida por los elementos externos, de la ecuación $VGS = VG - ID \cdot RS$

$$V_{GS} = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{24V \cdot 15M\Omega}{20M\Omega + 15M\Omega} = 10.28V$$

P1: Para $ID = 0$; $V_{GS} = V_G = 10.28V$

P2: Para $V_{GS} = 0$; $ID = \frac{V_G}{R_S} = \frac{10.28V}{680\Omega} = 15.12mA$

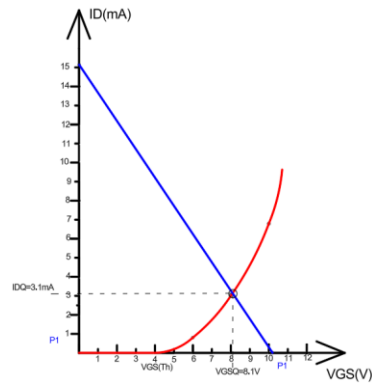


Figura 3.52 Solución método gráfico

Gráficamente se obtiene $IDQ = 3.1mA$ y $V_{GSQ} = 8.1V$

$$V_{DS} = V_{DD} - ID(R_D + R_S) = 24V - 3.1mA(2.2K\Omega + 680\Omega) = 15V$$

$$V_S = ID \cdot R_S = 3.1mA(680\Omega) = 2.1V$$

Simulación en multisim

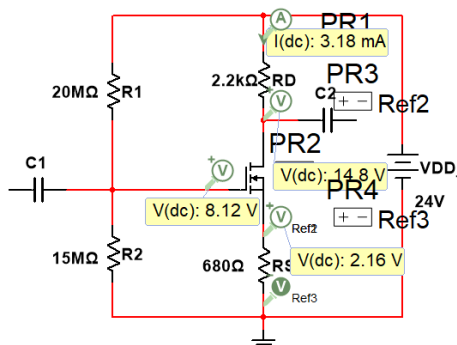


Figura 3.53 Simulación en Multisim

3.5 Redes combinadas.

Este subtema trata de circuitos donde se combinan transistores de unión bipolar BJT con transistores de efecto de campo JFET. Para ello es necesario utilizar las leyes de circuitos, así como el soporte de los subtemas vistos anteriormente, ya que son aplicables en su mayoría para la determinación de algunos parámetros.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

En la siguiente figura se muestra un circuito como ejemplo, en el que se solicita determinar VD y VC. A manera de comprobación simular en Multisim.

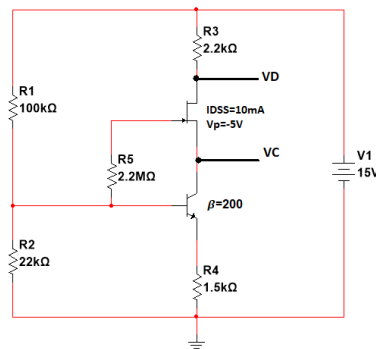


Figura 3.54 Simulación en multisim

Particularmente en este circuito, se puede comenzar con el cálculo de VB, debido a que por divisor de tensión se puede obtener, solo si, $\beta R_E > 10R_2$;

entonces $200(1.5k\Omega) > 10(22K\Omega)$; $300K\Omega > 220K\Omega$. Si cumple

$$V_G = V_{R2} = \frac{15V(22k\Omega)}{100k\Omega + 22k\Omega} = 2.7V$$

Se puede obtener VE y posterior IE

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

$$V_E = 2.7V - 0.7V = 2V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{2V}{1.5k\Omega} = 1.33mA$$

$$I_E \cong I_C \cong I_D$$

Debido a esto, se calcula V_D

$$V_D = V_{CC} - I_D \cdot R_D = 15V - 1.33mA(2.2K\Omega) = 12.1V$$

Para obtener V_C , ya no es tan directo el procedimiento, para ello es necesario obtener V_{GS} en el JFET, éste se obtendrá por el medio gráfico y, partiendo que se tiene I_D .

Se grafica la función del JFET con $I_D = I_{DSS}(1 - \frac{V_{GS}}{V_p})^2$.

$$P1: V_{GS} = 0 \quad I_D = I_{DSS} = 10mA$$

$$P2: V_{GS} = \frac{V_p}{2} = \frac{-5V}{2} = -2.5V; \quad I_D = \frac{I_{DSS}}{4} = \frac{10mA}{4} = 2.5mA$$

$$P3: V_{GS} = \text{Para } V_{GS} = -3.5V; \quad I_D = 10mA \left(1 - \frac{(-3.5V)}{-5V}\right)^2 = 10mA(1 - 0.7)^2 \\ = 0.9mA$$

$$P4: V_{GS} = \text{Para } V_{GS} = -1.5V; \quad I_D = 10mA \left(1 - \frac{(-1.5V)}{-5V}\right)^2 = 10mA(1 - 0.3)^2 = 4.9mA$$

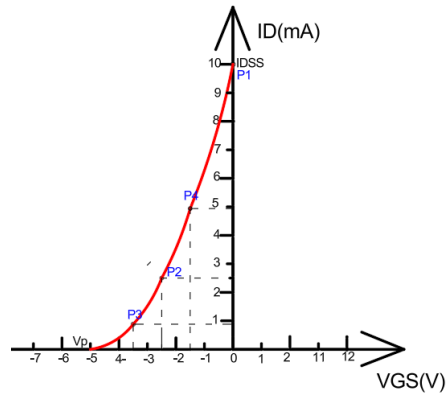


Figura 3.55 Gráfica del dispositivo

Ahora se traza el valor de $IDQ = 1.33\text{mA}$ que se tiene por cálculo, y se encuentra gráficamente $VGSQ = -3.1\text{V}$. En la siguiente figura se muestra la gráfica.

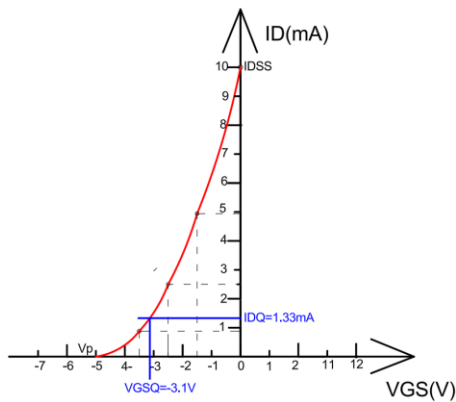


Figura 3.56 Gráfica de solución a VGS

Para obtener se hace LVK

$$VR2 - VRG - VGS - VC = 0; \quad VRG \cong 0V$$

$$VC = VR2 - VGS = 2.7V - (-3.1V) = 5.8V$$

Simulación en Multisim

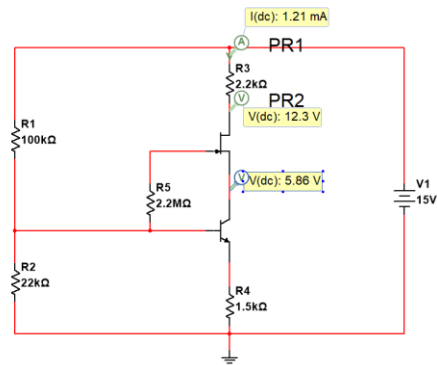


Figura 3.57 Gráfica de solución a VGS

COMPLEMENTOS EDUCACIONALES DE LA UNIDAD 3

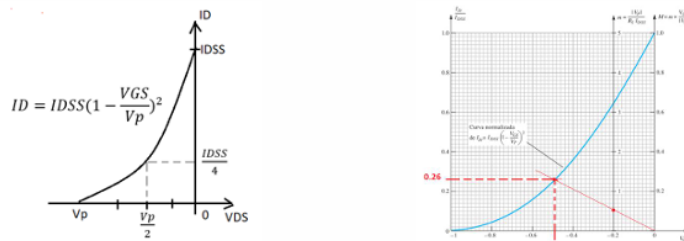
1.- Presentación. Método analítico para JFET

Software utilizado. Power Point

Método analítico en JFET

Anteriormente en algunas configuraciones, por facilidad solo se han visto métodos gráficos para resolver el análisis en CD de diferentes configuraciones.

Ejemplo método gráfico y con hoja universal.



Entonces ahora se estudiará la forma analítica

Autopolarización

De la ecuación de Shockley

$$ID = IDSS \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p}\right)^2$$

y de $V_{GS} = -ID \cdot R_S$ se tiene

$$ID = IDSS \left(1 - \frac{(-ID \cdot R_S)}{V_p}\right)^2$$

Resolviendo se tiene una ecuación cuadrática de la forma:

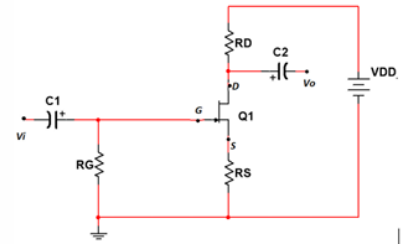
$$AID^2 + BID + C = 0$$

Donde:

$$A = \frac{IDSS \cdot R_S^2}{V_P^2}$$

$$B = \frac{2IDSS \cdot R_S}{V_P} - 1$$

$$C = IDSS$$



Ejemplo

Como ejemplo se muestra el código en Mathcad, para resolver ejercicios que se mostraron en su forma gráfica.

Mathcad - [fjet]

File Edit View Insert Format Tools Symbolics Window Help

Normal Arial 10 100%

My Site

AUTOPOLARIZACIÓN

IDSS := 0.005

VP := -4

RS := 1500

$$a := \frac{IDSS \cdot RS^2}{VP^2}$$

$$b := \frac{2IDSS \cdot RS}{VP} = 1$$

$$ce := IDSS$$

$$x1 := \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot ce}}{2a} \rightarrow 0.0054510051181672179452$$

$$x2 := \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot ce}}{2a} \rightarrow 0.0013045504373883376104 \quad \text{OK}$$

VGS := -x2 RS → -1.958256560825064156

entonces

VDS := 12 - x2 330 → 11.56949835566184858568

De los dos resultados obtenidos, solo puede ser ID=1.3mA y entonces VGS=-1.95V. Estos resultados son los que se obtuvieron en el método gráfico visto.

Polarización por divisor de voltaje

De la ecuación de Shockley se tiene:

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

Y $V_G = \frac{R_2 \cdot V_{DD}}{R_1 + R_2}$ donde $V_{GS} = V_G - V_{RS}$

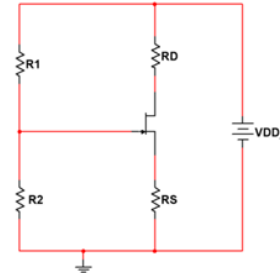
Es decir $V_{GS} = V_G - I_D \cdot R_S$

Entonces sustituyendo:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_G - I_D \cdot R_S}{V_p}\right)^2$$

Resolviendo se tiene la forma de:

$$A I_D^2 + B I_D + C = 0$$



Donde:

$$A = \frac{R_S^2}{V_p^2}$$

$$B = \frac{2}{V_p} \left[\frac{R_S}{1} - \frac{V_{DD} \cdot R_2 \cdot R_S}{(R_1 + R_2) V_p} \right] - \frac{1}{I_{DSS}}$$

$$C = 1 - \frac{2 \cdot V_{DD} \cdot R_2}{V_p \cdot (R_1 + R_2)} + \frac{V_{DD}^2 \cdot R_2^2}{(R_1 + R_2)^2 \cdot V_p^2}$$

Ejemplo

Como ejemplo se muestra el código en Mathcad, para resolver ejercicios que se mostraron en su forma gráfica

```

DIVISOR DE TENSIÓN
IDSS := 0.009      RS := 1200      RD := 2200
VP := -4.5        R1 := 2.2·106
VDD := 15         R2 := 270·103

VG :=  $\frac{VDD \cdot R2}{R1 + R2}$ 
a :=  $\frac{RS^2}{VP^2}$ 
b :=  $\frac{2}{VP} \left[ \frac{RS}{1} - \frac{VDD \cdot R2 \cdot RS}{(R1 + R2) \cdot VP} \right] - \frac{1}{IDSS}$ 
ce :=  $1 - \frac{2 \cdot VDD \cdot R2}{VP \cdot (R1 + R2)} + \frac{VDD^2 \cdot R2^2}{(R1 + R2)^2 \cdot VP^2}$ 
x1 :=  $\frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot ce}}{2a} \rightarrow 0.0088310273197674902548$ 
x2 :=  $\frac{-b - \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot ce}}{2a} \rightarrow 0.0029642662024997162229$  OK

entonces VGS := VG - x2 RS → -1.91744332963933558088
          VDS := VDD - [x2 · (RS + RD)] → 4.92149491150096484214

```

De los dos resultados obtenidos, solo puede ser $ID=2.96\text{mA}$ y entonces $VGS=-1.91\text{V}$. Estos resultados son los que se obtuvieron en el método gráfico visto en el ejercicio.

2.- Cuestionario

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce los conceptos básicos y fundamentales del transistor JFET y MOSFET, a diferencia del transistor BJT y saberlos identificar en sus diferentes aplicaciones.

- 1.- ¿Qué es un transistor JFET?
- 2.-¿Cuándo se comporta como una fuente de corriente constante el JFET?
- 3.- ¿Mencione la diferencia entre transistor BJT y JFET?
- 4.- ¿Qué es un transistor MOSFET de empobrecimiento?
- 5.- ¿Qué es un transistor MOSFET de enriquecimiento?

3.- Ejercicios prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce el análisis y solución de problemas para diferentes configuraciones vistas en clase y reforzar la capacidad de investigación.

1.- Del siguiente circuito, donde se muestra que el valor medido de $V_D=9V$. obtener I_{DQ} , V_{GSQ} .

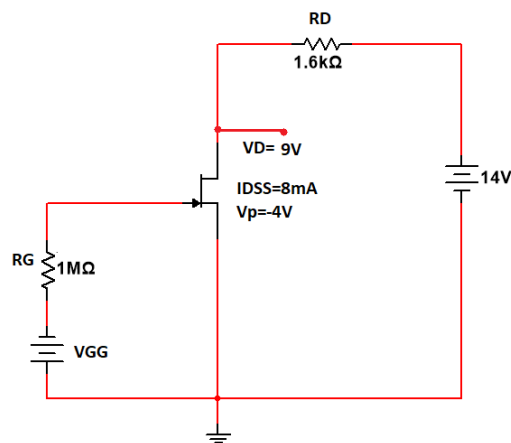


Figura 3.58 Circuito Transistor JFET polarización fija

2.- Realizar la investigación de configuración Drenador común por autopolarización, y resolver el siguiente ejercicio, obteniendo I_{DQ} , V_{GSQ} , V_D , V_{DS} y V_S . Realizar simulación en Multisim para su comprobación.

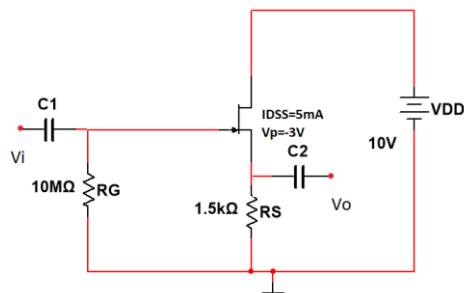


Figura 3.59 Ejercicio Drenaje común autopolarizado

3.- Del siguiente circuito, obtener gráficamente I_{DQ} , V_{GSQ} y V_{DS}

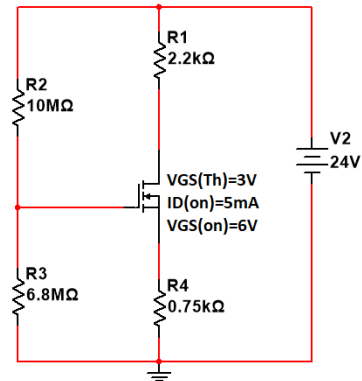


Figura 3.60 Ejercicio con MOSFET configuración Divisor de Voltaje

Solución en Anexo A

4.- Ejercicios/Casos prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: El estudiante Investigar los parámetros de IDSS y V_p en la hoja de datos JFET 2N5459 o BF245C y compararlo con el obtenido en la práctica, con la finalidad de utilizar los obtenidos físicamente con las prácticas de laboratorio a realizar con el JFET.

Material necesario:

1 Multímetro

1 Fuente variable de CD

1 Transistores JFET xxxxx

Desarrollo:

1.- Obtener de la hoja de datos del transistor JFET JFET 2N5459 o BF245C los valores de IDSS y V_p

	Valor mínimo	Valor típico	Valor máximo
IDSS			
V_p			

Tabla 3.1 Valor de IDSS y VP de JFET en hoja de datos

2.- De manera práctica obtener IDSS. Para ello debe colocar en $V_{GS}=0V$ y medirlo.

	Valor Práctico	Observaciones
IDSS		

Tabla 3.2 Valor práctico de IDSS en JFET

3.- De manera práctica obtener V_p . Para ello debe introducir y variar el voltaje VGS negativo, hasta que $I_D=0$.

	Valor Práctico	Observaciones
V_p		

Tabla 3.2 Valor práctico de V_p en JFET

Conclusiones y Observaciones por el estudiante.

Tema 4. Amplificadores con transistores BJT's y FET's.

4.1 Introducción a los Amplificadores en pequeña señal

El transistor, en temas anteriores se ha visto como interruptor y también el análisis en CD para poderlo utilizar como amplificador, es decir, ubicándolo en un punto medio estable Q , el cuál al aplicar una señal de CA se amplifique y no se distorsione. Como el teorema de superposición es aplicable para el diseño de amplificación, entonces en esta etapa se realizará el análisis de CA para su complemento. Hay tres modelos muy utilizados en análisis de pequeña señal: modelo re, modelo p híbrido y modelo equivalente híbrido.

Para el análisis de CA, una vez que se eligió el punto estable Q de CD; por superposición, las fuentes de CD se ponen en cortocircuito y se realiza dicho análisis para conocer la respuesta de salida. En la siguiente figura se muestra su equivalente.

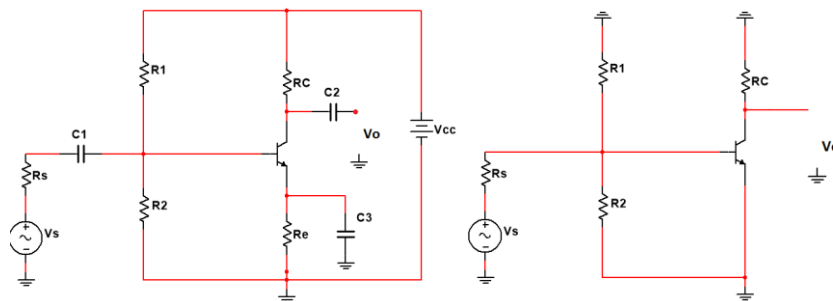


Figura 4.1 a) Circuito amplificador de pequeña señal b) Circuito equivalente para análisis de CA

En la siguiente figura se muestran los parámetros con polaridades y direcciones que se pueden aplicar a cualquier sistema. Los parámetros que destacan son las impedancias resistivas, corrientes y voltajes que ayudan para obtener la respuesta a la salida y su ganancia.

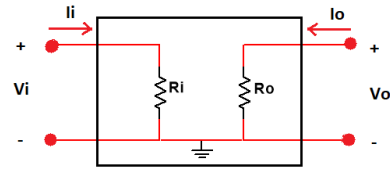


Figura 4.2 Parámetros del sistema

En respuesta a lo anterior, y resumiendo el análisis de CA de forma general se enlista como sigue:

1. Poniendo en cero todas las fuentes de CD y reemplazándolas por su equivalente de cortocircuito.
2. Reemplazando los capacitores con su equivalente de CA por cortocircuito.
3. Eliminando los elementos que se ponen en paralelo con cortocircuitos generados en los pasos anteriores.
4. Colocando el circuito con los cambios realizados para facilitar el análisis.

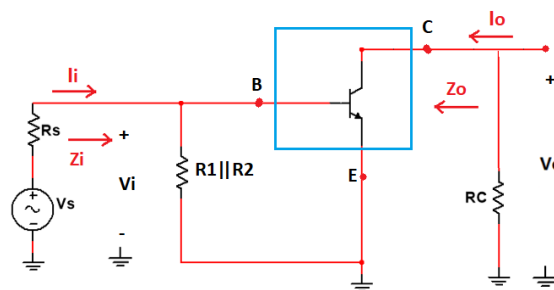


Figura 4.3 Circuito equivalente para análisis de CA

4.2 Amplificador con BJT

4.2.1 Modelo re

Configuración Emisor Común

Primeramente, se realizará el análisis de este modelo con la entrada; aquí se observa que el voltaje de entrada (V_i) aplicado es igual al de V_{BE} , y la corriente de entrada es igual a la de base (I_B).

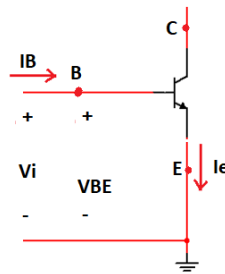


Figura 4.4 Circuito de entrada

En la entrada:

En la siguiente figura se muestra, como el voltaje V_{BE} se puede remplazar por un diodo y considerando la caída de tensión promedio polarizado en directa.

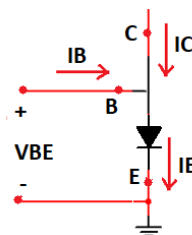


Figura 4.5 Circuito Equivalente de entrada

En la salida:

La salida se puede remplazar como una fuente de corriente controlada por $I_B\beta$, entonces la configuración de emisor común se puede representar de la siguiente manera:

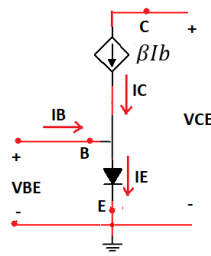


Figura 4.6 Circuito Equivalente de transistor

Mejorando y facilitando el análisis, el diodo se puede representar por medio de su resistencia, en el que es determinado por el nivel I_E . En temas anteriores se observaba que la resistencia del diodo es $R_D = \frac{26mV}{I_D}$, como $I_D = I_E$ entonces $R_D = \frac{26mV}{I_E}$

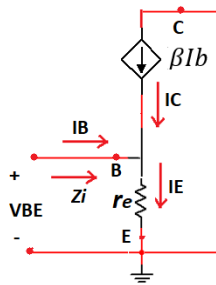


Figura 4.7 Circuito equivalente Zi

Actualizando el circuito, se tiene:

Entrada:

$$Z_i = \frac{V_i}{I_B} = \frac{V_{BE}}{I_B}$$

Obteniendo V_{BE} :

$$V_{BE} = I_E \cdot r_E = (I_C + I_B)r_E = (\beta I_B + I_B)r_E$$

$$V_{BE} = (\beta + 1)I_B \cdot r_E$$

Entonces para la impedancia de entrada queda de la siguiente forma:

$$Z_i = \frac{V_{BE}}{I_B} = \frac{(\beta + 1)I_B \cdot r_E}{I_B} = (\beta + 1)r_E \cong \beta r_E$$

Entonces el circuito se puede ver como un sistema en el que la impedancia de entrada está definida por βr_E y la salida es una fuente de corriente controlada por corriente, esto se muestra en la siguiente figura.

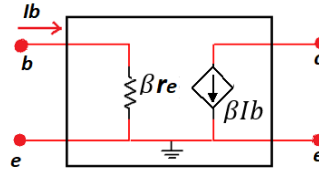


Figura 4.8 Circuito mejorado del BJT

Para tener un valor aproximado de la impedancia de salida, se puede obtener de las curvas de corriente I_C con respecto a V_{BE} del transistor, y cada curva define un valor de resistencia que puede variar.

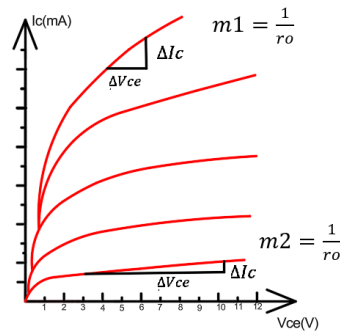


Figura 4.9 Impedancia de salida aproximada en modelo re

Se tiene

$$m = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{CE}} = \frac{1}{r_0}$$

$$\text{Entonces } r_0 = \frac{\Delta V_{CE}}{\Delta I_C}$$

Considerando la resistencia de salida del transistor r_o , el modelo queda de la siguiente manera:

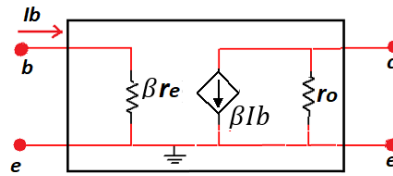


Figura 4.10 modelo re configuración emisor común

El valor de la ganancia β por lo general va de 50 a 200, la impedancia de entrada de cientos de ohms hasta $7k\Omega$ y la resistencia de salida r_o de $40K\Omega$ a $50K\Omega$.

4.2.2 Parámetros de 2 puertos

Este método es para sistemas empaquetados mayormente, en el que se desconocen los parámetros o dispositivos internos individuales, en el que la información son la ganancia e impedancias de entrada y salida. Al agregar una carga o una resistencia de fuente se puede determinar de manera sencilla.

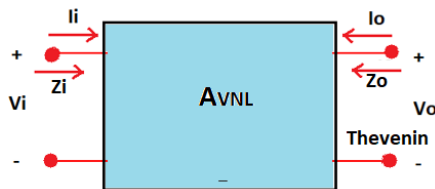


Figura 4.11 Sistema de dos puertos

Por el equivalente de Thevenin, Si hacemos $v_i=0$, entonces se puede determinar la impedancia de Thevenin,

$$Z_{th} = Z_o = R_o$$

El voltaje de Thevenin (V_{th}) se determina a circuito abierto en los nodos de la salida (V_o).

La ganancia de voltaje sin carga, está dado por:

$$A_v(NL) = \frac{V_o}{V_i}$$

Por lo tanto:

$$V_{th} = A_v(NL) \cdot V_i$$

Al sustituir el circuito equivalente de Thevenin, entonces queda de la siguiente manera:

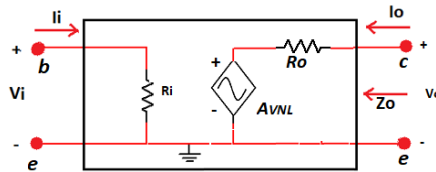


Figura 4.12 Elementos internos del sistema

4.2.3 Modelo híbrido

El modelo híbrido fue utilizado antes que el modelo re , este modelo no refleja las condiciones reales de operación, sino un nivel esperado de forma general. Algo importante, es que las hojas de datos de los dispositivos contienen los parámetros híbridos, y esto puede ser de gran ayuda en la comparativa rápida entre dispositivos. Enseguida se enlistan los parámetros híbridos:

Impedancia de entrada (h_{ie})

Relación de realimentación de voltaje (h_{re})

Ganancia de corriente de pequeña señal (h_{fe})

Admitancia de salida (h_{oe})

Del modelo bipuerto se parte para la representación del modelo híbrido, sobre todo para las variables que se emplean en éste.

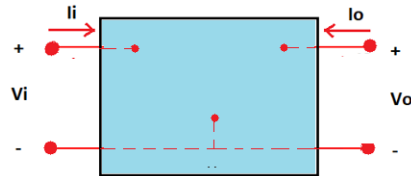


Figura 4.13 a) Modelo Bipuerto

De la representación, se toman las siguientes ecuaciones, donde se consideran los parámetros (h), tomadas de la palabra híbrido y también porque se manejan parámetros de voltaje y corriente.

$$V_i = h_{11}I_i + h_{12}V_o$$

$$I_o = h_{21}I_i + h_{22}V_o$$

En la primer ecuación, si se hace $V_o=0$ (cortocircuito en la salida), entonces:

$$h_{11} = \frac{V_i}{I_i}, \text{ llamada impedancia de entrada de cortocircuito } (\Omega),$$

el subíndice 11, indica que la relación es medida en la entrada.

De la primera ecuación, si se hace $I_i = 0$ (abriendo los cables de entrada), entonces:

$$h_{12} = \frac{V_i}{V_o},$$

llamada parámetro relación de voltaje de transferencia inverso en circuito abierto (sin unidades).

El subíndice 12, indica que es una relación de cantidades tomadas de la entrada y salida.

De la segunda ecuación, si se hace $V_o=0$ (cortocircuitando la salida), entonces:

$$h_{21} = \frac{I_o}{I_i},$$

llamada *relación de corriente de transferencia directa en cortocircuito* (sin unidades).

El subíndice 21, indica que es una relación de cantidades tomadas de la salida y entrada.

De la segunda ecuación, si se hace $I_i = 0$ (abriendo los cables de entrada),

entonces:

$$h_{22} = \frac{I_o}{V_o},$$

llamada *parámetro de admitancia de salida de circuito abierto* (Siemens).

El subíndice 22, indica que es una relación de cantidades tomadas de la salida.

En la siguiente figura se muestra el circuito equivalente, en el que se colocan los componentes de Resistencia y factor de realimentación para la entrada, y para la salida las unidades son Siemens (admitancia) y se representa en el modelo como conductancia, es decir a través de una resistencia.

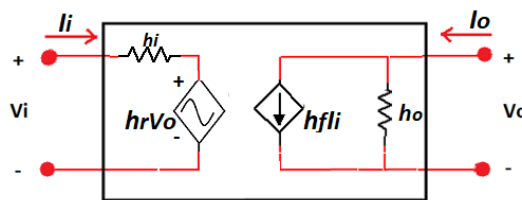


Figura 4.14 Circuito híbrido equivalente

Relacionando los parámetros del modelo de la figura con los de las hojas de datos del modelo híbrido:

Parámetro h_{11} = resistencia de entrada (h_i)

Parámetro h_{12} = relación de voltaje de transferencia inversa (h_r)

Parámetro h_{21} = relación de corriente de transferencia directa (h_f)

Parámetro h_{22} = conductancia de salida (h_o)

El modelo híbrido aplica para dispositivos de tres terminales, entre ellos está el transistor, en particular para éste se le agrega a los parámetros un segundo subíndice para la polarización elegida (es decir, base común (b), colector común (c) y emisor común (c)).

En la siguiente figura se presenta con los parámetros y variables de la entrada como en la salida en un transistor polarizado en emisor común.

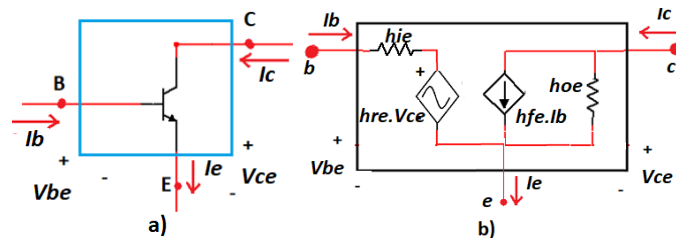


Figura 4.15 emisor común a) símbolo b) equivalente híbrido

Análisis:

$$I_I = I_b$$

$$I_O = I_c$$

Aplicando LVK $I_e = I_b + I_c$

V_{BE} es el voltaje de entrada

V_{CE} es el voltaje de salida

En la siguiente figura se presenta con los parámetros y variables de la entrada como en la salida en un transistor polarizado en base común.

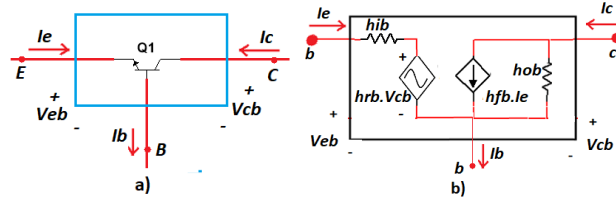


Figura 4.16 base común a) símbolo b) equivalente híbrido

Análisis:

$$I_i = I_e$$

$$I_o = I_c$$

V_{eb} es el voltaje de entrada

V_c es el voltaje de salida

En el análisis de las configuraciones de emisor común y base común h_r y h_o si no son tomadas en cuenta no afecta mucho el análisis, ya que h_r es de un valor pequeño, entonces se aproxima $h_r \cong 0$, por lo que $h_r \cdot V_o \cong 0$. También pasa con $\frac{1}{h_o}$, que normalmente es un valor muy grande y que se puede eliminar, dejándolo abierto, ya que el paralelo con la carga no se ve afectado. En la siguiente figura se muestra tomando en cuenta esto y reduciendo el circuito del modelo.

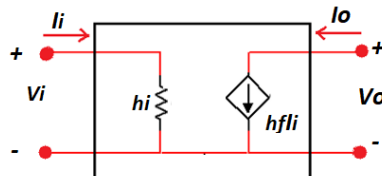


Figura 4.17 Modelo equivalente híbrido aproximado

Como se puede observar en la figura anterior, el circuito final al que se llegó en el modelo híbrido es muy parecido al modelo re . En la siguiente figura se muestran las configuraciones de los dos modelos en emisor común y base común, donde se observan su similitud.

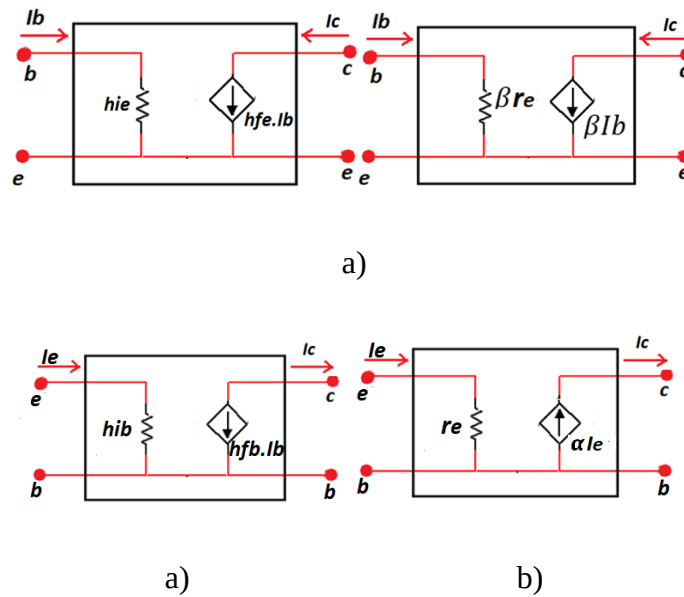


Figura 4.18 Modelo híbrido contra re . a) emisor común b) base común

Donde se enuncian las siguientes relaciones de gran importancia:

Modelo re

$$h_{ie} = \beta r_e$$

$$h_{fe} = \beta \alpha$$

Modelo híbrido

$$h_{ib} = r_e$$

$$h_{fb} = -\alpha \cong -1$$

4.2.4 Determinación de los parámetros del amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones.

Modelo re

Configuración Polarización fija

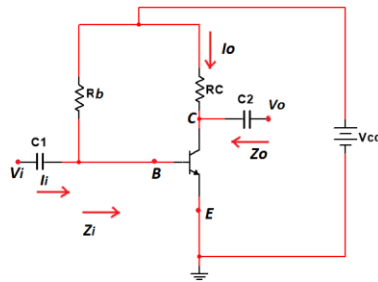


Figura 4.19 Circuito emisor común

Al recordar el modelo re , y al ser un análisis en corriente alterna, los capacitores se cortocircuitan, y las por superposición las fuentes de CD se apagan. El circuito se reescribe de la siguiente manera:

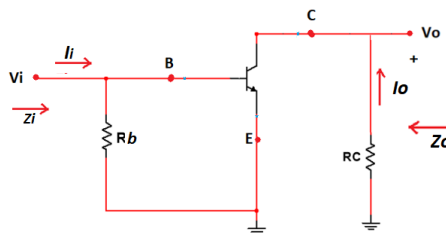


Figura 4.20 Circuito análisis de CA emisor común

En seguida se sustituye el modelo re , agregando también los parámetros Z_i , Z_o , I_i y I_o al circuito.

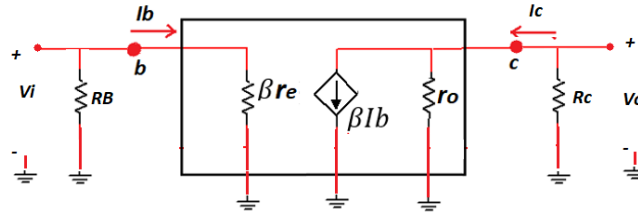


Figura 4.21 Modelo r_e

Los datos de β , r_e y r_o :

β se obtiene de la hoja de datos

r_e se debe determinar en el análisis de CD del circuito ($r_e = \frac{26\text{mv}}{I_D}$)

r_o se toma de la hoja de especificaciones del dispositivo

$$Z_i = R_B || \beta r_e$$

Si $R_B \geq 10\beta r_e$ entonces:

$$Z_i = \beta r_e$$

Para obtener la impedancia de salida Z_o , se apagan las fuentes para encontrar la impedancia de salida del sistema, y se define como la impedancia Z_o determinada cuando $V_i = 0$. Por lo que el equivalente es como se muestra en la figura: La fuente de corriente es 0.

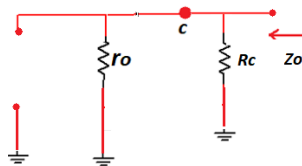


Figura 4.22 Circuito equivalente de la salida

Como se puede observar, los resistores r_o y R_C están en paralelo, entonces:

$$V_o = -\beta I_b (R_C || r_o)$$

Pero:

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

Así que:

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_C || r_o)$$

Finalmente, para obtener la ganancia en voltaje en CA:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{(R_C || r_o)}{r_e}$$

Para obtener la impedancia de salida Z_o :

$$Z_o = R_C || r_o$$

Si $r_o \geq 10R_C$, entonces

$$R_C || r_o = R_C$$

Y por lo tanto quedaría:

$$Z_o \cong R_C$$

Y la ganancia de voltaje en CA sería:

$$A_v = - \frac{R_C}{r_e}$$

Se puede observar que, para la ganancia, β no es determinante, sin embargo si es utilizada para el análisis de CD para determinar r_e .

Relación de fase

Para la relación de fase, se observa en la fórmula de la ganancia que, existe un signo de menos, esto significa que se tiene un defazamiento de 180° entre la señal de entrada y la salida.

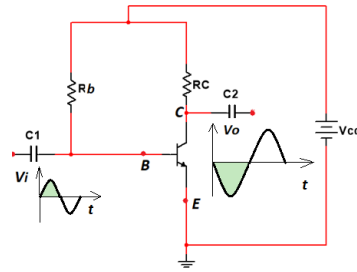


Figura 4.23 Relación de fase

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Para el siguiente ejercicio, obtener a) r_e , Z_i , Z_o y A_v considerando $r_o = \infty$. b) Z_o y A_v considerando $r_o = 40K\Omega$.

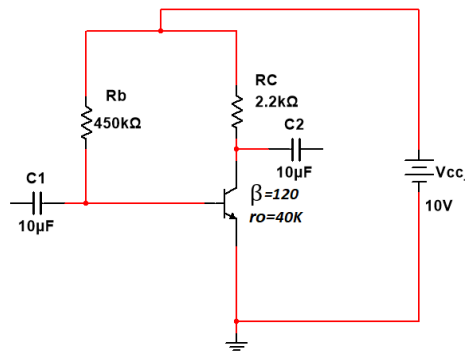


Figura 4.24 Circuito emisor común para análisis de CA

Solución:

a)

Análisis en CD

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{450K\Omega} = 20.7\mu A$$

$$I_E = (\beta + 1)I_B = (121)(20.7\mu A) = 2.5mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{2.5mA} = 10.4\Omega$$

Análisis en CA

$$\beta r_e = (120)(10.4\Omega) = 1248\Omega$$

$$Z_i = R_B || \beta r_e = 450K\Omega || 1248\Omega = 1244\Omega$$

$$Z_o = R_c = 2.2K\Omega$$

$$A_v = -\frac{R_c}{r_e} = -\frac{2.2K\Omega}{10.4\Omega} = -211.5$$

b)

Análisis en CA

$$Z_o = r_o || R_c = 40K\Omega || 2.2K\Omega = 2085\Omega$$

$$A_v = -\frac{r_o || R_c}{r_e} = -\frac{40K\Omega || 2.2K\Omega}{10.4\Omega} = -201$$

Se puede observar que son muy cercanos los valores, debido a que se cumple la relación

$$r_o \geq 10R_c; \quad 40K\Omega \geq 10(2.2K\Omega); \quad 40K\Omega \geq 22K\Omega$$

Configuración Divisor de voltaje

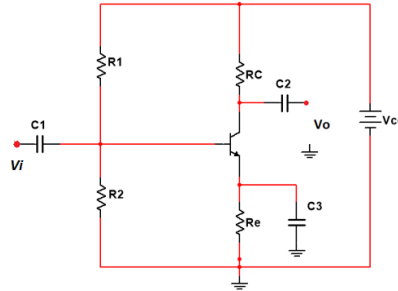


Figura 4.25 Circuito configuración divisor de voltaje

Para realizar el análisis y encontrar los parámetros en CA, se debe sustituir por el modelo equivalente de r_e .

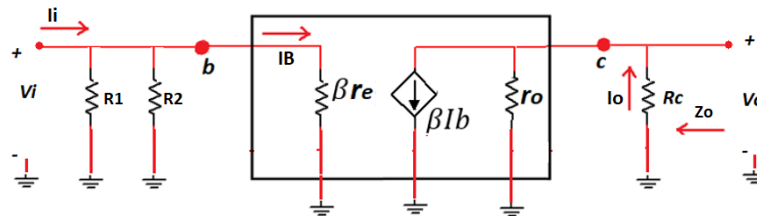


Figura 4.26 Modelo r_e en configuración divisor de voltaje

En la entrada se determina Z_i de la siguiente manera:

$$R' = R1 || R2$$

$$Z_i = R' || \beta r_e$$

Para la impedancia resultante de salida Z_o , se apaga el voltaje de entrada $V_i = 0$, entonces $I_B = 0$, así que:

$$Z_o = R_c || r_o$$

Si $Z_o \geq 10R_c$; entonces

$$Z_o \cong R_c$$

Para obtener la ganancia de voltaje A_v , debido a que R_c y r_o están en paralelo:

$$V_o = -\beta I_B (R_c || r_o)$$

Y

$$I_B = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

Entonces:

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_c || r_o)$$

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_c || r_o}{r_e}$$

Si $r_o \geq 10R_c$ entonces:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_c}{r_e}$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Para el siguiente ejercicio, obtener a) r_e , Z_i , Z_o y A_v considerando $r_o = \infty$. b) Z_o y A_v considerando $r_o = 40K\Omega$.

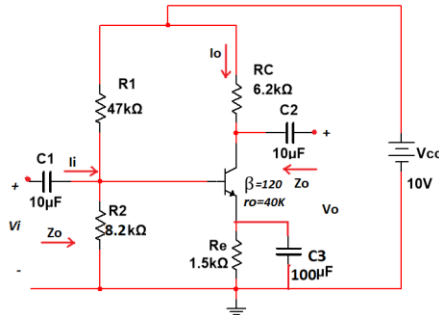


Figura 4.27 Circuito emisor común para análisis de CA

Solución:

a)

Análisis en CD

Se realiza la comparación, si se puede hacer el análisis en CD por el método aproximado.

$\beta r_e > 10R_2$; $120(1.5k\Omega) > 10(8.2K\Omega)$; $180k\Omega > 82k\Omega$. Si se puede

Entonces:

$$V_B = \frac{V_{cc} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10V(8.2K\Omega)}{47K\Omega + 8.2K\Omega} = 1.49V$$

$$V_E = V_B - V_{BE} = 1.49V - 0.7V = 0.79V$$

$$I_E = \frac{V_E}{R_E} = \frac{0.79V}{1.5K\Omega} = 527\mu A$$

$$r_e = \frac{26mV}{I_E} = \frac{26mV}{527\mu A} = 49\Omega$$

Análisis en CA

$$R' = R_1 || R_2 = 47K || 8.2K\Omega = 6982\Omega$$

a)

$$Z_i = R' || \beta r_e = 6982\Omega || (120(49\Omega)) = 6982\Omega || 5880 = 3191\Omega$$

$$Z_o = R_c = 6.2K\Omega$$

$$A_v = -\frac{R_c}{r_e} = -\frac{6.2K\Omega}{49\Omega} = 126$$

b)

$$Z_i = R' || \beta r_e = 6982\Omega || (120(49\Omega)) = 6982\Omega || 5880 = 3191\Omega$$

$$Z_o = R_c || r_o = 6.2K\Omega || 40K\Omega = 5368\Omega$$

$$A_v = -\frac{R_c || r_o}{r_e} = -\frac{5368\Omega}{49\Omega} = -109$$

Los resultados del inciso a) y b) difieren considerablemente, entonces se evalúa la condición para ver si se debió omitir r_o .

$$r_o \geq 10R_c; \quad 40K\Omega \geq 62K\Omega \quad \text{No cumple}$$

Aquí se observa que no cumple, y que por lo tanto el resultado del b) es el correcto.

4.2.5 Efecto de la resistencia R_s y R_L

Anteriormente no se consideraron la Resistencia de la fuente R_s y la Resistencia de carga R_L , ahora se realizará el análisis tomándolos en cuenta y que obviamente tiene efecto en la ganancia de voltaje A_v , donde ésta siempre será menor que si no se consideran.

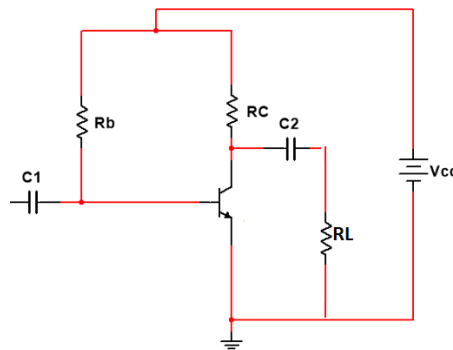


Figura 4.28 Circuito emisor común polarización fija con carga R_L

Primeramente, se coloca el modelo de polarización, agregando la fuente con su resistencia R_s , y la carga R_L , dando como resultado el siguiente circuito:

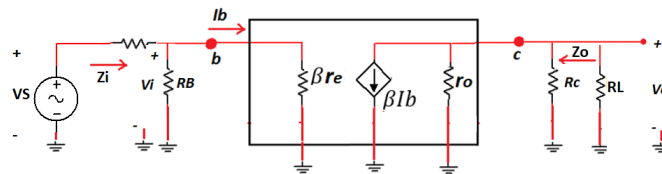


Figura 4.29 Circuito equivalente de CA

Efecto de carga

$$R_L' = r_o || R_c || R_L \cong R_c || R_L$$

$$V_o = -\beta \cdot I_b \cdot R_L' = -\beta I_b (R_c || R_L)$$

$$I_b = \frac{V_i}{\beta r_e}$$

$$V_o = -\beta \left(\frac{V_i}{\beta r_e} \right) (R_c || R_L)$$

Entonces:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_c || R_L}{r_e}$$

Efecto de Resistencia de fuente Rs

Impedancia de entrada $Z_i = R_B || \beta r_e$

Para obtener V_i , que es lo que entra al transistor, entonces se aplica un divisor de voltaje:

$$V_i = \frac{V_s \cdot Z_i}{Z_i + R_s}$$

Entonces:

$$\frac{V_i}{V_s} = \frac{Z_i}{Z_i + R_s}$$

$$A_{vs} = \frac{V_o}{V_s} = \frac{V_o}{V_i} \cdot \frac{V_i}{V_s} = A_{vL} \cdot \frac{Z_i}{Z_i + R_s}$$

Donde

$$A_{vNL} > A_{vL} > A_{vs}$$

4.2.6 Análisis por computadora

El análisis por computadora para el tema de Amplificación de pequeña señal puede usarse a través de software de simulación, en este caso y como se ha realizado en temas anteriores será con Multisim. En éste, se puede obtener no solo valores de los parámetros,

sino que la forma de onda de la señal de salida V_o a través del equipo llamado osciloscopio.

En seguida se realizarán las simulaciones de los dos ejercicios vistos en amplificación de pequeña señal de diferentes configuraciones.

Configuración polarización fija

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Simulación en Multisim:

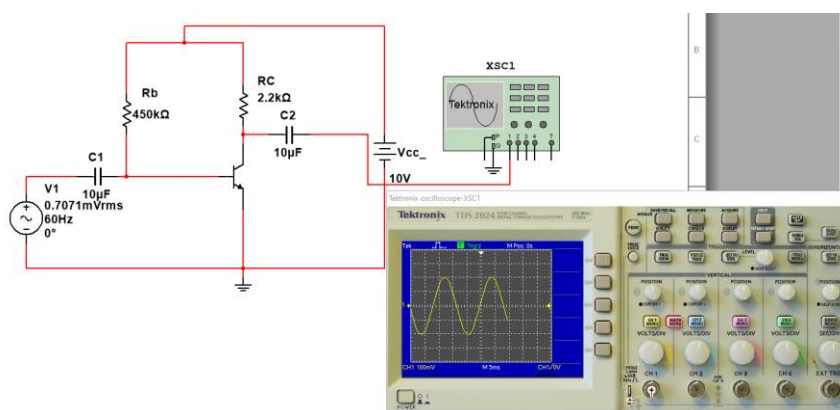


Figura 4.30 Simulación en Multisim configuración polarización fija

Como se puede observar la entrada es de 1mVp y la salida de 200mVp , por lo que la ganancia es de 200, esto es, muy cerca del valor calculado.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Configuración polarización divisor de voltaje

Simulación en Multisim:

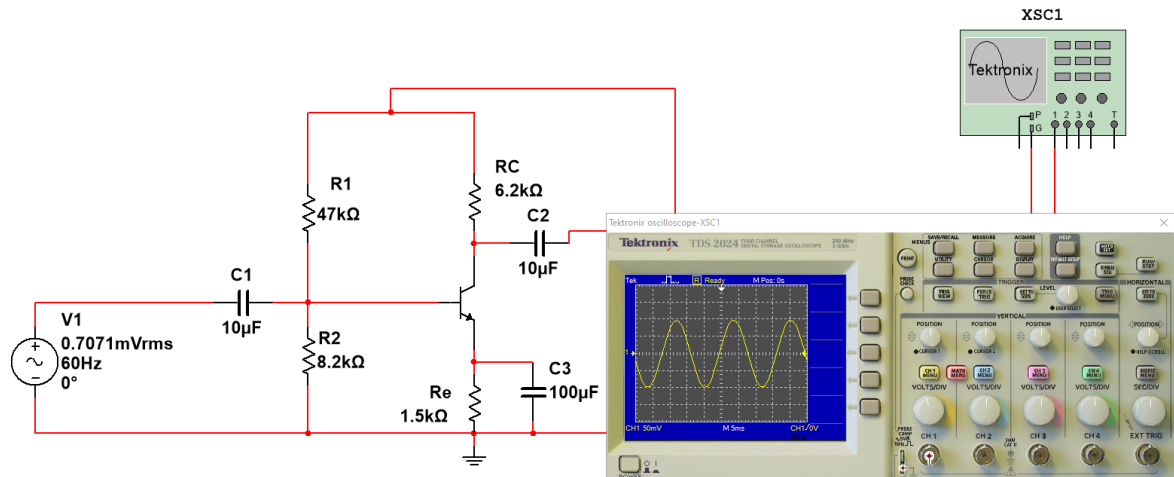


Figura 4.31 Simulación en Multisim configuración divisor de voltaje

Como se puede observar la entrada es de 1mVp y la salida de 100mVp, por lo que la ganancia es de 100, esto es, muy cerca del valor calculado.

4.3 Amplificador con JFET

Los amplificadores con JFET a diferencia de los BJT es que la corriente de drenaje es controlada por voltaje y no por corriente además de tener una alta impedancia de entrada, al igual que con los MOSFET de empobrecimiento, en éstos se tiene todavía una impedancia de entrada mas alta todavía. En el BJT la ganancia estaba definida por el

parámetro β , en los JFET el parámetro es la conductancia gm , este parámetro tiene la relación de A/V y es lo que define la respuesta de la corriente junto con la ecuación de Shockley. La ganancia que se puede obtener con JFET son más bajas que con los BJT's, y las impedancias de salida si son comparables.

4.3.1 Modelo del JFET en pequeña señal

Para la amplificación con un JFET se necesita un modelo en CA, donde se percibe que, al aplicar un voltaje en la compuerta, éste responde con variaciones de corriente en el drenaje o salida. Anteriormente se estudió la ecuación de Shockley en el análisis de CD, que destaca este comportamiento y que a continuación se enuncia.

$$ID = IDSS(1 - \frac{V_{GS}}{V_p})^2$$

En el análisis de CA es muy importante el factor de transconductancia, que es el resultado del cambio de la corriente de drenaje al aplicar la variación de voltaje de drenaje. Es decir:

$$\Delta ID = gm \cdot \Delta V_{GS}$$

El término trans viene de la relación de la salida con respecto a la entrada, y conductancia viene de la raíz de $G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$. Es decir, de la ecuación anterior:

$$gm = m = \frac{\Delta ID}{\Delta V_{GS}}$$

Obtención gráfica de gm

De la curva o función de Shockley se puede obtener la transconductancia gm , sin embargo la relación no es lineal y por tanto este parámetro varía según en el punto donde se

quiera trabajar, en sí es la pendiente, entre más alta la pendiente más grande el valor gm .

En la siguiente figura se muestra esto:

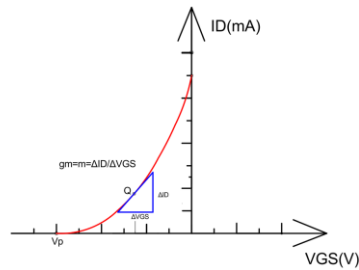


Figura 4.32 gm con la gráfica de transferencia

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Como ejemplo se toma un JFET con $IDSS = 8\text{mA}$ y un $V_P = -4\text{V}$, donde se solicita obtener el valor de transconductancia a diferentes puntos de operación. a) -0.5 , b) -1.5V , c) -2.5V

Solución:

$$gm = \frac{\Delta ID}{\Delta V_{GS}} = \frac{2.1\text{mA}}{0.6\text{V}} = 3.5\text{mS}$$

$$gm = \frac{\Delta ID}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.8\text{mA}}{0.7\text{V}} = 2.57\text{mS}$$

$$gm = \frac{\Delta ID}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.5\text{mA}}{1\text{V}} = 1.5\text{mS}$$

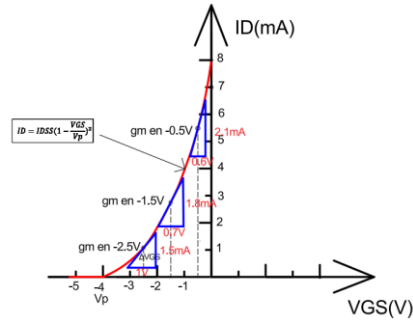


Figura 4.33 Obtener gm en diferentes puntos de polarización

Ecuación matemática de gm

Anteriormente se vio como obtener de forma gráfica gm en diferentes puntos de operación, ahora se obtiene la forma matemática. Ésta se deduce de la derivada de una función en un punto, es igual a la pendiente m de la recta tangente trazada en ese punto. Por lo tanto, derivamos la ecuación de Shockley e igualamos en gm :

$$gm = \frac{dID}{dV_{GS}}|_{pt.=Q} = \frac{d}{dV_{GS}} \left[IDSS \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \right]$$

Resolviendo:

$$gm = \frac{2IDSS}{|V_p|} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right]$$

De la ecuación en $V_{GS}=0$ se obtiene:

$$gm_0 = \frac{2IDSS}{|V_p|}$$

Por lo tanto, se puede escribir:

$$gm = gm_0 \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right]$$

Del ejemplo anterior, ahora resolverlo a través de la forma matemática obtenida.

$$gm_0 = \frac{2ID_{SS}}{|V_p|} = \frac{2(8mA)}{|-4V|} = 4mS$$

a) $V_{GS} = -0.5V$

$$gm = 4mS \left[1 - \frac{-0.5V}{-4} \right] = 3.5mS$$

b) $V_{GS} = -1.5V$

$$gm = 4mS \left[1 - \frac{-1.5V}{-4} \right] = 2.5mS$$

c) $V_{GS} = -2.5V$

$$gm = 4mS \left[1 - \frac{-2.5V}{-4} \right] = 1.5mS$$

Es muy importante conocer que en las hojas de datos de los JFET el parámetro gm aparece como Y_{fs} , parámetro de transferencia directa conectado a la terminal fuente.

Relación de ID con gm

De la ecuación de Shockley se puede representar de la siguiente manera:

$$1 - \frac{V_{GS}}{V_p} = \sqrt{\frac{ID}{ID_{SS}}}$$

Entonces sustituyendo:

$$gm = gm_0 \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right) = gm_0 \sqrt{\frac{ID}{ID_{SS}}}$$

Diferentes puntos para graficar:

Si $ID = IDSS$

$$gm = gm_0 \sqrt{\frac{ID}{IDSS}} = gm_0 \sqrt{\frac{IDSS}{IDSS}} = gm_0$$

Si $ID = \frac{IDSS}{2}$

$$gm = gm_0 \sqrt{\frac{ID}{IDSS}} = gm_0 \sqrt{\frac{\frac{IDSS}{2}}{IDSS}} = \sqrt{\frac{1}{2}} gm_0 = 0.7071 \cdot gm_0$$

Si $ID = \frac{IDSS}{4}$

$$gm = gm_0 \sqrt{\frac{ID}{IDSS}} = gm_0 \sqrt{\frac{\frac{IDSS}{4}}{IDSS}} = \sqrt{\frac{1}{4}} gm_0 = \frac{1}{2} gm_0$$

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Grafique $gm - ID$ para el ejemplo anterior.

$$IDSS = 8mA$$

$$V_p = -4V$$

$$\mathbf{P1:} \text{ en } ID = IDSS = 8mA; \quad gm = gm_0 = \frac{2IDSS}{|V_p|} = \frac{2(8mA)}{|-4V|} = 4mS$$

$$\mathbf{P2:} \text{ en } ID = \frac{IDSS}{2} = \frac{8mA}{2} = 4mA; \quad gm = 0.7071 \cdot gm_0 = 0.7071(4mS) =$$

$$2.82mS$$

P3: $ID = \frac{IDSS}{4} = \frac{8mA}{4} = 2mA$; $gm = 0.5 \cdot gm0 = 0.5(4mS) = 2mS$

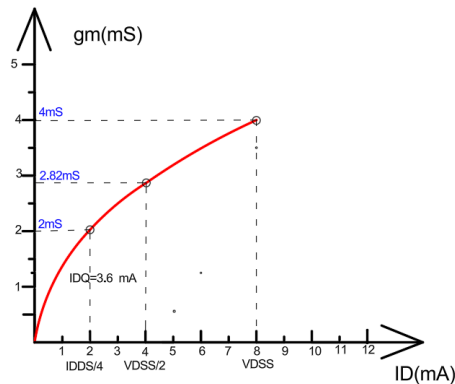


Figura 4.34 Gráfica de gm contra ID

Impedancia de entrada (Z_i)

La impedancia de entrada de los JFET es muy alta, empezando en transistores comerciales desde 10^9 , y los MOSFET de empobrecimiento desde 10^{12} . Entonces se considera ∞ .

$$Z_i = \infty$$

Impedancia de salida (Z_o)

Como se había mencionado en la introducción, la impedancia de salida del JFET es muy parecida a la de los transistores BJT. Ésta tiene unidades de μS , y aparece en las hojas de datos como Y_{os} (admitancia de salida en fuente).

$$Z_o = rd = \frac{1}{Y_{os}}$$

La impedancia de salida, como en el BJT, depende del punto de operación, varía la impedancia de salida ro , por lo que una forma gráfica de obtenerla es:

$$r_o = \left. \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta I_D} \right|_{V_{GS}=\text{constante}}$$

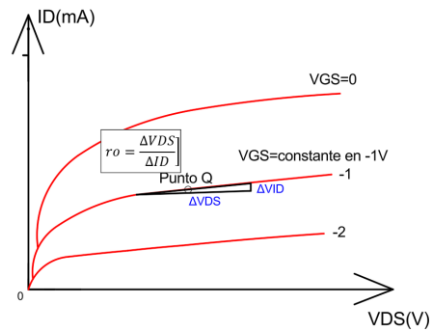


Figura 4.35 r_o de manera gráfica

Circuito equivalente en CA de transistor JFET

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las impedancias manejadas, así como la respuesta de la corriente controlada por el voltaje de compuerta y el factor de transconductancia g_m , se obtiene el siguiente circuito equivalente en CA del JFET.

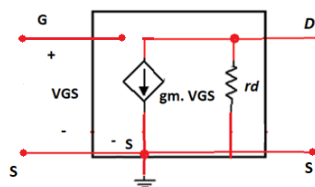


Figura 4.36 Circuito equivalente del transistor JFET en CA

Al igual que sucedía con análisis anteriores para otros dispositivos, en este caso la impedancia de entrada aparece como abierto debido a que es muy alta. La fuente de corriente controlada por voltaje y la impedancia de salida r_d del JFET, en el que,

dependiendo de las resistencias de la red y sus valores, ésta se puede omitir o influir en la ganancia del amplificador.

4.3.2 Determinación de los parámetros de un amplificador en pequeña señal para las diferentes configuraciones de polarización.

Configuración de polarización fija

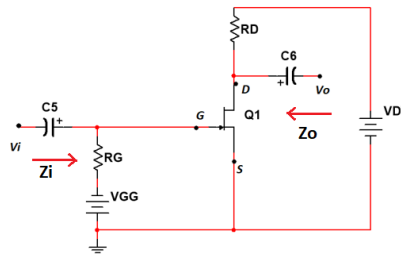


Figura 4.37 Configuración de polarización fija con JFET

Al igual que se analizó el amplificador BJT en CA, en el JFET se comienza por superposición apagando las fuentes de CD y colocando el equivalente de los capacitores en CA, es decir una baja impedancia, asemejándose a un cortocircuito. En la siguiente figura se muestra el circuito equivalente.

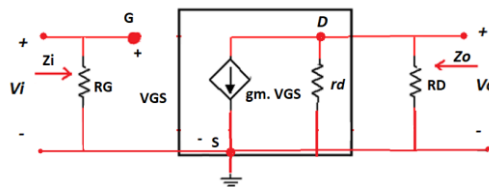


Figura 4.38 Circuito equivalente polarización fija

De este equivalente se derivan los siguientes parámetros:

$$Z_i = R_G$$

Para Impedancia de salida, se v_i se apaga, y entonces la fuente de corriente se hace cero, quedando:

$$Z_o = r_d || R_D$$

Si la r_d es grande, es decir $r_d \geq 10R_D$, entonces

$$Z_o = R_D$$

Para el voltaje de salida V_o :

$$V_o = -g_m \cdot V_{GS}(r_d || R_D)$$

$$V_{GS} = v_i$$

$$V_o = -g_m \cdot V_i(r_d || R_D)$$

Para la ganancia A_v

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m(r_d || R_D)$$

Si $r_d \geq 10R_D$, entonces

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = -g_m \cdot R_D$$

Configuración de autopolarización

En esta configuración mejora en cuanto que solo se necesita una fuente de CD.

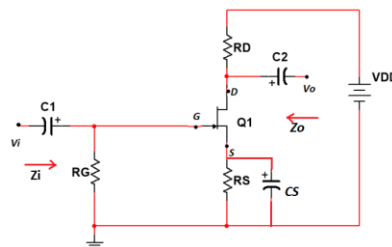


Figura 4.39 Configuración de autopolarización

Al igual que se ha manejado, se coloca el equivalente en CA. Los capacitores en CA se toman como cortocircuito y las fuentes de CD se apagan. En la siguiente figura se muestra el circuito equivalente.

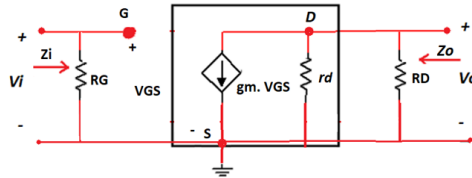


Figura 4.40 Circuito equivalente configuración autopolarización

$$Z_i = R_G$$

$$Z_o = r_d || R_D \quad \text{si } r_d \geq 10R_D; \quad \text{entonces } Z_o \cong R_D$$

$$A_v = -g_m(r_d || R_D) \quad \text{si } r_d \geq 10R_D; \quad \text{entonces } A_v = -g_m.R_D$$

Al ser la ganancia negativa, quiere decir que tiene un desfase de 180°

Configuración de divisor de voltaje

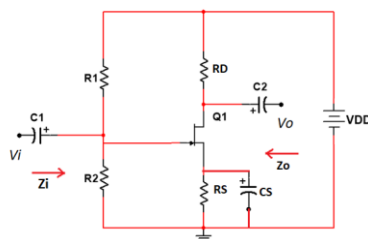


Figura 4.41 Configuración divisor de voltaje

Para el análisis de CA se apagan las fuentes de CD y se coloca su equivalente de cortocircuito de los capacitores, resultando como sigue:

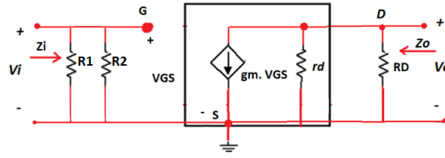


Figura 4.42 Circuito equivalente de divisor de voltaje

Para la impedancia de entrada

$$Z_i = R1 || R2$$

Para la impedancia de salida, si se hace $V_i = 0$, entonces

$$Z_o = rd || RD \text{ si } rd \geq 10RD; \text{ entonces } Z_o = RD$$

Se puede ver que $V_{GS} = V_i$

$$\text{Para } V_o \quad V_o = -gmV_{gs}(rd || RD)$$

$$\text{Entonces: } A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-gmV_{gs}(rd || RD)}{V_{gs}} = -gm(rd || RD)$$

$$\text{si } rd \geq 10RD; \text{ entonces } A_v \cong -gm \cdot RD$$

4.3.3 Análisis de circuitos amplificadores con MOSFET.

Para los amplificadores de pequeña señal con MOSFET decremental, el análisis es el mismo, la única diferencia es que, por ejemplo, para un canal n, puede haber valores positivos para V_{GS} y por lo tanto la conductancia gm puede ser mayor que gm_0 . Pero como se ha mencionado anteriormente tiene mejor impedancia de entrada.

Complementos Educativos

Ejercicios prácticos

Con los análisis realizados para el JFET, se solicita para el siguiente circuito con MOSFET decremental o empobrecimiento, obtener lo siguiente:

Análisis en CD para obtener V_{GSQ} y IDQ

Circuito equivalente en CA

r_d

Z_i y Z_o

g_m y g_{m0}

A_v

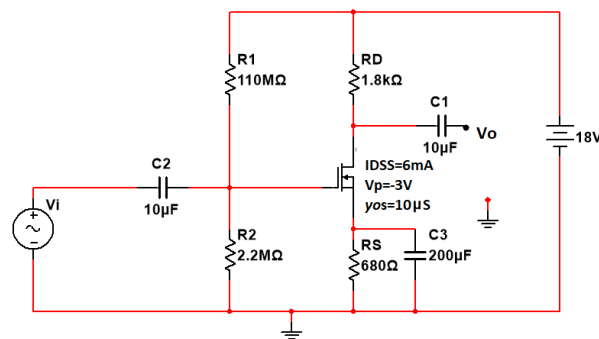


Figura 4.43 Circuito configuración divisor de voltaje con MOSFET

Análisis en CD para obtener V_{GSQ} y IDQ

Primeramente, se realiza el análisis en CD para obtener el punto estable Q , para ello los capacitores se abren quedando el siguiente circuito.

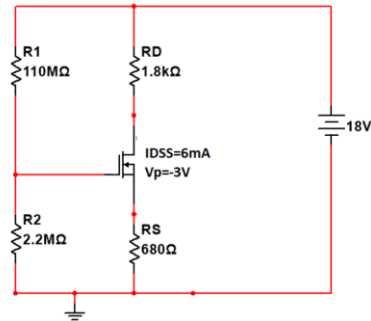


Figura 4.44 Circuito equivalente en CD de configuración divisor de voltaje

Aplicando el método de la curva universal:

$$m = \frac{|V_p|}{R_s \cdot I_{DSS}} = \frac{3V}{680\Omega(6mA)} = 0.74$$

$$V_G = V_{R2} = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{18V(2.2M\Omega)}{110M\Omega + 2.2M\Omega} = 0.35V$$

$$M = m \frac{V_G}{|V_p|} = 0.74\left(\frac{0.35V}{3V}\right) = 0.086$$

Graficando:

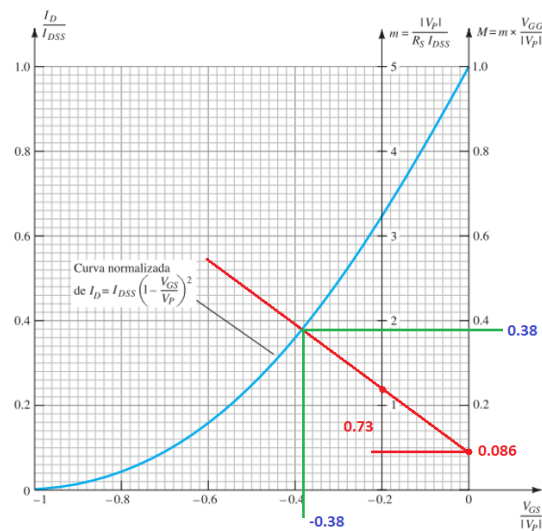


Figura 4.45 Gráfica universal

Se obtiene IDQ y $VGSQ$:

$$\frac{IDQ}{IDSS} = 0.38; \quad IDQ = 0.38(6mA) = 2.28mA$$

$$\frac{VGSQ}{|Vp|} = -0.38; \quad VGSQ = -0.38(3V) = -1.14V$$

Análisis en CA

Circuito equivalente en CA

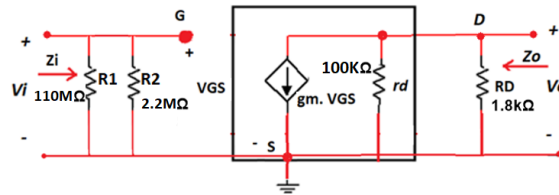


Figura 4.46 Circuito equivalente en CA

rd

$$rd = \frac{1}{Yos} = \frac{1}{10\mu S} = 100K\Omega$$

Cumple $rd \geq 10RD$; $100K\Omega \geq 10(1.8K\Omega)$; $100K\Omega \geq 18K\Omega$. entonces rd se puede omitir

Zi y Zo

$$Zi = R1 || R2 = 110M\Omega || 2.2M\Omega = 2.16M\Omega$$

$Z_o = r_d || R_D$ como $r_d \geq 10R_D$, entonces $Z_o = R_D = 1.8K\Omega$

g_m y g_{m0}

$$g_{m0} = \frac{2 \cdot I_{DSS}}{|V_p|}; \frac{2(6mA)}{3} = 4mS$$

$$g_m = g_{m0} \left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_p}\right) = 4mS \left(1 - \frac{-1.14V}{-3V}\right) = 2.48mS$$

Cálculo de A_v

como $r_d \geq 10R_D$, entonces $A_v = -g_m \cdot R_D = -2.48mS(1.8K\Omega) = -4.46$

COMPLEMENTOS EDUCACIONALES DE LA UNIDAD 4

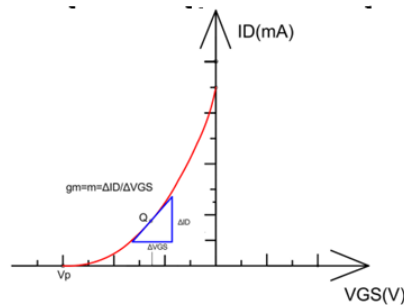
1.- Presentación. Método gráfico y analítico para obtener g_m

Software utilizado. Power Point

Transconductancia g_m . Método gráfico y analítico

Método gráfico:

Parámetro que relaciona la corriente de salida con respecto al voltaje de control V_{GS} , es decir la ganancia en los transistores de Efecto de Campo. Se puede obtener gráficamente como se observa en la figura. Básicamente se toma un punto de operación (Q).



Ejemplo Gráfico:

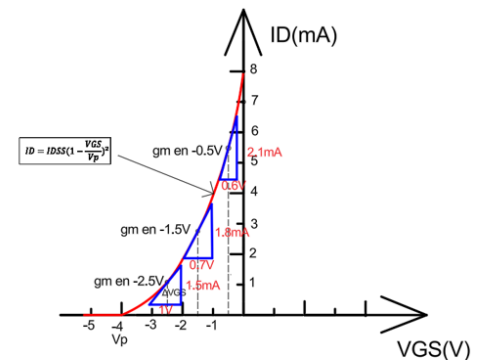
De un transistor JFET se tienen los siguientes datos: $I_{DSS}=8\text{mA}$ y $V_p=-4\text{V}$. Se pide el valor de transconductancia g_m de manera gráfica en 3 diferentes puntos: a) $V_{GS}=-0.5\text{V}$, b) $V_{GS}=-1.5\text{V}$ y c) $V_{GS}=-2.5\text{V}$

Solución:

$$a) \quad g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{2.1\text{mA}}{0.6\text{V}} = 3.5\text{mS}$$

$$b) \quad g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.8\text{mA}}{0.7\text{V}} = 2.57\text{mS}$$

$$c) \quad g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} = \frac{1.5\text{mA}}{1\text{V}} = 1.5\text{mS}$$



Método analítico gm

Como se había visto anteriormente gm es la relación de la salida de corriente con el voltaje de entrada (I/V), es decir, la pendiente en un punto. Entonces se puede tener una fórmula matemática de resolverlo. Derivando la ecuación de Shokley con respecto a V_{GS} , esto es:

$$gm = \frac{dID}{dV_{GS}}|_{pt.=Q} = \frac{d}{dV_{GS}} \left[IDSS \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right)^2 \right]$$

Obteniendo:

$$gm = \frac{2IDSS}{|V_p|} \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right]$$

Con $V_{GS}=0$:

$$gm_0 = \frac{2IDSS}{|V_p|}$$

finalmente:

$$gm = gm_0 \left[1 - \frac{V_{GS}}{V_p} \right]$$

Ejemplo:

Del ejemplo que se resolvió gráficamente, con $I_{DSS}=8\text{mA}$ y $V_{GS}=-4\text{V}$. Obtener analíticamente g_m para: a) $V_{GS}=-0.5\text{V}$, b) $V_{GS}=-1.5\text{V}$ y c) $V_{GS}=-2.5\text{V}$

$$\text{Primeramente se obtiene } g_{m0} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|} = \frac{2(8\text{mA})}{|-4\text{V}|} = 4\text{mS}$$

$$\text{a) } g_m = 4\text{mS} \left[1 - \frac{-0.5\text{V}}{-4} \right] = 3.5\text{mS}$$

$$\text{b) } g_m = 4\text{mS} \left[1 - \frac{-1.5\text{V}}{-4} \right] = 2.5\text{mS}$$

$$\text{c) } g_m = 4\text{mS} \left[1 - \frac{-2.5\text{V}}{-4} \right] = 1.5\text{mS}$$

1.- Quizz. Parámetros de Amplificación BJT, JFET y MOSFET

Software utilizado. Genially



The image shows a presentation slide from Genially with a light green background. On the left, there is a yellow starburst icon with the word "wow" inside. The main title "Amplificación de Pequeña Señal" is written in a large, bold, dark blue serif font. Below the title, in a smaller dark blue sans-serif font, is the subtitle "Amplificación con BJT, JFET y MOSFET". In the top right corner, there is a small inset graph showing a sinusoidal current waveform $i(t)$ in Amperes (A) versus time t . The waveform is labeled $i(t) = A \sin \omega t$. A horizontal double-headed arrow below the waveform indicates the period T . At the bottom right of the slide, there is a blue rounded rectangular button with the white text "¡VAMOS!".

**Pregunta 1/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

Qué unidades tiene la transconductancia**Enviar****Pregunta 2/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

Como se comportan los capacitores de acoplo en CA**Send**

**Pregunta 3/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

La resistencia de carga afecta en el amplificador**Pregunta 4/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

La Transconductancia g_m se comporta

**Pregunta 5/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

El signo negativo de A_v significa[Send](#)**Pregunta 6/6**

Contextualiza tu tema con un subtítulo

El parámetro de Z_i en JFET es[Send](#)



¡Quiz finalizado!

Enhorabuena por tu esfuerzo y entusiasmo para seguir
adelante en el tema

2.- Cuestionario

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce los conceptos básicos y fundamentales de la amplificación de pequeña señal en los Transistores BJT, JFET y MOSFET, así como de los parámetros utilizados.

- 1.- ¿Qué modelos hay para análisis de CA en Transistores BJT?
- 2.- ¿Cuáles son los parámetros utilizados e importantes para la amplificación de pequeña señal?
- 3.- De forma breve, mencione el efecto que tiene la resistencia de carga (R_L) y resistencia de la fuente de entrada (R_s) con la ganancia de voltaje (A_v).
- 4.- ¿Cuál es el parámetro y defínalo brevemente, de los JFET y MOSFET que dicta la ganancia del amplificador?
- 5.- Por lo general, ¿qué transistores tienen mayor ganancia, los BJT o MOSFET?

3.- Ejercicios prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: Que el estudiante refuerce los conocimientos para conocer la ganancia en corriente alterna (CA) en amplificadores de pequeña señal con Transistores BJT, JFET y MOSFET.

1.-Del siguiente circuito obtener r_e , Z_i , Z_o y A_v

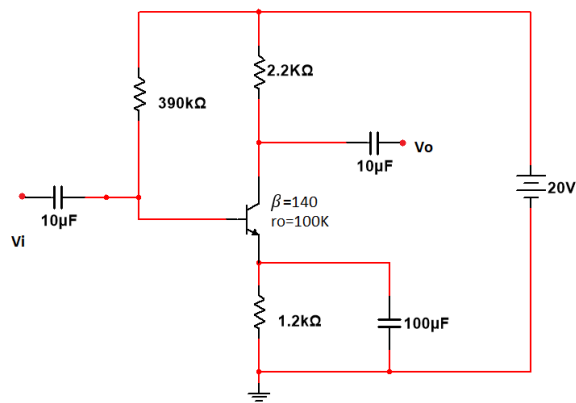


Figura 4.47 Circuito BJT Resistencia en emisor

2.- Del siguiente circuito, obtener Z_i , Z_o y A_v

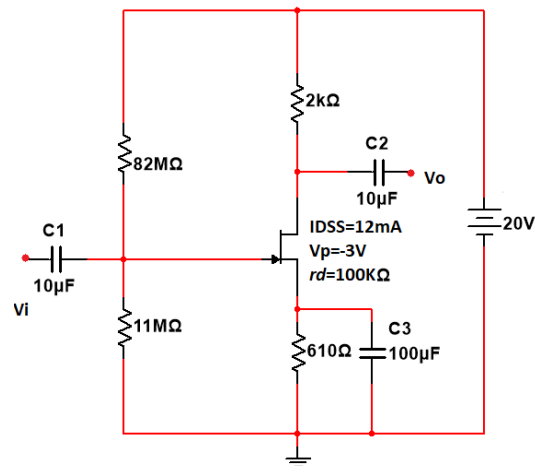


Figura 4.48 Circuito JFET por Divisor de Voltaje

3.- Del siguiente circuito obtener Z_i , Z_o y A_v

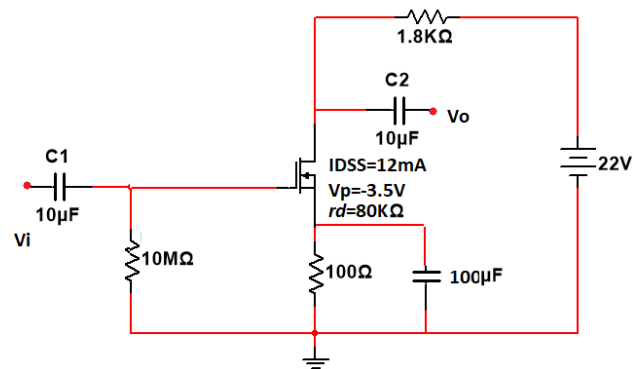


Figura 4.49 Circuito MOSFET Resistencia en Emisor

Solución en Anexo A

4.- Ejercicios/Casos prácticos

Software utilizado. Word

Objetivo: El estudiante realizará en práctica un amplificador de pequeña señal con un transistor BC548B, en el que observará la forma de onda de salida amplificada y su ganancia.

Material y Equipo necesario:

1 osciloscopio

1 Fuente de CD

1 Fuente de CA

1 Protoboard

Cable para protoboard de diferentes tamaños

1 Transistor 2N2222

4 Resistencias de valores $47K\Omega$, $8.2K\Omega$, $2.2K\Omega$, 470Ω .

5.- 3 Capacitores de valores: 2 de $10\mu F$ y 1 de $100\mu F$.

Desarrollo:

1.- Armar en protoboard el siguiente circuito

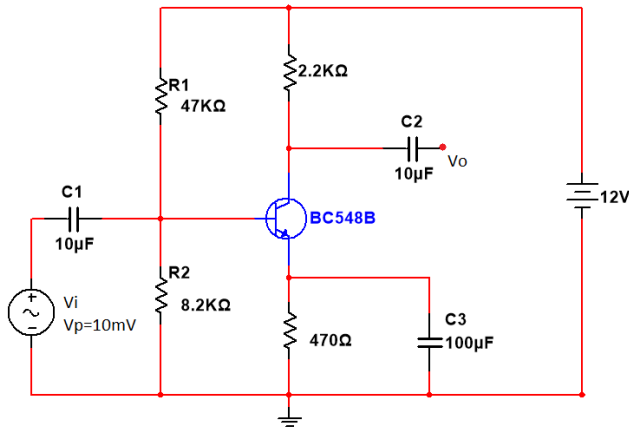


Figura 4.50 Circuito Amplificador de pequeña señal con BJT

2.- Como entrada introducir un voltaje senoidal de 10mVp, con frecuencia de 1 KHz.

3.- Dibujar la forma de onda en la salida

4.- Medir el valor pico y frecuencia de salida

	Valor Práctico	Observaciones
V_p		
f		

Tabla 4.1 Datos de Valo pico y frecuencia de señal de salida

5.- Con los datos anteriores obtenidos, calcular la ganancia de voltaje

Conclusiones y Observaciones por el estudiante.

Tema 5 Amplificadores con Transistores BJT's y FET's.

5.1 Diseño de una fuente de alimentación

5.1.1 Utilizando regulador transistorizado

5.1.2 Utilizar regulador de circuito integrado

El tema 5 consta de realizar un proyecto en el que el estudiante tome gran parte de lo visto en los temas del 1 al 3 del programa, investigue y lleve a la parte de diseño y aplicación final una fuente utilizando un regulador transistorizado o un regulador de circuito integrado. Para ello se dan las bases con las que debe de cumplir dicho proyecto.

Portada.

Índice.

Objetivo:

Realizar una fuente de alimentación Bipolar utilizando reguladores transistorizados de voltaje fijos positivo de 12 volts y 5 Volts a 1A.

a) Realizar una fuente de alimentación Bipolar utilizando Circuitos Integrados reguladores de voltaje fijos positivo de 12 volts y 5 Volts a 1A.

Marco Teórico

En esta sección, el estudiante investigará la teoría que soporta el diseño de fuentes de alimentación de C.D. bipolar y el uso de reguladores de voltaje fijo.

Material y Equipo

Enlistar en esta sección todo el material utilizado para su proyecto final, con los costos individuales y final.

Desarrollo

- 1.- Diseñar una fuente de alimentación bipolar de 12 volts y 5V.
- 2.- Si hay cálculos del diseño agregarlos en la sección de análisis de resultados del reporte final.
- 3.- Simular el circuito en Multisim, conectando una carga cada salida de 100 Ω 1 watt. Agregar las pantallas de simulación en la sección de análisis de resultados del reporte final.
- 4.- Implementar el circuito en tablilla de circuito impreso. (En la tablilla debe llevar las iniciales de los integrantes del equipo)
- 5.- Montar el circuito en una caja que tenga un interruptor de encendido, un Led indicador de encendido y en las salidas colocar bornes para las salidas de voltaje (12V y 5V), y negativo.
- 6.- Incluir en el reporte del proyecto los cálculos, especificaciones técnicas, simulaciones, imágenes y costos del proyecto.

Análisis de resultados

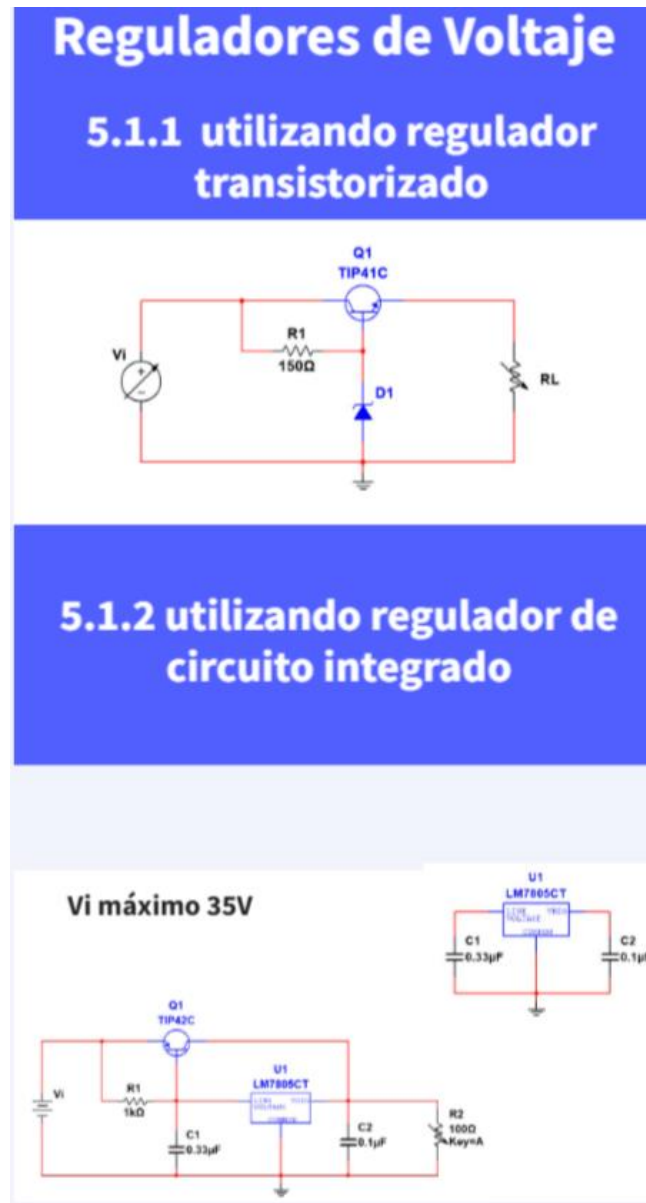
Agregar en esta sección la hoja de cálculos y las pantallas de las simulaciones en Multisim, así como las fotos del desarrollo de proyecto y del multímetro indicando los voltajes de salida.

Conclusiones individuales de los integrantes del equipo**Fuentes de Información**

1.- Infografía. Reguladores de voltaje transistorizado y con circuito integrado

Software utilizado. Genially

Objetivo: Introducir al estudiante en la aplicación de reguladores de voltaje ya sea con transistores y circuito integrado, en el que la parte de rectificación y filtrado se estudiaron en las primeras unidades.



Anexos

Anexo A Solución de Ejercicios Prácticos

Unidad I

1.- Obtener las corrientes I_1 , I_2 y I_{D2} del siguiente circuito

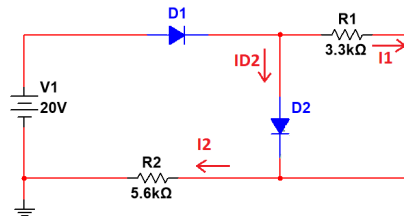


Figura A.1.1 Circuito diodos

El diodo D2 conduce debido a tener menos resistencia que R1, entonces

$$V_D = V_{R2} \cong 0.7V$$

$$I_1 = \frac{V_{R1}}{R_1} = \frac{0.7V}{3.3K\Omega} = 212\mu A$$

Haciendo LVK:

$$V_1 - V_{D1} - V_{D2} - V_{R2} = 0$$

$$20V - 0.7V - 0.7V - V_{R2} = 0$$

$$V_{R2} = 20V - 0.7V - 0.7V = 18.6V$$

$$I_2 = I_{R2} = \frac{V_{R2}}{R_2} = \frac{18.6V}{5.6K\Omega} = 3.32mA$$

Haciendo una LCK:

$$I_2 - I_1 - I_{D2} = 0$$

$$I_{D2} = I_2 - I_1 = 3.32\text{mA} - 212\mu\text{A} = 3.1\text{mA}$$

Simulación en Multisim

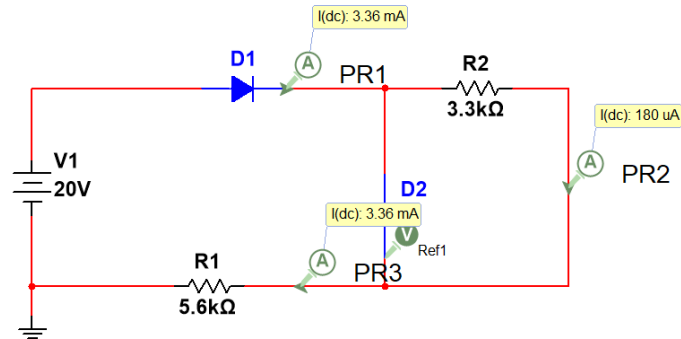


Figura A.1.2 Simulación en Multisim

2.- Obtener las corrientes la forma de onda de V_o . Del siguiente circuito

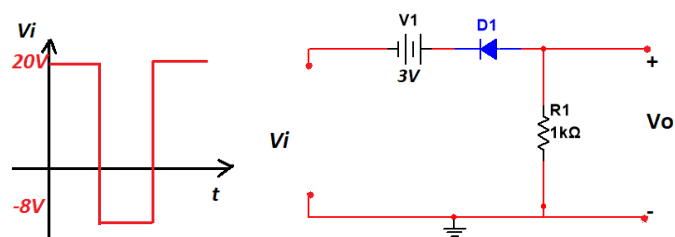


Figura A.1.3 Circuito recortador serie

Semiciclo Positivo:

El diodo no conduce, está polarizado en inversa y $V_o = 0\text{V}$

Semiciclo Negativo:

Haciendo una LVK

$$-V_i + V_1 + V_{D1} - V_o = 0$$

$$V_o = -8V + 3V + 0.7V = -4.3V$$

La forma de onda de V_o es:

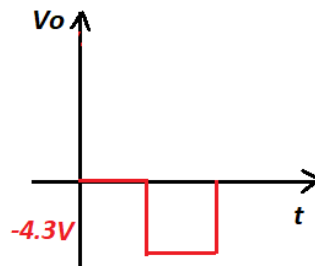


Figura A.1.4 Voltaje de V_o de recortador serie

3.- Obtener $5T$. Compararla con $T/2$. de la señal aplicada. Graficar V_o

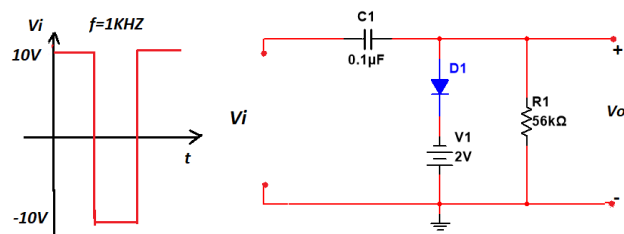


Figura A.1.5 Circuito recortador paralelo

$$5T = 5 \cdot R \cdot C = 5(56K\Omega)(0.1\mu F) = 28mS \quad \text{y} \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1KHz} = 1mS \quad .$$

Como se puede observar $5T \gg \frac{T}{2}$, entonces la señal de salida conserva la forma de onda cuadrada.

Semiciclo Positivo: El diodo conduce

Haciendo LVK

$$+V_i - V_c - V_d + V_1 = 0$$

$$V_c = 10V - 0.7V + 2V = 11.3V \text{ (carga del capacitor)}$$

$$V_o = -1.3V$$

Semiciclo Negativo: El diodo no conduce

Haciendo LVK

$$-V_i - V_c - V_o = 0$$

$$V_o = -10V - 11.3V = -21.3V$$

La forma de onda de V_o es:

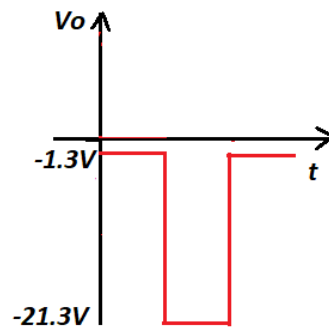


Figura A.1.6 Voltaje de V_o de Circuito recortador paralelo

4.- Del siguiente circuito, obtener VCD, Vrizo, ICD y forma de onda de voltaje en RL. Determinar también la corriente promedio de los diodos.

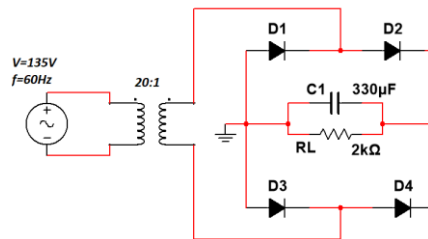


Figura A.1.7 Circuito rectificador con filtro C

En el primario del transformador:

$$V_p = \sqrt{2}(135V) = 190.92V$$

Secundario del Transformador:

$$V_p = \frac{190.92V}{20} = 9.54V$$

En la Resistencia RL:

$$V_p(RL) = 9.54V - 1.4V = 8.14V$$

$$VCD \cong V_p \cong 8.14V.$$

$$I_{CD} = \frac{V_{CD}}{R_L} = \frac{8.14V}{2K\Omega} = 4.07mA.$$

$$V_r = \frac{I_{CD}}{fC} = \frac{4.07mA}{120Hz(330\mu F)} = 103mV$$

Graficando V_o :

$$V_{max} = V_p = 8.14V$$

$$V_{min} = V_{max} - V_r = 8.14V - 103mV = 8.03V$$

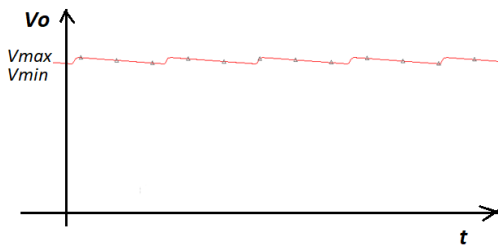


Figura A.1.8 Voltaje de V_o Circuito rectificador con filtro C

5.- Del siguiente circuito, obtener el rango de voltaje de entrada V_i , al que la resistencia R_L se mantendrá a 8V sin sobrepasar la potencia máxima del diodo zener.

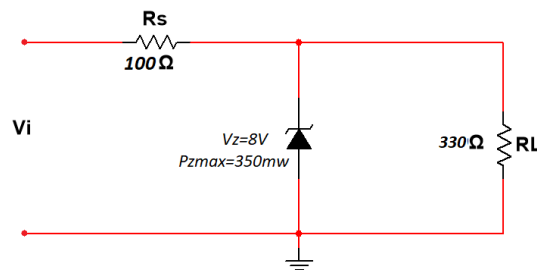


Figura A.1.9 Circuito regulador con Zener

Para V_i min:

Divisor de voltaje y despejar V_i , cuando $V_{RL}=8V$

$$V_i = \frac{V_{RL}(R_S + R_L)}{R_L} = \frac{8V(100\Omega + 330\Omega)}{330\Omega} = 10.42V$$

Para V_i max:

$$I_{z(max)} = \frac{P_{max}}{V_z} = \frac{350mW}{8V} = 43.75mA$$

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{8V}{330\Omega} = 24.24mA$$

Entonces la corriente máxima total sería:

$$I_T = I_{z(max)} + I_{RL} = 43.75mA + 24.24mA = 68mA$$

$$V_{RS} = I_T \cdot R_S = 68mA(100\Omega) = 6.8V$$

Por lo tanto:

$$V_i = V_{RS} + V_{RL} = 6.8V + 8V = 14.8V$$

El rango es: $10.48V < V_i < 14.8V$

Unidad II

1.- Del siguiente circuito, obtener:

a) I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

b) Duplicar la ganancia y obtener I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}

c) Obtener el porcentaje de variación de I_{CQ} y V_{CEQ}

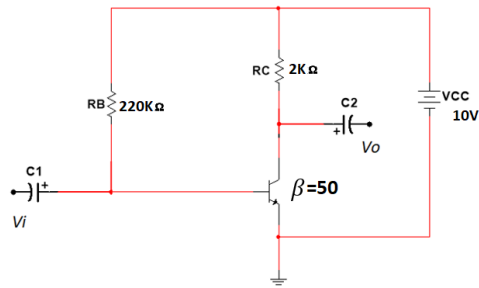


Figura A2.1 Circuito con BJT polarización fija

a)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{220K\Omega} = 42.27\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 42.27\mu A(50) = 2.11mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 10V - 2.11mA(2K\Omega) = 5.78V$$

b)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{10V - 0.7V}{220K\Omega} = 42.27\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 42.27\mu A(100) = 4.22mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C \cdot R_C = 10V - 4.22mA(2K\Omega) = 1.56V$$

c)

Porcentaje de variación I_{CQ} y V_{CEQ}

	$\beta=50$	$\beta=100$	Variación	% de Variación
ICQ	2.11mA	4.22mA	2.11mA	100%
VCEQ	5.78V	1.56V	4.22V	270%

Tabla A.2.1 Tabla comparativa de diferente ganancia en polarización fija

2.-Del siguiente circuito, obtener:

a) IBQ, ICQ y VCEQ

b) Duplicar la ganancia y obtener IBQ, ICQ y VCEQ

c) Obtener el porcentaje de variación de ICQ y VCEQ

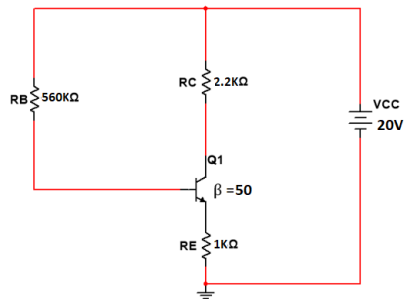


Figura A2.2 Circuito con BJT polarización Resistencia en Emisor

a)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + (\beta + 1)R_E} = \frac{20V - 0.7V}{560K\Omega + 51(1K\Omega)} = 31.58\mu A$$

$$ICQ = IB\beta = 31.58\mu A(50) = 1.57mA$$

$$VCEQ = VCC - IC(RC + RE) = 20V - 1.57mA(2.2K\Omega + 1K\Omega) = 14.97V$$

b)

$$IBQ = \frac{VCC - VBE}{RB + (\beta + 1)RE} = \frac{20V - 0.7V}{560K\Omega + 101(1K\Omega)} = 29.19\mu A$$

$$ICQ = IB\beta = 29.19\mu A(100) = 2.91mA$$

$$VCEQ = VCC - IC(RC + RE) = 20V - 2.91mA(2.2K\Omega + 1K\Omega) = 10.65V$$

c)

Porcentaje de variación ICQ y VCEQ

	$\beta=50$	$\beta=100$	Variación	% de Variación
ICQ	1.57mA	2.91mA	1.34mA	85%
VCEQ	14.97V	10.65V	4.32V	28.8%

Tabla A.2.2 Tabla comparativa de diferente ganancia con polarización en emisor

3.-Del siguiente circuito, obtener:

a) IBQ, ICQ y VCEQ

- b) Duplicar la ganancia y obtener I_{BQ} , I_{CQ} y V_{CEQ}
- c) Obtener el porcentaje de variación de I_{CQ} y V_{CEQ}

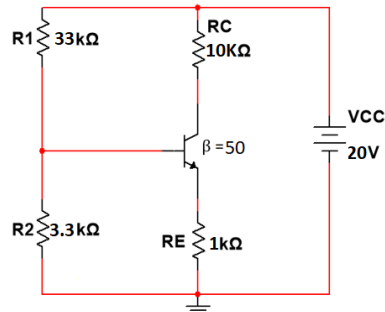


Figura A.2.3 Circuito con BJT polarización divisor de voltaje

a)

$$V_{TH} = V_{R2} = \frac{20V(3.3K\Omega)}{33K\Omega + 3.3K\Omega} = 1.82V$$

$$R_{TH} = R1 || R2 = 33K\Omega || 3K\Omega = 3K\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E} = \frac{1.82V - 0.7V}{3K\Omega + 51(1K\Omega)} = 20.74\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 20.74\mu(50) = 1.03mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 20V - 1.03mA(10K\Omega + 1K\Omega) = 8.67V$$

b)

$$V_{TH} = V_{R2} = \frac{20V(3.3K\Omega)}{33K\Omega + 3.3K\Omega} = 1.82V$$

$$R_{TH} = R1 || R2 = 33K\Omega || 3K\Omega = 3K\Omega$$

$$I_{BQ} = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (\beta + 1)R_E} = \frac{1.82V - 0.7V}{3K\Omega + 101(1K\Omega)} = 10.77\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 10.77 \mu(100) = 1.077 \text{mA}$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 20V - 1.077 \text{mA}(10K\Omega + 1K\Omega) = 8.15V$$

c)

	$\beta=50$	$\beta=100$	Variación	% de Variación
ICQ	1.03mA	1.077mA	47uA	4.5%
VCEQ	8.67V	8.15V	520mV	6.3%

Tabla A.2.3 Tabla comparativa de diferente ganancia con polarización divisor de voltaje

4.-Del siguiente circuito, obtener:

a) IBQ, ICQ y VCEQ

b) Duplicar la ganancia y obtener IBQ, ICQ y VCEQ

c) Obtener el porcentaje de variación de ICQ y VCEQ

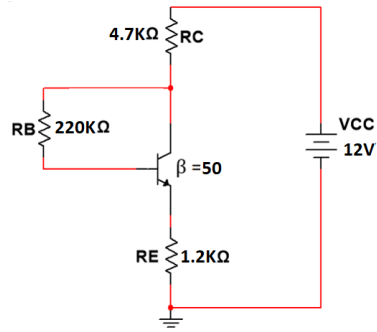


Figura A.2.4 Circuito con BJT polarización Realimentación de colector

a)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = \frac{12V - 0.7V}{220K\Omega + [50(4.7K\Omega + 1.2K\Omega)]} = 21.9\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 21.9\mu A(50) = 1.09mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 12V - 1.09mA(4.7K\Omega + 1.2K\Omega) = 5.57V$$

b)

$$I_{BQ} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B + \beta(R_C + R_E)} = \frac{12V - 0.7V}{220K\Omega + [100(4.7K\Omega + 1.2K\Omega)]} = 13.95\mu A$$

$$I_{CQ} = I_B \beta = 13.95\mu A(100) = 1.39mA$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_C(R_C + R_E) = 12V - 1.39mA(4.7K\Omega + 1.2K\Omega) = 3.8V$$

c)

	$\beta=50$	$\beta=100$	Variación	% de Variación
ICQ	1.09mA	1.39mA	300uA	27%
VCEQ	5.57V	3.8V	1.77V	46%

**Tabla A.2.4 Tabla comparativa de diferente ganancia con polarización
realimentación de colector**

Unidad III

1.- Del siguiente circuito, donde se muestra que el valor medido de $V_D=9V$.
obtener I_{DQ} , V_{GSQ} .

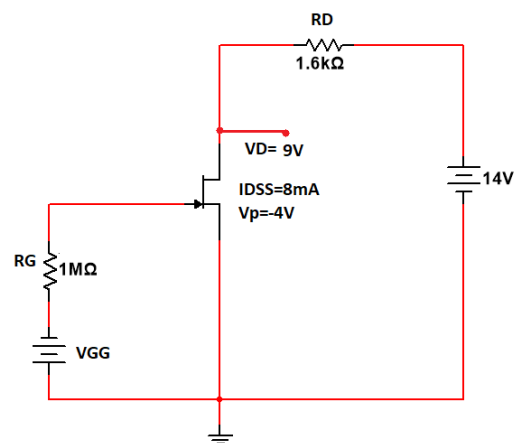


Figura A.3.1 Circuito Transistor JFET polarización fija

$V_D = V_{DS}$; entonces de $V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D$ se tiene:

$$9V = 14V - I_D(1.6K\Omega); \quad I_{DQ} = \frac{14V - 9V}{1.6K\Omega} = 3.12mA$$

De la ecuación de Shockley

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

Despejando V_{GS} se tiene:

$$V_{GSQ} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_D}{I_{DSS}}}\right) V_p = \left(1 - \sqrt{\frac{3.12mA}{8mA}}\right) (-4V) = -1.5V$$

2.- Realizar la investigación de configuración Drenador común por autopolarización, y resolver el siguiente ejercicio, obteniendo I_{DQ} , V_{GSQ} , V_D , V_{DS} y V_S . Realizar simulación en Multisim para su comprobación.

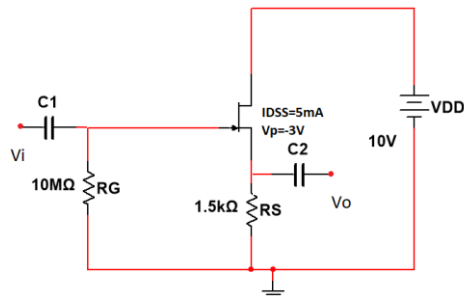


Figura A.3.2 Ejercicio Drenaje común autopolarizado

Análisis:

Primeramente se quitan los capacitores en el análisis de CD, en seguida se considera a la corriente de entrada 0A, y se realiza una LVK en la malla de entrada, obteniendo:

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

$$V_{GS} = -V_{RS}; \text{ y como } I_D \cong I_S \text{ entonces}$$

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

En la salida se hace una LVK

$$+VDD - VDS - VRS = 0$$

$$VDS = VDD - VRS$$

$$VDS = VDD - ID.RS$$

Los voltajes en terminales son:

$$VD = VDD$$

$$VS = ID.RS$$

Solución:

Se grafica la función del dispositivo

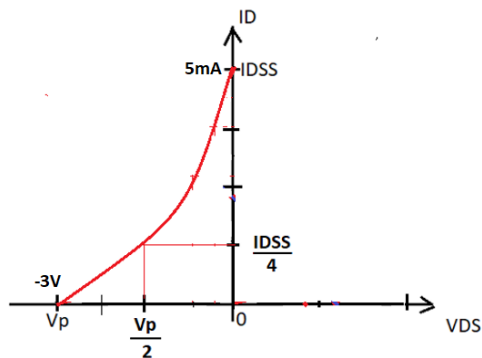


Figura A.3.3 Gráfica del dispositivo en Drenaje común autopolarizado

Entonces, se trazan dos puntos de $V_{GS} = -ID.RS$ en $ID = 0$, y otro punto, en este caso puede ser a $\frac{IDSS}{2}$.

P1: En $ID = 0$; $V_{GS} = 0V$

P2: En $ID = \frac{ID_{SS}}{2} = \frac{5mA}{2} = 2.5mA$: $V_{GS} = -2.5mA(1.5k\Omega) = -3.75V$

Se coloca la línea y donde cruce con la gráfica del dispositivo se traza una línea vertical y horizontal para encontrar IDQ y V_{GSQ} .

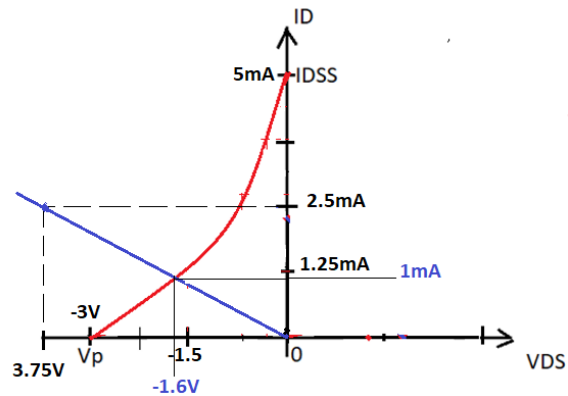


Figura A.3.4 Método gráfico en Drenaje común autopolarizado

Se observa que aproximadamente los valores son $IDQ \cong 1mA$ y $V_{GSQ} \cong -1.6V$

Calculando los voltajes en terminales:

$$V_{DS} = V_{DD} - ID \cdot R_S = 10V - 1mA(1.5K\Omega) = 8.5V$$

$$V_D = V_{DD} = 10V$$

$$V_S = ID \cdot R_S = 1mA(1.5K\Omega) = 1.5V$$

Simulación

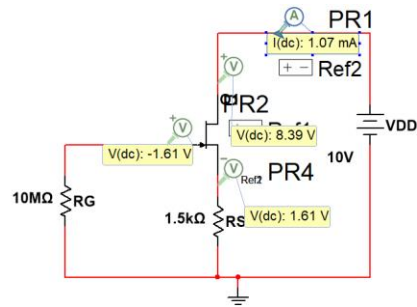


Figura A.3.5 Simulación Circuito del dispositivo en Drenaje común autopolarizado

3.- Del siguiente circuito, obtener gráficamente IDQ , $VGSQ$ y VDS

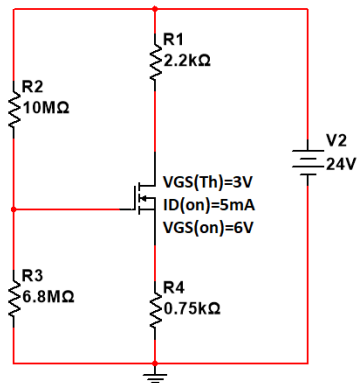


Figura A3.6 Ejercicio con MOSFET configuración Divisor de Voltaje

Graficando curva del dispositivo:

P1: $VGS(th) = 3V, ID = 0$

P2: $VGS(on) = 6V; ID(on) = 5mA$

P3:

$$K = \frac{ID(on)}{(VGS(on) - VGS(Th))^2} = \frac{5mA}{(6V - 3V)^2} = 555.55 \mu \frac{A}{V^2}$$

En $VGS=8V$;

$$ID = K(VGS - VGS(Th))^2 = 555.55 \mu \frac{A}{V^2} (8V - 3V)^2 = 13.88mA$$

Recta de Dispositivos externos:

$$VG = \frac{VDD \cdot R2}{R1 + R2} = \frac{24V(6.8M\Omega)}{10M\Omega + 6.8M\Omega} = 9.71V$$

$$De VGS = VG - ID \cdot RS;$$

$$En ID = 0$$

$$VGS = 9.71V$$

$$En VGS = 0$$

$$ID = \frac{VG}{RS} = \frac{9.71V}{750\Omega} = 12.94mA$$

Graficando:

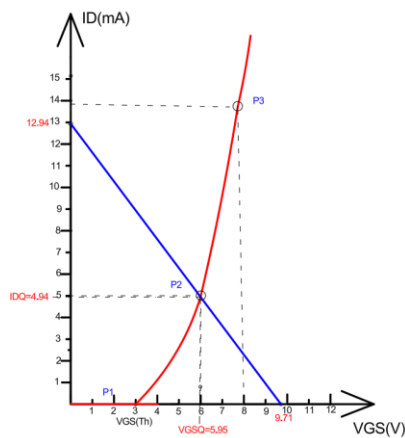


Figura A3.7 Método Gráfico con MOSFET configuración Divisor de Voltaje

De la gráfica la intersección da los valores de $IDQ = 4.94mA$ y $VGSQ = 5.95V$

$$VDS = VGG - ID(RD + RS)$$

$$VDS = 24V - 4.94mA(2.2K\Omega + 0.75K\Omega) = 9.42V$$

Unidad IV

1.-Del siguiente circuito obtener r_e , Z_i , Z_o y A_v

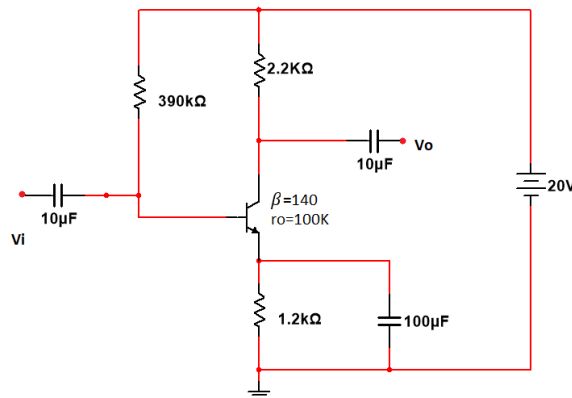


Figura A.4.1 Circuito BJT Resistencia en emisor

Análisis en CD

$$IB = \frac{VCC - VBE}{RB + (\beta + 1)RE} = \frac{20V - 0.7V}{390K\Omega + [(141)(1.2K\Omega)]} = 34.51\mu A$$

$$IE \cong IC = (\beta)IB = (140)(34.51\mu A) = 4.83mA$$

$$r_e = \frac{26mV}{IE} = \frac{26mV}{4.83mA} = 5.38\Omega$$

Análisis en CA

$$Z_i = R_B = 390K\Omega$$

Debido a que $r_o > 10R_C$, entonces:

$$Z_o = R_C = 2.2K\Omega$$

$$A_v = -\frac{R_C}{r_e} = -\frac{2.2K\Omega}{5.38\Omega} = -408$$

2.- Del siguiente circuito, obtener Z_i , Z_o y A_v

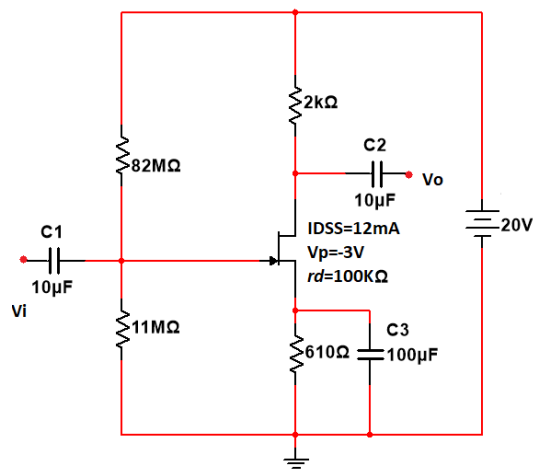


Figura A.4.2 Circuito JFET por Divisor de Voltaje

Análisis en CD:

Se obtiene I_{DQ} y V_{GSQ} con análisis analítico:

$$V_G = \frac{V_{DD} \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20V(82M\Omega)}{82M\Omega + 11M\Omega} = 2.36V$$

$$\text{De } aID^2 + bID + c = 0$$

$$a = \frac{RS^2}{Vp^2} = \frac{610\Omega^2}{(-3V)^2} = 41344$$

$$b = \frac{2}{Vp} \left[\frac{RS}{1} - \frac{VDD \cdot R2 \cdot RS}{(R1 + R2)Vp} \right] = \frac{2}{-3V} \left[\frac{610}{1} - \frac{20V(11M\Omega)(610M\Omega)}{(82M\Omega + 11M\Omega)(-3V)Vp} \right] = -810.67$$

$$c = 1 - \frac{2VDD \cdot R2}{Vp(R1 + R2)} + \frac{VDD^2 R2^2}{(R1 + R2)^2 Vp^2} = 3.199$$

$$\text{Resolviendo de la forma: } x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Se tiene:

$$IDQ = 5.47mA \quad y$$

$$VGS = VG - ID \cdot RS = 2.36V - 5.47mA(610\Omega) = 0.97V$$

Análisis en CA:

$$Zi = R1 || R2 = 82M\Omega || 11M\Omega = 9.7M\Omega$$

$$\text{Si } rd > 10RD; 100K\Omega > 10(2K). \quad \text{entonces } Zo = RD = 2K\Omega$$

$$gm0 = \frac{2IDSS}{|Vp|} = \frac{2(12mA)}{|-3V|} = 8 \frac{mA}{V}$$

$$gm = gm0 \left[1 - \frac{VGS}{Vp} \right] = 8 \frac{mA}{V} \left[1 - \frac{-0.97V}{-3V} \right] = 5.4 \frac{mA}{V}$$

$$A_v = -g_m \cdot R_D = -5.4 \frac{mA}{V} (2K\Omega) = -10.8$$

3.- Del siguiente circuito obtener Zi, Zo y Av

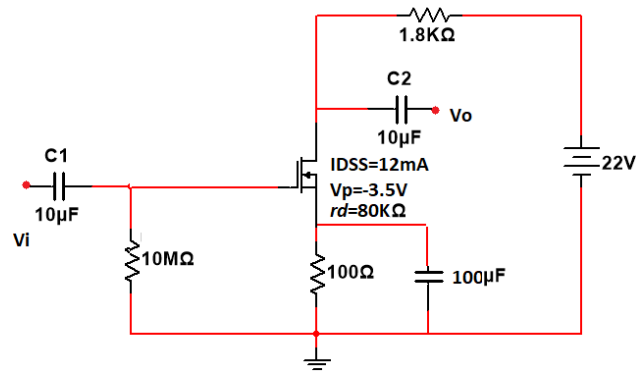


Figura A.4.3 Circuito MOSFET Resistencia en Emisor

Análisis en CD:

Se obtiene IDQ y VGSQ con análisis analítico visto con software:

```

IDSS := 0.012      AUTOPOLARIZACIÓN
VP := -3.5
RS := 100

a := (IDSS * RS^2) / VP^2
b := (2 * IDSS * RS) / VP - 1
ce := IDSS

x1 := (-b + sqrt(b^2 - 4 * a * ce)) / (2 * a) → 0.16464299237290254933
x2 := (-b - sqrt(b^2 - 4 * a * ce)) / (2 * a) → 0.0074403409604307840081 OK

VGS := -x2 * RS → -0.74403409604307840081
entonces

```

Figura A.4.4 Solución analítica con software Mthcad

$$IDQ = 7.44mA \quad y \quad VGSQ = 744mV$$

Análisis en CA:

$$Zi = RG = 10M\Omega$$

$$Si \quad rd > 10RD; \quad 80K\Omega > 10(1.8K). \quad entonces \quad Zo = RD = 1.8K\Omega$$

$$gm0 = \frac{2IDSS}{|Vp|} = \frac{2(12mA)}{|-3.5V|} = 6.8 \frac{mA}{V}$$

$$gm = gm0 \left[1 - \frac{VGS}{Vp} \right] = 6.8 \frac{mA}{V} \left[1 - \frac{-0.744V}{-3.5V} \right] = 5.11 \frac{mA}{V}$$

$$Av = -gm \cdot RD = -5.11 \frac{mA}{V} (1.8K\Omega) = -9.2$$

Referencias

1. Boylestad R. L., Nashelsky L. (2009), Electrónica Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos, México, Décima edición, Editorial Prentice Hall.
2. Malvino A. P. (2007) Principios de Electrónica Séptima edición Editorial. Mc Graw Hill.
- 3.- Muhammad H., R. (2010), MICROELECTRONIC CIRCUITS: ANALYSIS AND DESIGN, 2 edition, published by CL Engineering.

Instrumentación Didáctica



Página 01 de 12

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AGUASCALIENTES
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

PERIODO FNE-JUN24
NOMBRE DE LA ASIGNATURA DIODOS Y TRANSISTORES
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERIA ELECTRONICA
CLAVE DE LA ASIGNATURA ETF1012-FA1
HORAS TEORÍA-HORAS PRÁCTICA-CRÉDITOS 03-02-05

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. 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 en 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.

3. COMPETENCIA ESPECÍFICA 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.

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



Página 02 de 12

4. ANÁLISIS POR COMPETENCIAS ESPECÍFICAS.

4.1. COMPETENCIA NO.: 01

4.2. DESCRIPCIÓN: Analiza y diseña circuitos con diodos para su aplicación en circuitos electrónicos.

4.3. TEMAS Y SUBTEMAS PARA DESARROLLAR LA COMPETENCIA ESPECÍFICA	4.4. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	4.5. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA	4.6. DESARROLLO DE COMPETENCIAS GENERICAS	4.7. HORAS TEÓRICO-PRÁCTICA
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.) características y circuitos de aplicación.	- Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas	Recopilar información acerca de la polarización de los dispositivos fabricados con materiales semiconductores en bibliografía y páginas electrónicas. Preparar información acerca del funcionamiento de los diferentes tipos de diodos y sus aplicaciones. (Rectificadores, Sujetadores, multiplicadores, reportadores, Reguladores, Otros diodos). Exposición de la información recopilada. Retroalimenta la investigación del alumno. Diseña práctica para comprobar el funcionamiento de Rectificadores, Sujetadores, dobladores, recortadores, Reguladores. Examen escrito.	Se sugiere que el docente seleccione las competencias que evaluará de acuerdo a las actividades de aprendizaje. - 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.	1905

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4.8. INDICADORES DE ALCANCE	4.9. VALOR DEL INDICADOR %
A. Se adapta a situaciones y contextos complejos	20%
B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas	10%
C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad)	20%
D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico	10%
E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	20%
F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	20%

4.10. NIVELES DE DESEMPEÑO.

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia Alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores A. Se adapta a situaciones y contextos complejos B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad) D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje. F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	95 a 100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	85 a 94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	75 a 84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	70 a 74
Competencia no alcanzada	No suficiente	No cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimientos y actitudes de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	NA (No alcanzada)

4.11. MATRIZ DE EVALUACIÓN.

EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	%	INDICADORES DE ALCANCE						EVALUACIÓN FORMATIVA DE LA COMPETENCIA
		A	B	C	D	E	F	
EXAMEN, PRÁCTICAS Y ACTIVIDADES	100	20	10	20	10	20	20	EVALUACIÓN INTEGRAL
Total	20%	10%	20%	10%	20%	20%	20%	

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4. ANÁLISIS POR COMPETENCIAS ESPECÍFICAS.

4.1. COMPETENCIA NÚM.: 02

4.2. DESCRIPCIÓN: Analiza y diseña circuitos de polarización en las regiones de operación para su aplicación en redes electrónicas.

4.3. TEMAS Y SUBTEMAS PARA DESARROLLAR LA COMPETENCIA ESPECÍFICA	4.4. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	4.5. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA	4.6. DESARROLLO DE COMPETENCIAS GENÉRICAS	4.7. HORAS TEÓRICO-PRÁCTICA
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	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. Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante. Preparar examen escrito.	Se sugiere que el docente seleccione las competencias que evaluará de acuerdo a las actividades de aprendizaje. - 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.	1906

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4.8. INDICADORES DE ALCANCE	4.9. VALOR DEL INDICADOR %
A. Se adapta a situaciones y contextos complejos	20%
B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas	10%
C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad)	20%
D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico	10%
E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	20%
F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	20%

4.10. NIVELES DE DESEMPEÑO.

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia Alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores A. Se adapta a situaciones y contextos complejos B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad) D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje. F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	95 a 100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	85 a 94
	Buena	Cumple tres de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	75 a 84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	70 a 74
Competencia no alcanzada	No suficiente	No cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimientos y actitudes de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	NA (No alcanzada)

4.11. MATRIZ DE EVALUACIÓN.

EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	%	INDICADORES DE ALCANCE						EVALUACIÓN FORMATIVA DE LA COMPETENCIA
		A	B	C	D	E	F	
EXAMEN, PRACTICAS Y ACTIVIDADES	100	20	10	20	10	20	20	EVALUACION INTEGRAL
Total	20%	10%	20%	10%	20%	20%		

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4. ANÁLISIS POR COMPETENCIAS ESPECÍFICAS.

4.1. COMPETENCIA NÚM.: Q3

4.2. DESCRIPCIÓN: Análisis y diseño de circuitos de polarización en la región activa para su aplicación en redes electrónicas.

4.3. TEMAS Y SUBTEMAS PARA DESARROLLAR LA COMPETENCIA ESPECÍFICA	4.4. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	4.5. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA	4.6. DESARROLLO DE COMPETENCIAS GENERICAS	4.7. HORAS TEÓRICO-PRÁCTICA
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	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. Relacionar los contenidos de esta asignatura con los demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante. Examen escrito.	Se sugiere que el docente seleccione las competencias que evaluará de acuerdo a las actividades de aprendizaje. - 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.	1302

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4.8. INDICADORES DE ALCANCE	4.9. VALOR DEL INDICADOR %
A. Se adapta a situaciones y contextos complejos	20%
B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas	10%
C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad)	20%
D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico	10%
E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	20%
F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	20%

4.10. NIVELES DE DESEMPEÑO.

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia Alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores A. Se adapta a situaciones y contextos complejos B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad) D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje. F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	95 a 100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	85 a 94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	75 a 84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	70 a 74
Competencia no alcanzada	No suficiente	No cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimientos y actitudes de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	NA (No alcanzada)

4.11. MATRIZ DE EVALUACIÓN.

EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	%	INDICADORES DE ALCANCE						EVALUACIÓN FORMATIVA DE LA COMPETENCIA
		A	B	C	D	E	F	
EXAMEN, PRÁCTICAS Y ACTIVIDADES	100	20	10	20	10	20	20	EVALUACIÓN INTEGRAL
Total		20%	10%	20%	10%	20%	20%	

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4. ANÁLISIS POR COMPETENCIAS ESPECÍFICAS.

4.1. COMPETENCIA NO.: Q4

4.2. DESCRIPCIÓN: Analiza y diseña amplificadores de pequeña señal utilizando los modelos equivalentes del BJT y FET para comprender sus puntos de operación óptimo.

4.3. TEMAS Y SUBTEMAS PARA DESARROLLAR LA COMPETENCIA ESPECÍFICA	4.4. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	4.5. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA	4.6. DESARROLLO DE COMPETENCIAS GENÉRICAS	4.7. HORAS TEÓRICO-PRÁCTICA
Amplificadores con transistores BJT's y FET's. 4.1 Introducción a los Amplificadores en pequeña señal. 4.2 Amplificador con BJT. 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	- Buscar, seleccionar y analizar información en las distintas fuentes bibliográficas propuestas	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. Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional. Relacionar los contenidos de esta asignatura con los demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante. Examen escrito.	- Se sugiere que el docente seleccione las competencias que evaluará de acuerdo a las actividades de aprendizaje. - 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.	0802

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4.8. INDICADORES DE ALCANCE	4.9. VALOR DEL INDICADOR %
A. Se adapta a situaciones y contextos complejos	20%
B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas	10%
C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad)	20%
D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico	10%
E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	20%
F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	20%

4.10. NIVELES DE DESEMPEÑO.

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia Alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores A. Se adapta a situaciones y contextos complejos B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad) D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje. F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	95 a 100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	85 a 94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	75 a 84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	70 a 74
Competencia no alcanzada	No suficiente	No cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimientos y actitudes de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	NA (No alcanzada)

4.11. MATRIZ DE EVALUACIÓN.

EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	%	INDICADORES DE ALCANCE						EVALUACION FORMATIVA DE LA COMPETENCIA
		A	B	C	D	E	F	
EXAMEN, PRÁCTICAS Y ACTIVIDADES	100	20	10	20	10	20	20	EVALUACION INTEGRAL
Total	20%	10%	20%	10%	20%	20%	20%	

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4. ANÁLISIS POR COMPETENCIAS ESPECÍFICAS.

4.1. COMPETENCIA NO.: Q5

4.2. 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.

4.3. TEMAS Y SUBTEMAS PARA DESARROLLAR LA COMPETENCIA ESPECÍFICA	4.4. ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE	4.5. ACTIVIDADES DE ENSEÑANZA	4.6. DESARROLLO DE COMPETENCIAS GENÉRICAS	4.7. HORAS TEÓRICO-PRÁCTICA
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 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. Observar y analizar fenómenos y problemáticas propias del campo ocupacional. Relacionar los contenidos de esta asignatura con las demás del plan de estudios a las que ésta da soporte para desarrollar una visión interdisciplinaria en el estudiante.	Se sugiere que el docente seleccione las competencias que evaluará de acuerdo a las actividades de aprendizaje. - 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.	0005

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



4.8. INDICADORES DE ALCANCE	4.9. VALOR DEL INDICADOR %
A. Se adapta a situaciones y contextos complejos	20%
B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas	10%
C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad)	20%
D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico	10%
E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje.	20%
F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	20%

4.10. NIVELES DE DESEMPEÑO.

DESEMPEÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	INDICADORES DE ALCANCE	VALORACIÓN NUMÉRICA
Competencia Alcanzada	Excelente	Cumple al menos cinco de los siguientes indicadores A. Se adapta a situaciones y contextos complejos B. Hace aportaciones a las actividades académicas desarrolladas C. Propone y/o explica soluciones o procedimientos no vistos en clase (creatividad) D. Introduce recursos y experiencias que promueven un pensamiento crítico E. Incorpora conocimientos y actividades interdisciplinarias en su aprendizaje. F. Realiza su trabajo de manera autónoma y autorregulada	95 a 100
	Notable	Cumple cuatro de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	85 a 94
	Bueno	Cumple tres de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	75 a 84
	Suficiente	Cumple dos de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	70 a 74
Competencia no alcanzada	No suficiente	No cumple con el 100% de evidencias conceptuales, procedimientos y actitudes de los indicadores definidos en el nivel de desempeño excelente	NA (No alcanzada)

4.11. MATRIZ DE EVALUACIÓN.

EVIDENCIA DE APRENDIZAJE	%	INDICADORES DE ALCANCE						EVALUACIÓN FORMATIVA DE LA COMPETENCIA
		A	B	C	D	E	F	
INS2DOCGUA								
Total		20%	10%	20%	10%	20%	20%	

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024



5. FUENTES DE INFORMACIÓN Y APOYOS DIDÁCTICOS.

5.1. FUENTES DE INFORMACIÓN

--

5.2. APOYOS DIDÁCTICOS.

--

6. CALENDARIZACIÓN DE EVALUACIÓN (SEMANAS).

SEMANA	01 ED	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16 ES
T.P.						EF01EF0					EF02EF0				EF03EF0	EF04EF0
T.R.									EF01EF0				EF02EF0	EF03EF0	EF04EF0	EF05EF0
S.D.					SD01					SD02					SD03	

ED = Evaluación diagnóstica. EF n = Evaluación formativa. ES = Evaluación sumativa.
TP= Tiempo planeado TR=Tiempo real SD = Seguimiento departamental



Este documento fue validado y registrado en nuestro servidor por quien suscribe y puede ser localizado con este código QR para verificar su autenticidad. No requiere firma gráfica

FECHA DE ELABORACIÓN: 2024-02-26

DOCENTE

MAE. ALEJANDRO SANCHEZ BARROSO

VO. BQ.

M.E.C. JUAN CARLOS DIAZ GUTIERREZ
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA

Elaborado por: Titulares de Departamentos
Revisado por: Subdirector Académico
Autorizado por: Director
Referencia a las normas: ISO 9001:2015 8.1, 8.2.2, 8.5.1

Código: ITA-AC-GC-FO-02
Revisión: 1
Emisión: 15/01/2024

CARTA DE RECONOCIMIENTO DEL AUTOR DE LOS DERECHOS A FAVOR DEL TECNM

Ciudad de Aguascalientes, México, 06/03/2025

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO.

PRESENTE

Bajo protesta de decir verdad, Alejandro Sánchez Barroso, personal docente adscrito al Instituto Tecnológico de Aguascalientes del Tecnológico Nacional de México, manifiesto que en cumplimiento de mis actividades relacionadas con el Año Sabático elaboré la obra titulada “Elaboración de apuntes de la materia de Diodos y Transistores para la carrera de Ingeniería Electrónica”.

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



Alejandro Sánchez Barroso

ALEJANDRO SANCHEZ BARROSO

Diodos y Transistores ETF-1012 Sabatico A-D 2024 ASB.pdf

 Tecnológico Nacional de México

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::20755:438166413

Fecha de entrega

10 mar 2025, 11:20 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

10 mar 2025, 11:33 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

Diodos y Transistores ETF-1012 Sabatico A-D 2024 ASB.pdf

Tamaño de archivo

7.8 MB

263 Páginas

25,319 Palabras

120,698 Caracteres

15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía

Fuentes principales

- 13%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 10%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.