



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN**

**“APUNTES DE DISPOSITIVOS
ELECTRONICOS”**

T E S I S

**PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO
ELECTRICISTA**

P R E S E N T A :

ALAIN RODRIGUEZ RAYON

ASESOR: ING. JESUS NUÑEZ VALADEZ



MÉXICO 2008

AGRADECIMIENTOS

A MI MAMÁ

María Guadalupe Rayón Quintero, por el amor, la fuerza, la enseñanza, los regaños y valores que me enseñó los cuales me han dirigido por la vida y me han dado las alas que necesitaba para volar y haber culminado una de mis metas ¡Gracias Mamá!.

A MI FAMILIA y AMIGOS

Por creer en mí, y brindarme su apoyo incondicionalmente, además a todos aquellos que intervinieron para que este trabajo de tesis se terminara satisfactoriamente.

A MIS PROFESORES

Que me brindaron una excelente preparación profesional para enfrentar los retos en el ámbito laboral, y muy en especial al Ing. Jesús Núñez Valadéz por su apoyo, tiempo y paciencia para la realización de este trabajo de tesis, Gracias.

A DIOS

Por la vida tan maravillosa que me dio, llena de bendiciones, con una mamá excepcional que me ama, una familia que me apoya y amigos que creyeron en mí.

Por último, agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Estudios Superiores Aragón, mi escuela y mi casa, que me dieron la formación académica.

Alain Rodríguez Rayón

Apuntes de Dispositivos Electrónicos

ÍNDICE

Introducción	1
Capitulo 1. Estructura del Átomo	2
1.1 El Átomo	2
1.2 Teoría de Dalton	2
1.3 El Átomo Nuclear de Rutherford	3
1.4 El Átomo de Bohr	4
Capitulo 2. Semiconductores	5
2.1 Síntesis Propiedades Eléctricas	5
2.2 Características Electrónicas	5
2.3.- Funcionamiento de la Juntura “N-P”	8
Capitulo 3. Diodos	11
3.1 Punto de operación	11
3.2 Recta de Carga Estática	13
3.3 Teorema de Northon y Thevenin	14
3.4 Señal Pequeña	17
3.5 Divisor de Corriente	25
3.6 Señal Grande	31
Capitulo 4. Aplicación de Diodos	36
4.1 Detector o rectificador de media onda	36
4.2 Rectificador de onda completa con derivación central	38
4.3 Rectificador de onda completa tipo puente	41
4.4 Doblador de voltaje	42
4.5 Multiplicador de voltaje	42
4.6 Compuertas	43
4.6.1 Compuertas OR	43
4.6.2 Compuerta AND (y) lógica positiva	44
4.7 Recortadores	46
Capitulo 5 Zener Regulador	48
5.1 Modelo Piezolineal del Zener	48
5.2 Calculo de variaciones de voltaje en la resistencia de carga	52
5.3 Rediseño para variaciones de voltaje con R's	55
Capitulo 6 TBJ Amplificador	59
6.1 Introducción	59
6.2 Construcción física del transistor NPN	60

6.3 Polarización	61
6.4 Nomenclatura	63
6.5 Ecuación fundamental del transistor	64
6.6 Gráfica de punto de operación de un problema de polarización	73
Conclusiones	82
Referencia Bibliografía	83
Cibergrafía	83

INTRODUCCIÓN.

Hace unas cuantas décadas se ha seguido de cerca la introducción del transistor, y no fue, si no hacia finales de los años cuarenta cuando surgió un cambio en la industria de la electrónica.

La miniaturización que se ha logrado nos deja sorprendidos de sus alcances. Sistemas completos aparecen ahora sobre una pastilla de silicio, miles de veces más pequeña que un solo elemento de las redes iniciales. Las ventajas asociadas con los sistemas actuales, comparados con las redes de bulbos de los años anteriores, resultan en su mayor parte, obvias de inmediato: son más pequeños y ligeros, no tienen requerimientos de calentamiento o disipación de calor (como en el caso de los bulbos), tiene una construcción más robusta, son más eficientes y no requieren de un periodo de calentamiento.

La miniaturización desarrollada en los años (ó décadas) recientes ha dado por resultado sistemas tan pequeños que ahora el propósito básico del encapsulado sólo es obtener algunos medios para manipular el dispositivo y asegurar que las conexiones permanezcan fijas en forma adecuada en la base de los semiconductores. Los límites de la miniaturización depende de tres factores: la calidad del material semiconductor, la técnica del diseño de redes y los límites de la manufactura y el equipo de procesamiento.

Se considera que la electrónica comenzó con el diodo de vacío inventado por John Ambrose Fleming en 1904. El funcionamiento de este dispositivo está basado en el efecto Edison. Edison fue el primero que observó en 1883 la emisión termoiónica, al colocar una lámina dentro de una bombilla para evitar el ennegrecimiento que producía en la ampolla de vidrio el filamento de carbón. Cuando se polarizaba positivamente la lámina metálica respecto al filamento, se producía una pequeña corriente entre el filamento y la lámina. Este hecho se producía porque los electrones de los átomos del filamento, al recibir una gran cantidad de energía en forma de calor, escapaban de la atracción del núcleo (emisión termoiónica) y, atravesando el espacio vacío dentro de la bombilla, eran atraídos por la polaridad positiva de la lámina.

El otro gran paso lo dio Lee De Forest cuando inventó el tríodo en 1906. Este dispositivo es básicamente como el diodo de vacío, pero se le añadió una rejilla de control situada entre el cátodo y la placa con el objeto de modificar la nube electrónica del cátodo, variando así la corriente de placa. Esto fue muy importante para que se fabricaran los primeros amplificadores de sonido, receptores de radio, televisores, etc.

La electrónica en si, es la rama de actualidad y de la civilización moderna de nuestro futuro. La sustitución de las lámparas de descarga por los transistores supuso un paso de gigante llamado miniaturización La electrónica moderna nace con el transistor, en los años 50.

CAPITULO 1

ESTRUCTURA DEL ÁTOMO

En este primer capítulo analizaremos las propiedades atómicas de los materiales conductores a los niveles discontinuos de la energía electrónica en los átomos.

1.1 El Átomo

Es la unidad más pequeña posible de un elemento, figura 1.1 . En la filosofía de la antigua Grecia, la palabra “átomo” se empleaba para referirse a la parte de materia más pequeña que podía concebirse. Esa “partícula fundamental”, por emplear el término moderno para ese concepto, se consideraba indestructible. De hecho, átomo significa en griego “no divisible”. El conocimiento del tamaño y la naturaleza del átomo avanzó muy lentamente a lo largo de los siglos ya que la gente se limitaba a especular sobre él.

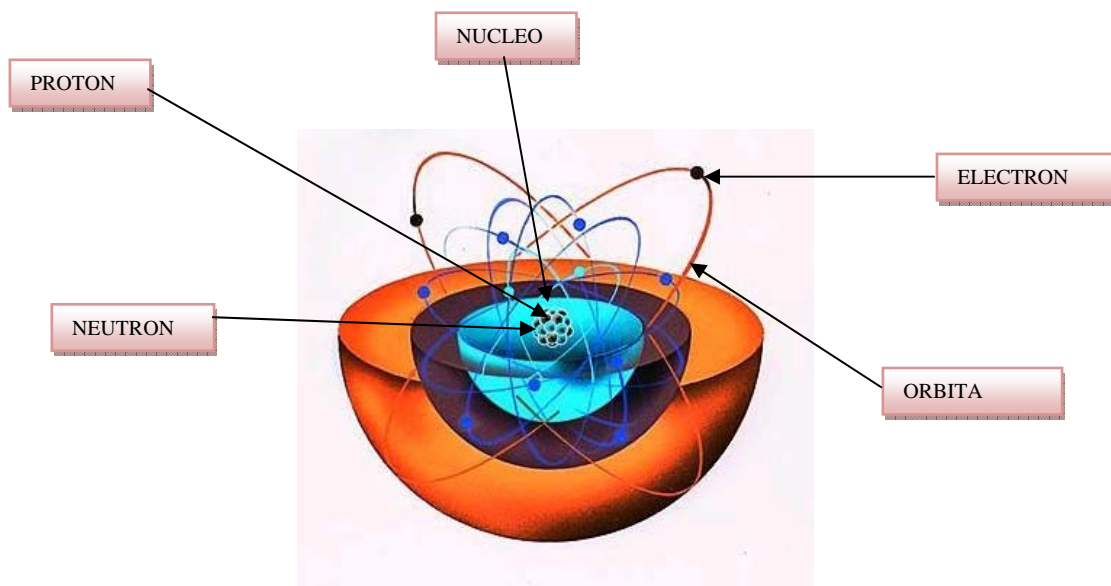


Figura 1.1 Átomo

1.2 Teoría de Dalton

John Dalton, profesor y químico británico, estaba fascinado por el rompecabezas de los elementos. A principios del siglo XIX estudió la forma en que los diversos elementos se combinan entre sí para formar compuestos químicos. Aunque muchos otros científicos, empezando por los antiguos griegos, habían afirmado ya que las unidades más pequeñas de una sustancia eran los átomos, se considera a Dalton como una de las figuras más significativas de la teoría atómica porque la convirtió en algo cuantitativo.

Dalton mostró que los átomos se unían entre sí en proporciones definidas. Las investigaciones demostraron que los átomos suelen formar grupos llamados moléculas. Cada molécula de agua, por ejemplo, está formada por un único átomo de oxígeno (O) y dos átomos de hidrógeno (H) unidos por una fuerza eléctrica denominada enlace químico, por lo que el agua se simboliza como HOH o H₂O, figura 1.2.

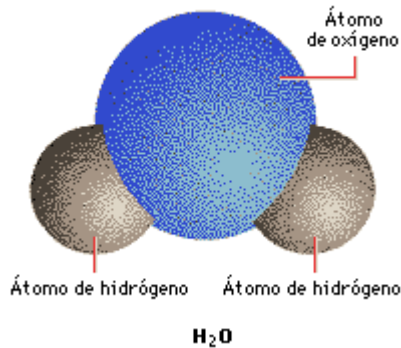


Figura 1.2.- Una molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, que forman un ángulo de 105°.

Todos los átomos de un determinado elemento tienen las mismas propiedades químicas. Por lo tanto, desde un punto de vista químico, el átomo es la entidad más pequeña que hay que considerar. Las propiedades químicas de los elementos son muy distintas entre sí; sus átomos se combinan de formas muy variadas para formar numerosos compuestos químicos diferentes. Algunos elementos, como los gases nobles helio y argón, son inertes; es decir, no reaccionan con otros elementos salvo en condiciones especiales. Al contrario que el oxígeno, cuyas moléculas son diatómicas (formadas por dos átomos), el helio y otros gases inertes son elementos monoatómicos, con un único átomo por molécula.

1.3 El Átomo Nuclear de Rutherford

El descubrimiento de la naturaleza de las emisiones radiactivas permitió a los físicos profundizar en el átomo, que según se vio consistía principalmente en espacio vacío. En el centro de ese espacio se encuentra el núcleo, que sólo mide, aproximadamente, una diezmilésima parte del diámetro del átomo. Rutherford dedujo que la masa del átomo está concentrada en su núcleo, figura 1.3. También postuló que los electrones, de los que ya se sabía que formaban parte del átomo, viajaban en órbitas alrededor del núcleo. El núcleo tiene una carga eléctrica positiva; los electrones tienen carga negativa. La suma de las cargas de los electrones es igual en magnitud a la carga del núcleo, por lo que el estado eléctrico normal del átomo es neutro.

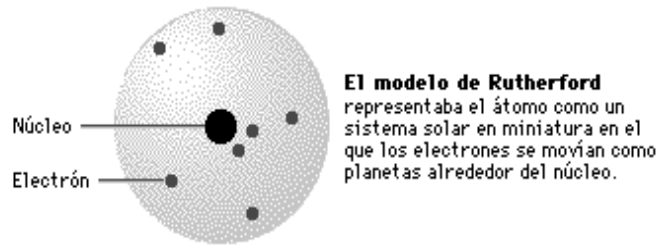


Figura 1.3.- Modelo atómico de Rutherford

1.4 El Átomo de Bohr

Para explicar la estructura del átomo, el físico danés Niels Bohr desarrolló en 1913 una hipótesis conocida como teoría atómica de Bohr. Bohr supuso que los electrones están dispuestos en capas definidas, o niveles cuánticos, a una distancia considerable del núcleo, figura 1.4. La disposición de los electrones se denomina configuración electrónica. El número de electrones es igual al número atómico del átomo: el hidrógeno tiene un único electrón orbital, el helio dos y el uranio 92. Las capas electrónicas se superponen de forma regular hasta un máximo de siete, y cada una de ellas puede albergar un determinado número de electrones. La primera capa está completa cuando contiene dos electrones, en la segunda caben un máximo de ocho, y las capas sucesivas pueden contener cantidades cada vez mayores. Ningún átomo existente en la naturaleza tiene la séptima capa llena. Los “últimos” electrones, los más externos o los últimos en añadirse a la estructura del átomo, determinan el comportamiento químico del átomo.

Todos los gases inertes o nobles (helio, neón, argón, criptón, xenón y radón) tienen llena su capa electrónica externa. No se combinan químicamente en la naturaleza, aunque los tres gases nobles más pesados (criptón, xenón y radón) pueden formar compuestos químicos en el laboratorio. Por otra parte, las capas exteriores de los elementos como litio, sodio o potasio sólo contienen un electrón. Estos elementos se combinan con facilidad con otros elementos (transfiriéndoles su electrón más externo) para formar numerosos compuestos químicos.

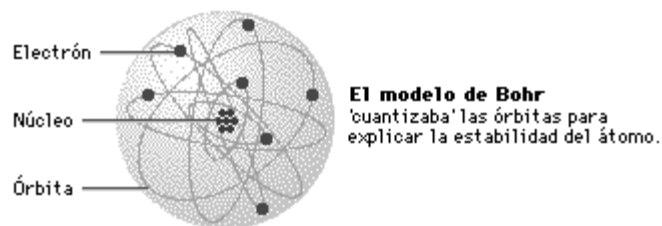


Figura 1.4.- Modelo atómico de Bohr

CAPITULO 2

SEMICONDUCTORES

2.1 Síntesis Propiedades Eléctricas

Describen el comportamiento eléctrico del metal, el cual en muchas ocasiones es más crítico que su comportamiento mecánico. Existe también el comportamiento dieléctrico, propio de los materiales que impiden el flujo de corriente eléctrica, que va más allá de simplemente proporcionar aislamiento.

El termino semiconductor revela por si mismo una idea de sus características. El prefijo semi suele aplicarse a un rango de niveles situado a la mitad entre dos límites.

El término conductor se aplica a cualquier material que soporte un flujo generoso de carga cuando una fuente de voltaje de magnitud limitada se aplica a través de sus terminales.

Un aislante es un material que ofrece un nivel muy bajo de conductividad bajo la presión de una fuente de voltaje aplicada. Un semiconductor por lo tanto es un material que posee un nivel de conductividad sobre algún punto entre los extremos de un aislante y un conductor. Se dice que los materiales semiconductores como el Germanio (Ge) y el Silicio (Si), que muestran una reducción en resistencia con incremento en la temperatura, tiene un coeficiente de temperatura negativo. Un incremento en la temperatura de un semiconductor puede generar un incremento sustancial en el número de electrones libres en el material. El Germanio (Ge) y el Silicio (Si) en especial son la base de los dispositivos electrónicos.

2.2 Características Electrónicas

- 4 Electrones en la última orbita.
- Forman cristales
- No tienen un comportamiento lineal.
- A $-273\text{ }^{\circ}\text{K}$ son aislantes.
- Con Δt son conductores.
- Con más Δt son aislantes nuevamente.

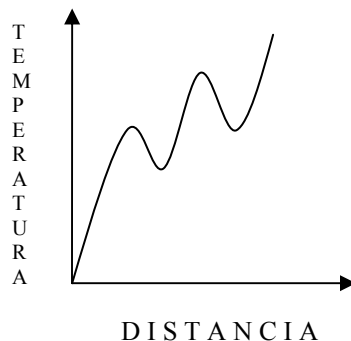


Figura. 2.1.- Gráfica Temperatura Distancia

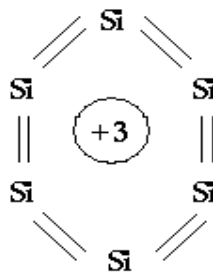
- A temperatura ambiente no conduce por lo tanto, la conducción es $X \Delta t$ ó contaminación.
- Lo más funcional es combinación o doping que puede ser X el grupo IV ó V.
- Todos los semiconductores forman cristales

Ejemplo 1:

Estructura del silicio (si)

SEMI CONDUCTOR

Se dice de la sustancia aislante, como el germanio y el silicio, que se transforma en conductora por la adición de determinadas impurezas. De gran importancia en electrónica para la fabricación de transistores, circuitos integrados, ordenadores.

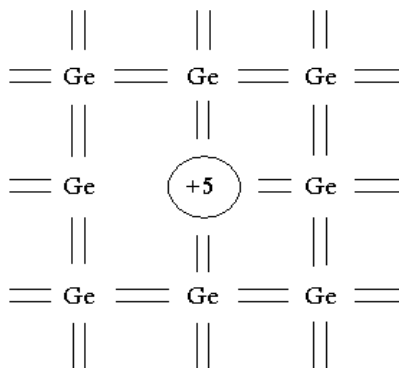


Semiconductor
Figura 2.2

Ejemplo2:

De la Contaminación o Dopaje

Conduce a base de electrones.

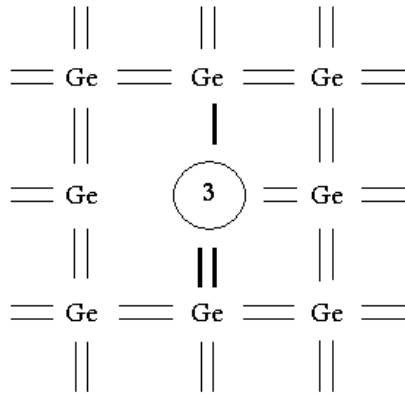


Semiconductor "N" (negativo)
Figura 2.3

Ejemplo3:

Enlace Covalente (Doble enlace)

Conduce a base de huecos.



Semiconductor “P” (positivo)

Figura 2.4

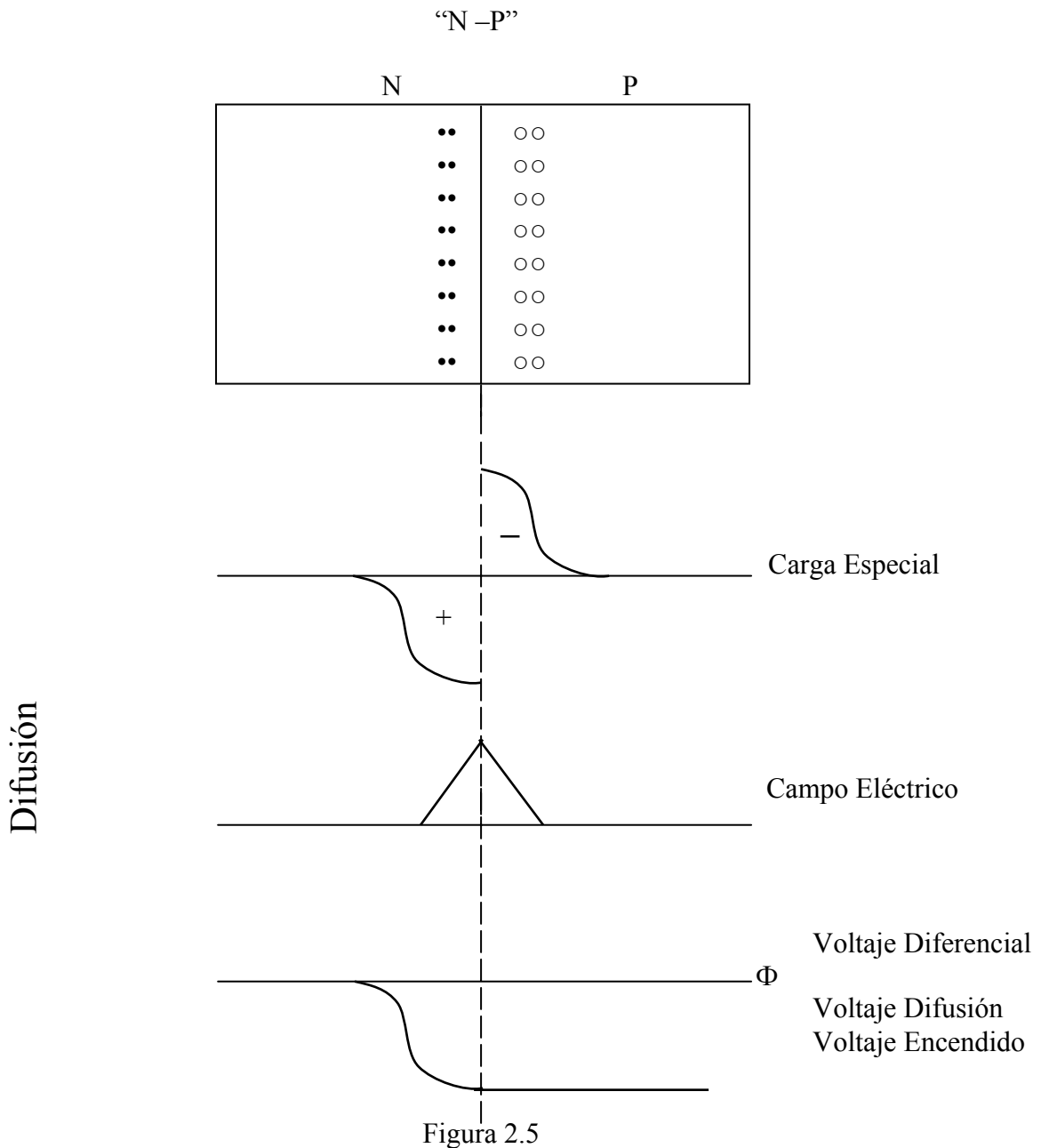
Una vez explicado el semiconductor P y N puede haber conducción de corriente eléctrica en la forma convencional, esto es el flujo de portadores negativos contrarios a la dirección de flujo de portadores positivos, naturalmente habrá recombinaciones y flujo de corriente “libre”; esto quiere decir, no hay recombinación que produzca una resistividad mayor lo cual acontece en un conductor normal.

Nota: Un enlace químico, fuerza entre los átomos que los mantiene unidos en las moléculas. Cuando dos o más átomos se acercan lo suficiente, se puede producir una fuerza de atracción entre los electrones de los átomos individuales y el núcleo de otro u otros átomos. Si esta fuerza es lo suficientemente grande para mantener unidos los átomos, se dice que se ha formado un enlace químico. Todos los enlaces químicos resultan de la atracción simultánea de uno o más electrones por más de un núcleo.

TIPO DE ENLACE	TIPO DE ESTRUCTURA	EJEMPLO DE ESTRUCTURA	PROPIEDADES CARACTERÍSTICAS
Enlace iónico ejemplo: KCl	Red iónica	 Cloruro de potasio, KCl	Sólidos cristalinos Puntos de fusión elevados Puntos de ebullición elevados Solubles en agua Conducen la electricidad fundidos o en disolución No conducen la electricidad en estado sólido
Enlace covalente ejemplo: CH ₄	Moléculas simples	 Metano, CH ₄	Fundamentalmente líquidos y gases Puntos de fusión bajos Puntos de ebullición bajos Insolubles en agua No conducen la electricidad
 ejemplo: C	Moléculas gigantes	 Diamante, C	Sólidos Puntos de fusión elevados Puntos de ebullición elevados La solubilidad y conductividad varían de una sustancia a otra
Enlace metálico ejemplo: Ag	Red metálica	 Plata, Ag	Sólidos cristalinos Dúctiles y maleables Puntos de fusión elevados Puntos de ebullición elevados Insolubles en agua

Tabla 2.1

2.3 Funcionamiento de la Juntura "N-P"



El fenómeno de difusión se da por el simple hecho de juntar un semiconductor N o P
 Ya que el proceso se realiza por el calentamiento manteniendo cada una de las partes, sus propiedades independientes.

La temperatura propicia que los electrones fluyan hacia el semiconductor "P" y los huecos fluyan hacia el semiconductor "N" sin que haya recombinación ya que al enfriarse quedan atrapados, en esas posiciones formando hacia la carga espacial.

La carga espacial tiene una polaridad positiva y negativa lo cual produce un campo eléctrico saliente y un campo eléctrico entrante; si ya tenemos un campo eléctrico en una dimensión determinada lógico es que produce un voltaje, este voltaje depende del material con que es producida la juntura “N-P”, si es Germanio (Ge) el voltaje será de 0.2 y si es de Silicio (Si) el voltaje será de 0.7. Asociado a este voltaje se encuentra la corriente Inversa de Saturación.

$$I_{s_{Si}} 10^{-4} - 10^{-12}$$

$$I_{s_{Ge}} 10^{-10} - 10^{-8}$$

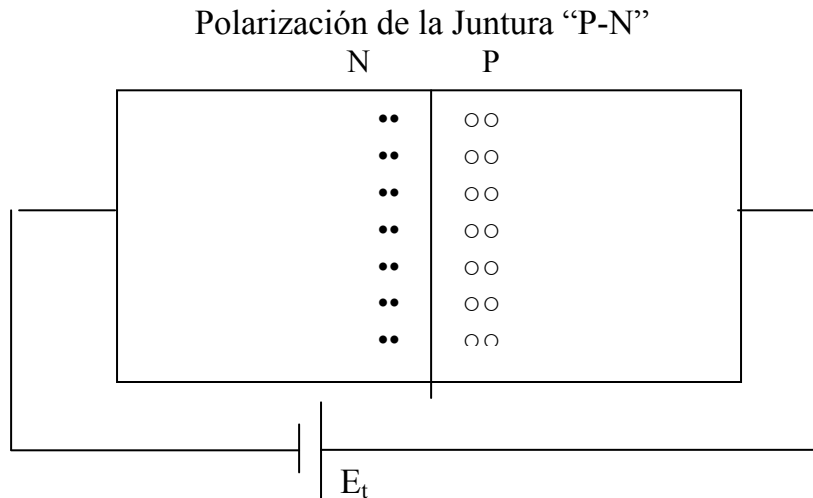


Figura 2.6

- Electrones (Carga Negativa)
 - Huecos (Carga Positiva)
- } Estado en Reposo

La “Corriente Eléctrica” en un conductor convencional se da por 2 fenómenos:

- 1.- La movilidad de los electrones libres (Carga Negativa)
- 2.- La movilidad de los huecos (Carga positiva) esto es el resto positivo del átomo (iones).

Esto significa que la corriente negativa es igual a la corriente positiva, por cada electrón desplazado se desplaza un hueco o un ión.

Cada carga negativa se asocia a una positiva ya que no podemos hablar de cargas libres negativas o de cargas libres positivas.

La corriente eléctrica en un semiconductor es idéntica a la de un conductor cuando esta polarizado en directo; esto es, cargas iguales se repelen y cargas diferentes se atraen. Si hablamos de electrones libres el borne negativo va a repelerlos y serán atraídos al semiconductor “P” como son acelerados a alta velocidad no habrá recombinaciones si no que pasaran directo al borne positivo de la batería, con esto estamos provocando un flujo de corriente de la forma convencional.

En los limites de la juntura “P-N” se forma una película sin portadores, por lo tanto no habrá ni huecos, ni electrones libres, formando así una resistencia “Natural” que tiende a cero ($R_D \rightarrow 0$) cuando la juntura se polariza en directa.

$$\left. \begin{array}{l} R_D \rightarrow 0 \\ \Phi \rightarrow 0 \end{array} \right\} \text{ Siendo } E_t \gg \Phi$$

R_D = Resistencia Dinámica del Diodo.

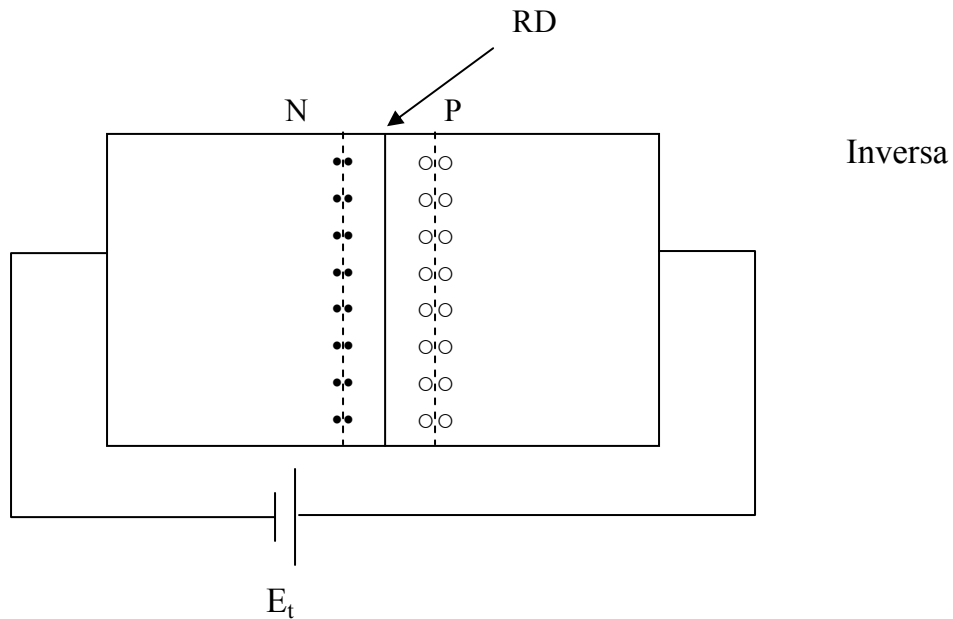


Figura 2.7

Cuando se polariza en inversa el borne negativo atraerá a los huecos y el borne positivo a los electrones.

Dando un efecto de corriente, ya que si $R_D \rightarrow \infty$ se presenta como un circuito abierto.

Concluyendo; la juntura “N-P” en directa conduce y en forma ideal se comporta como un corto circuito en inversa como un circuito abierto. Esto es la juntura “N-P” (diodo) se comporta como switch sincronizado y sincronizable a la frecuencia de trabajo $f_c = 1 \text{ KHz}$.

CAPITULO 3

DIODOS

Diodo

Componente electrónico que permite el paso de la corriente en un solo sentido. Los diodos más empleados en los circuitos electrónicos actuales son los diodos fabricados con material semiconductor.

Ecuación del diodo.

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

Donde:

I_S = Corriente inversa de saturación

V_T = Voltaje térmico

V_D = Voltaje del diodo

3.1 Puntos de operación

Antes de aplicar la formula, se debe considerar que $V_T = 26$ mV a $T = 300$ °K y además recordar existen variaciones de corriente las cuales producen calentamiento en la juntura por lo tanto V_T debe de multiplicarse por η quedando ηV_T o sea (26 mV)

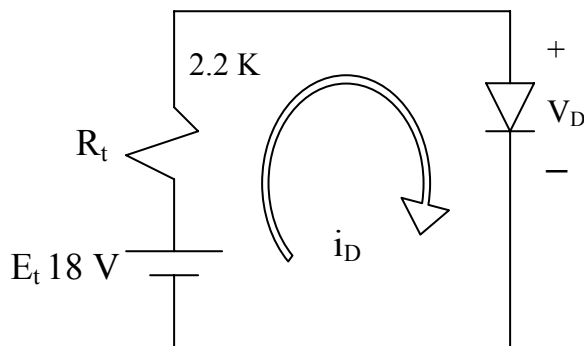


Figura 3.1

Donde:

V_D = Voltaje del diodo

V_T = Voltaje térmico

E_T = Fuente de Thevenin

R_T = Resistencia de Thevenin

I_S = Corriente inversa de saturación

η = Factor de corrección

$$I_S = 10^{-14} \text{ A}$$

$$\eta = 1.1$$

$$T = 300 \text{ °K}$$

Nota: Todos los datos del diodo los da el fabricante donde η puede variar de 1 a 3 y la temperatura 300 °K la tomaremos como 26 °C solamente para la solución de problemas con diodos.

Solución.

Punto de Operación.

Ecuación del circuito

$$1.- i_{D_1} = \frac{E_T - V_D}{R_T}$$

$$2.- V_D = V_i \ln \frac{i_D}{I_S} \quad \text{Ecuación Fundamental del Diodo}$$

Este sistema de ecuaciones se resuelve por iteraciones tomando como V_D el voltaje del diodo del material que esta hecho, en este caso $I_S = 10^{-14}$ el diodo es de silicio por lo tanto, $V_{D1} = 0.7$ Volts

En la ecuación 1

$$i_{D_1} = \frac{18 - 0.7}{2.2 K} = 7.86 \text{ mA}$$

$V_T = \eta 26 \text{ mV}$ para este vaso $V_T = 1.1 * 26 = 28.6$

Sustituyendo en la ecuación 2

$$V_{D_2} = 28.6 \ln \left(\frac{7.86 * 10^{-3}}{10^{-14}} \right) = 28.6 \ln (7.86 * 10^{11}) = 783.36 \text{ mV}$$

2^{DA} Iteración

$$i_{D_2} = \frac{18 - 0.806}{2.2 K} = 7.8154 \text{ mA}$$

$V_{D_3} = 28.6 \ln 7.8154 * 10^{11} = 783.19 \text{ mV}$

Luego $Q = (i_{D_2}, V_{D_3}); Q = (7.815 \text{ mA}; 783.19 \text{ mV})$

3.2 Recta de Carga Estática

$$i_D = \frac{E_t - V_D}{R_t} \quad \Longrightarrow \quad i_D = \frac{E_t}{R_t} - \frac{V_D}{R_t} \quad ; \quad i_D = -\frac{V_D}{R_t} + \frac{E_t}{R_t}$$

$$\quad \Longrightarrow \quad i_D = -\frac{1}{R_m} V_D + \frac{E_t}{R_t}$$

Nos queda una ecuación de la recta

$$y = mx + b$$

Por lo tanto

$$y = i_D$$

$$m = -\frac{1}{R_t} = \text{Pendiente}$$

$$x = V_D \quad \Longrightarrow \quad V_D = V_{D\max} = E_t$$

$$b = \frac{E_t}{R_t} = i_{D\max}$$

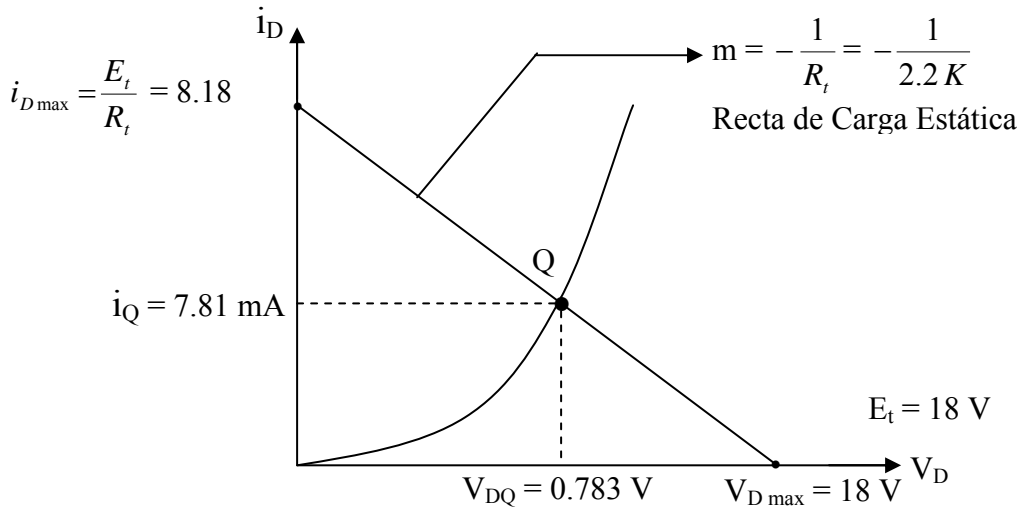


Figura 3.2

El concepto de recta de Carga Estática se obtiene de la ecuación del circuito

$$i_D = \frac{E_t - V_D}{R_t}$$

Que nos da la ecuación de la recta

$$y = mx + b$$

Cuya pendiente resulta negativa ya que

$$m = -\frac{1}{R_t}$$

Y aplicamos un corrimiento para que aparezca en el primer cuadrante e intersectar a la ecuación fundamental del diodo,

$$i_D = I_S e^{\frac{V_D}{V_t}}$$

Que naturalmente como es positiva se grafica en el primer cuadrante.

Naturalmente que el punto de operación se obtiene de la equivalente de Thevenin; esto es una fuente equivalente, una resistencia equivalente y de ser posible un diodo equivalente o el estudio del punto de operación de cada uno de ellos.

Para lograr esto debemos de emplear el concepto de Northon y de Thevenin para no utilizar los conceptos de Kirchoff; Maxwell o en general los criterios de redes.

3.3 Teorema de Northon y Thevenin

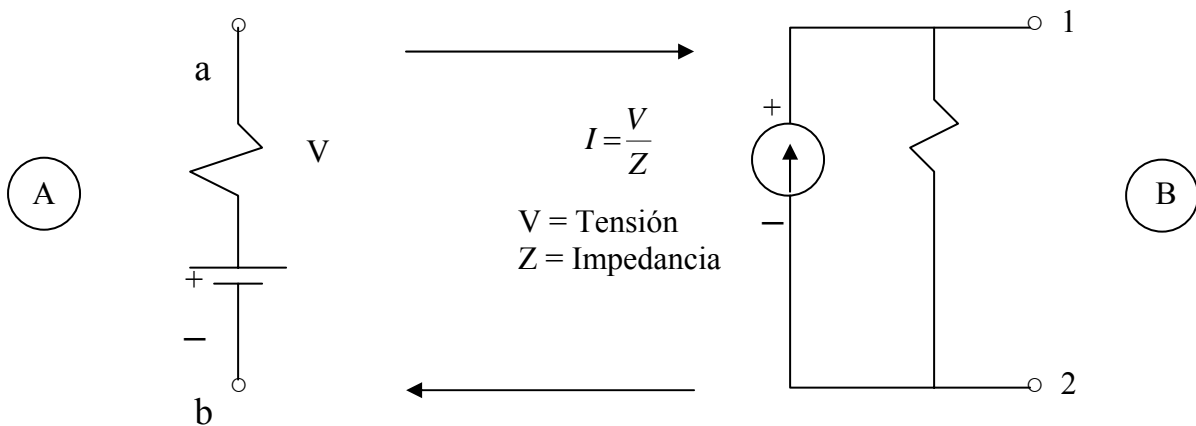


Figura 3.3

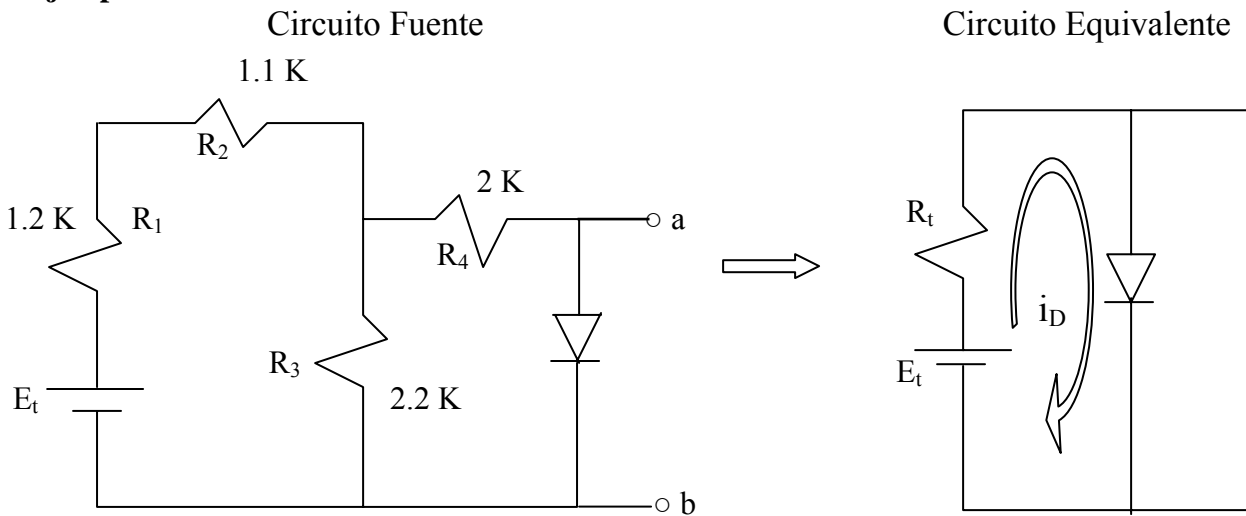
Northon

Establece que una fuente de voltaje con una resistencia en serie puede ser sustituida por una fuente de corriente con la resistencia en paralelo.

Thevenin

El teorema de Thevenin es fundamental puesto que ningún circuito puede ser polarizado con una fuente de corriente y una resistencia en paralelo. El teorema establece que la fuente de corriente de Northon con una resistencia en paralelo no puede polarizar a ningún dispositivo, ya que necesitamos una fuente de voltaje, por lo tanto este teorema establece que la fuente de corriente puede ser sustituida por una fuente de voltaje con la resistencia en serie lo que obliga al circuito a establecer la corriente en función de la resistencia.

Ejemplo.



Circuito Fuente

Figura 3.4

$$I_S = 10^{-14} \text{ A}$$

$$\eta = 1.2$$

$$T = 300 \text{ °K}$$

Siempre trabajaremos con el circuito equivalente.

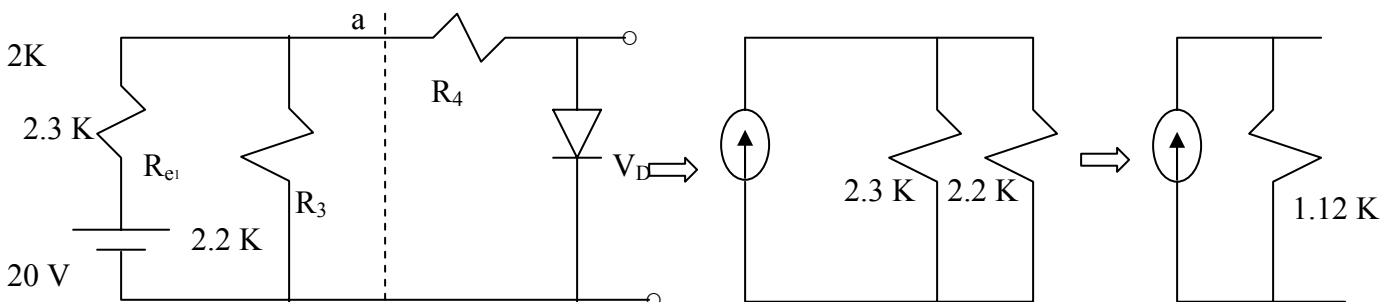


Figura 3.5

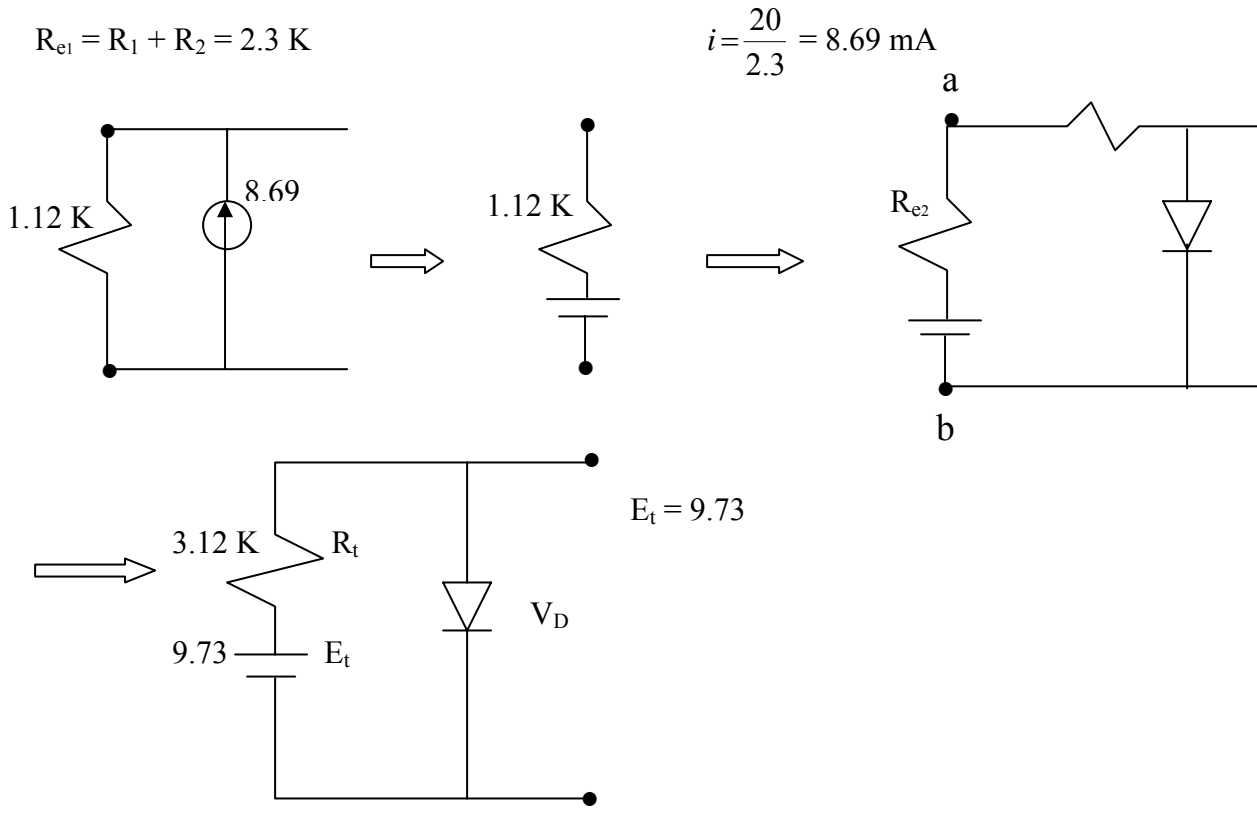


Figura 3.6

El punto de operación se trabajara como siempre con el circuito equivalente.

$$1.- i_D = \frac{E_t - V_D}{R_t}$$

$$2.- V_D = V_t \ln \frac{i_D}{I_S}$$

$$V_t = \eta (26) = 31.2$$

Nota: Como $I_S = 10^{-14} \text{ A}$ $\implies \Phi = 0.7$ Silicio $V_{D1} = 0.7$

Calculando la ecuación 1

Primera iteración

$$i_{D1} = \frac{9.73 - 0.7}{3.12 \text{ K}} = 2.89 \text{ mA}$$

$$V_{D_2} = 31.2 \ln \frac{2.89 * 10^{-3}}{10^{-14}} = 31.2 \ln 2.89 * 10^{11} = 823 \text{ mV}$$

Segunda Iteración

$$i_{D_2} = \frac{9.73 - 0.823}{3.12 \text{ K}} = 2.85 \text{ mA}$$

$$V_{D_3} = 31.2 \ln 2.85 * 10^{11} = 822.9 \text{ mV}$$

Q = (2.85 mA ; 829 mV)

Q = Punto de operación

3.4 Señal Pequeña

Definición

$$V_i \lllll E_t ; \text{ luego } V_i = \frac{1}{10} E_t \text{ por lo menos } V_i \text{ debe ser } \frac{1}{10} \text{ de } E_t .$$

Definimos V_i es toda señal variable en el tiempo sea analógica o digital y se representara como una senoide

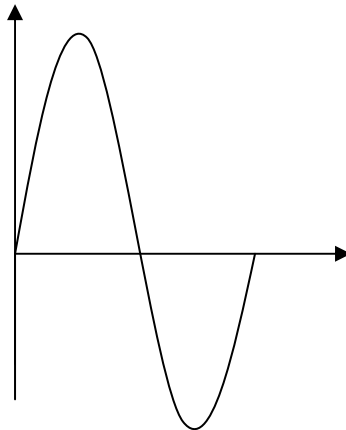


Figura 3.7.- Grafica Senoidal

Análisis

Se hará el análisis primero para estática y luego para dinámica y al final el punto de operación se presenta como la suma de las dos señales.

El V_i (señal pequeña) normalmente lo analizaremos como toda señal radiada de cualquier tipo bien sea abierta o de paga. Naturalmente todos los ejemplos aquí presentados el V_i será un generados de funciones, no obstante los circuitos presentados están diseñados para trabajar con una señal radiada antes descrita.

Ejemplo: Con capacitor.

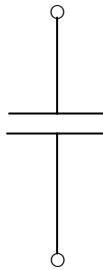


Figura 3.8

Para Corriente Directa (C.D.)

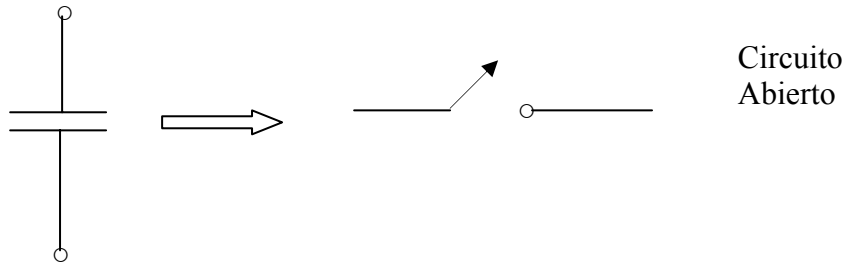


Figura 3.9

Para Corriente Alterna (C.A.)

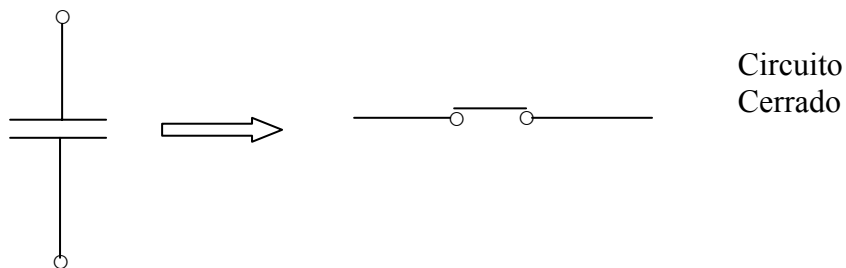


Figura 3.10

Nota: El capacitor para C.D. se representa como un circuito abierto y para C.A. se presenta como un circuito cerrado, esto es, lo tomaremos como un capacitor ideal y las desviaciones matemáticas serán aproximadamente del $\pm 10\%$.

En todos los ejemplos el capacitor será un filtro pasa bajas o un retardador de tiempo.

Donde $e \rightarrow \infty$

Desde $0.01 \mu\text{F} \rightarrow$ en adelante se considera muy grande (infinito)

Modelo Piezolineal Diodo

Para Dinámica

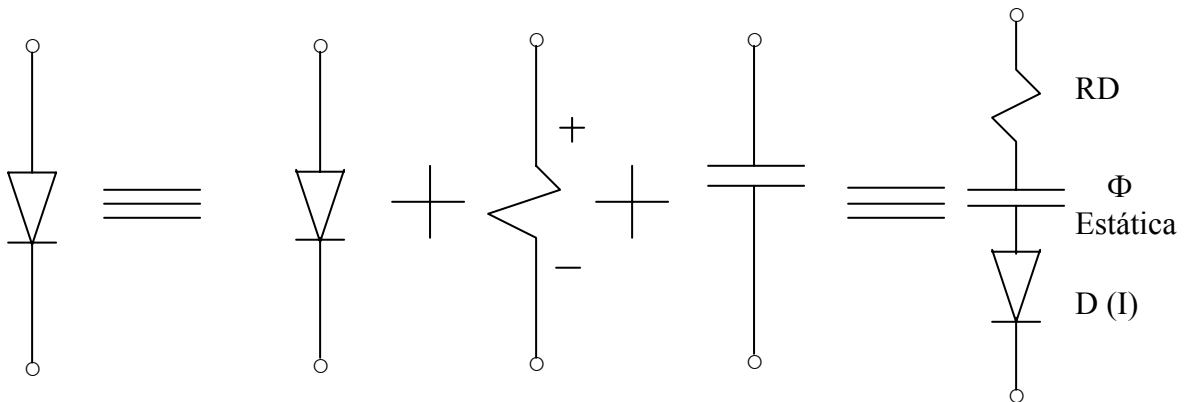
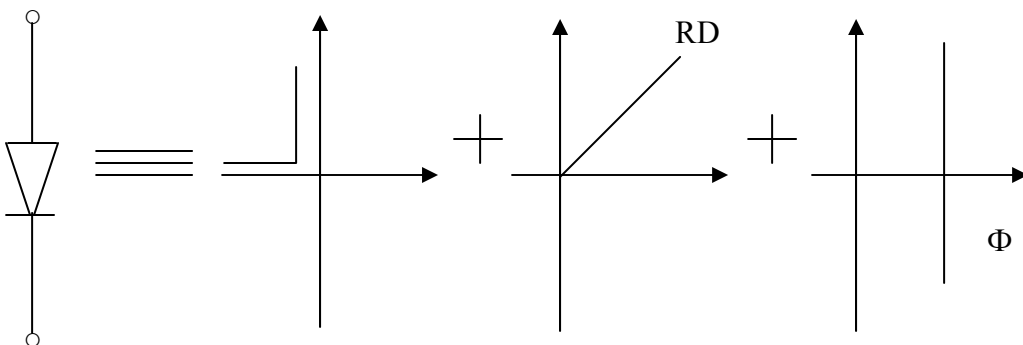


Figura 3.11

Ideal RD Φ

RD = resistencia dinámica



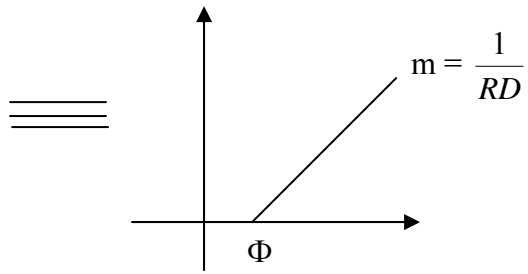


Figura 3.12

Para Estática

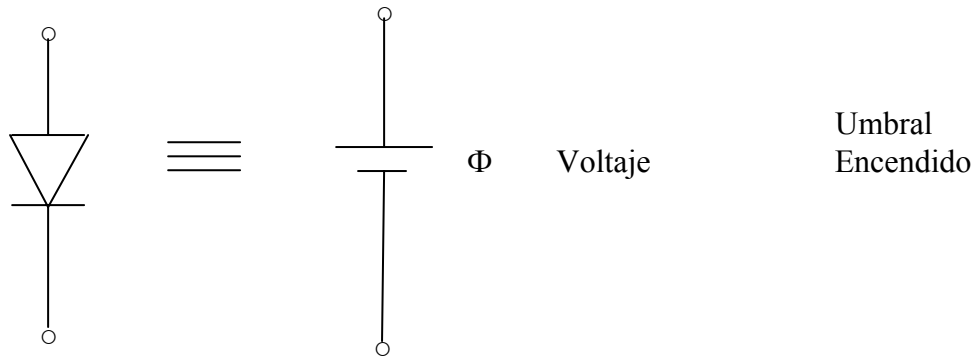


Figura 3.13

Para Dinámica

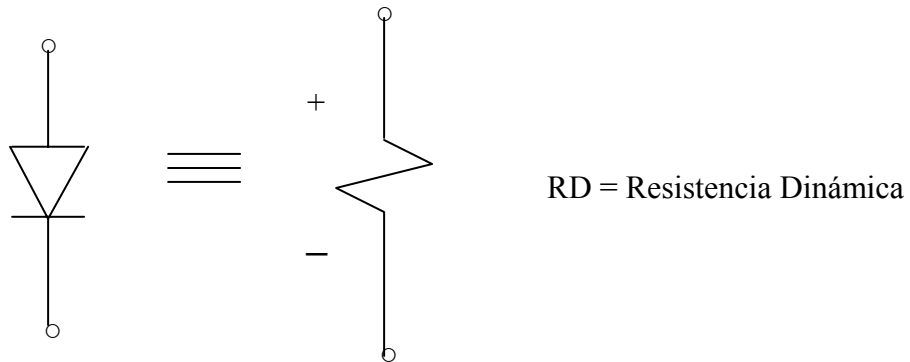


Figura 3.14

Gráfica

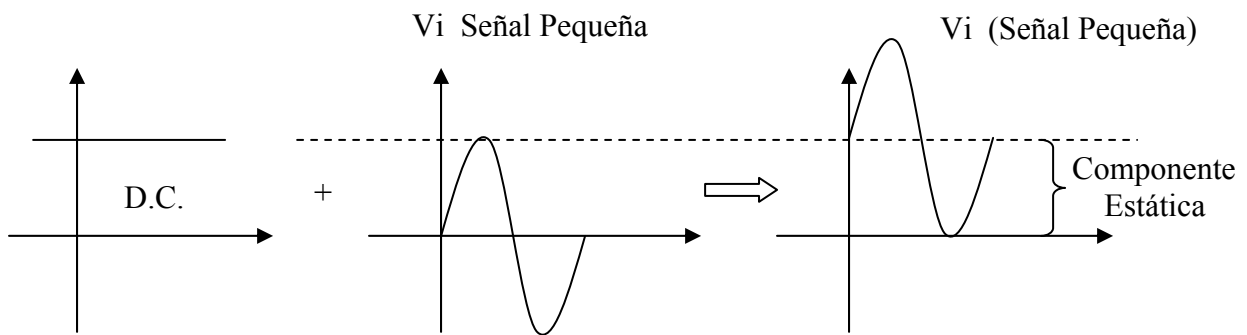


Figura 3.15.- Grafica de Señal Pequeña

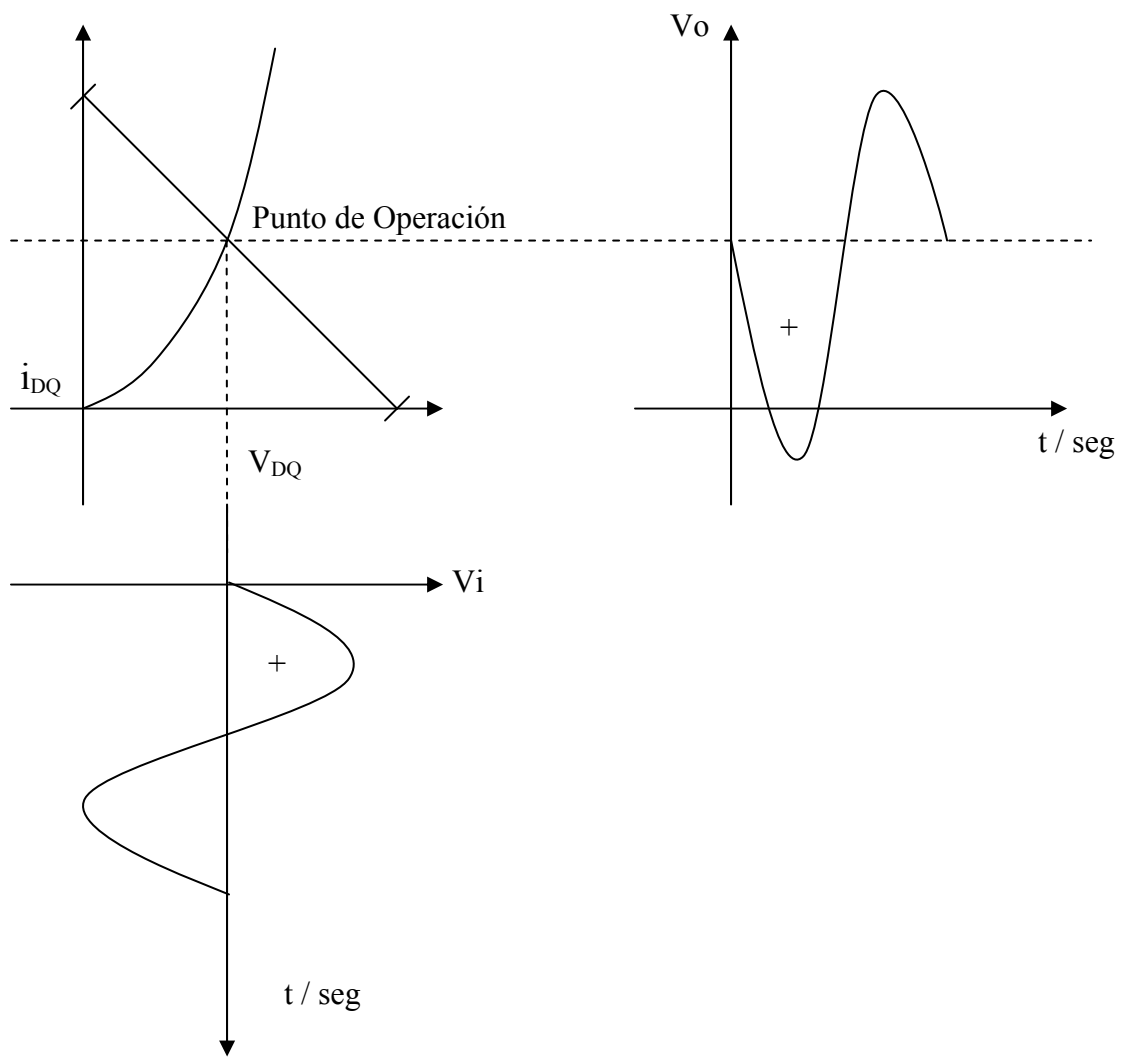
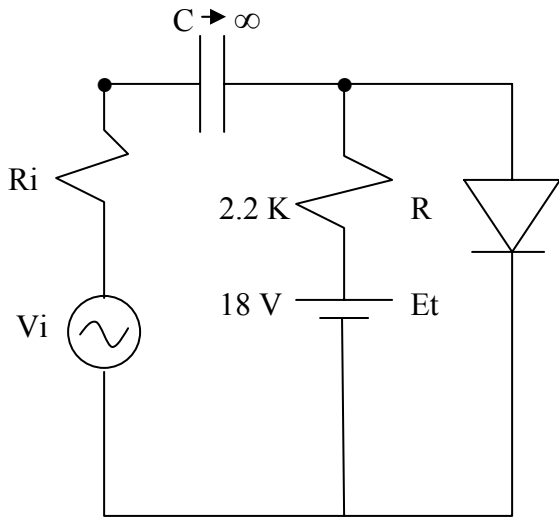


Figura 3.16.- Grafica Punto de Operacion

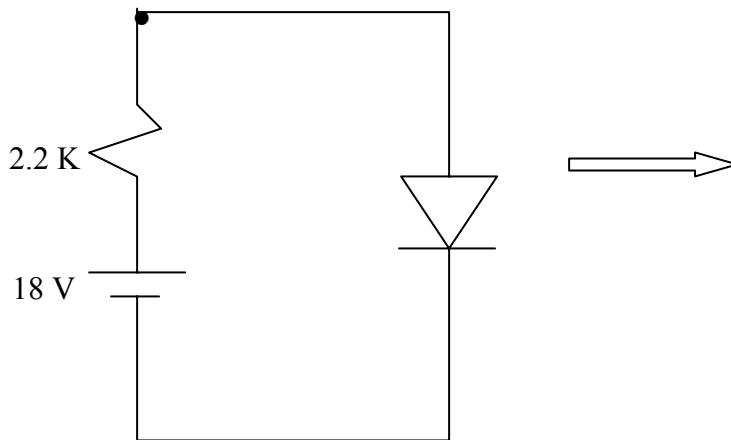
Ejemplo



$R_i = 0.6 \text{ K}$ $I_s = 10^{-13} \text{ A}$
 $R = 2.2 \text{ K}$ $\eta = 1.1$
 $E_t = 18 \text{ V}$ $T = 300 \text{ °K}$
 $V_i = 0.0073 \text{ sen } (\omega t) \text{ V}$

Figura 3.17

Análisis estático



$$i_D = \frac{E_t - V_D}{R_t}$$

$$V_D = V_t \ln \frac{i_D}{I_s}$$

Como $I_s = 10^{-13} \text{ A}$

Figura 3.18

Diodo Silicio, luego $\Phi = 0.7$ $V_{D1} = 0.7 \text{ V}$

Primera Iteración

$$V_t = 1.1 (26) = 28.6 \text{ mV}$$

$$i_{D1} = \frac{18 - 0.7}{2.2} = 7.86 \text{ mA}$$

$$V_{D2} = 28.6 \ln 7.86 * 10^{10} = 717 \text{ mV}$$

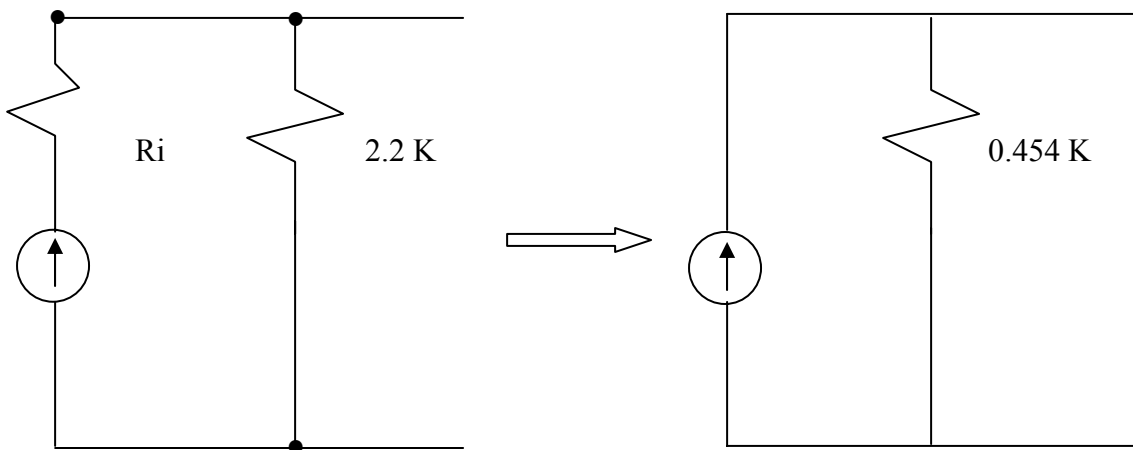
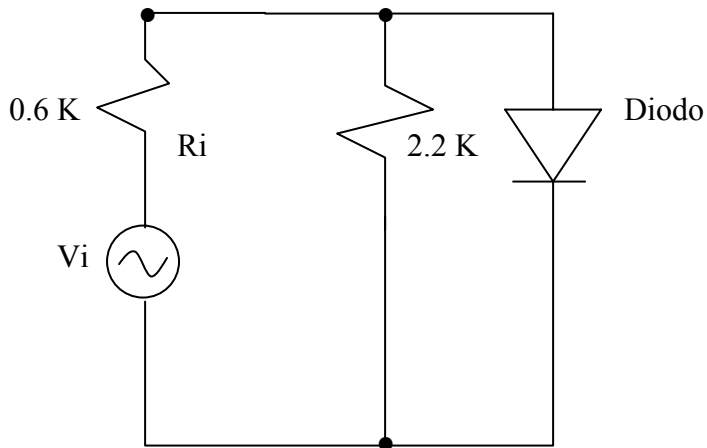
Segunda Iteración

$$i_{D_2} = \frac{18 - 0.717}{2.2} = 7.85 \text{ mA}$$

$$V_{D_3} = 28.6 \ln 7.85 * 10^{10} = 717 \text{ mV}$$

$$Q = (7.85 \text{ mA} ; 717 \text{ mV})$$

Análisis Dinámica



$$i = \frac{V_i}{R_i} = \frac{0.0073}{0.6} = 0.012 \text{ mA}$$

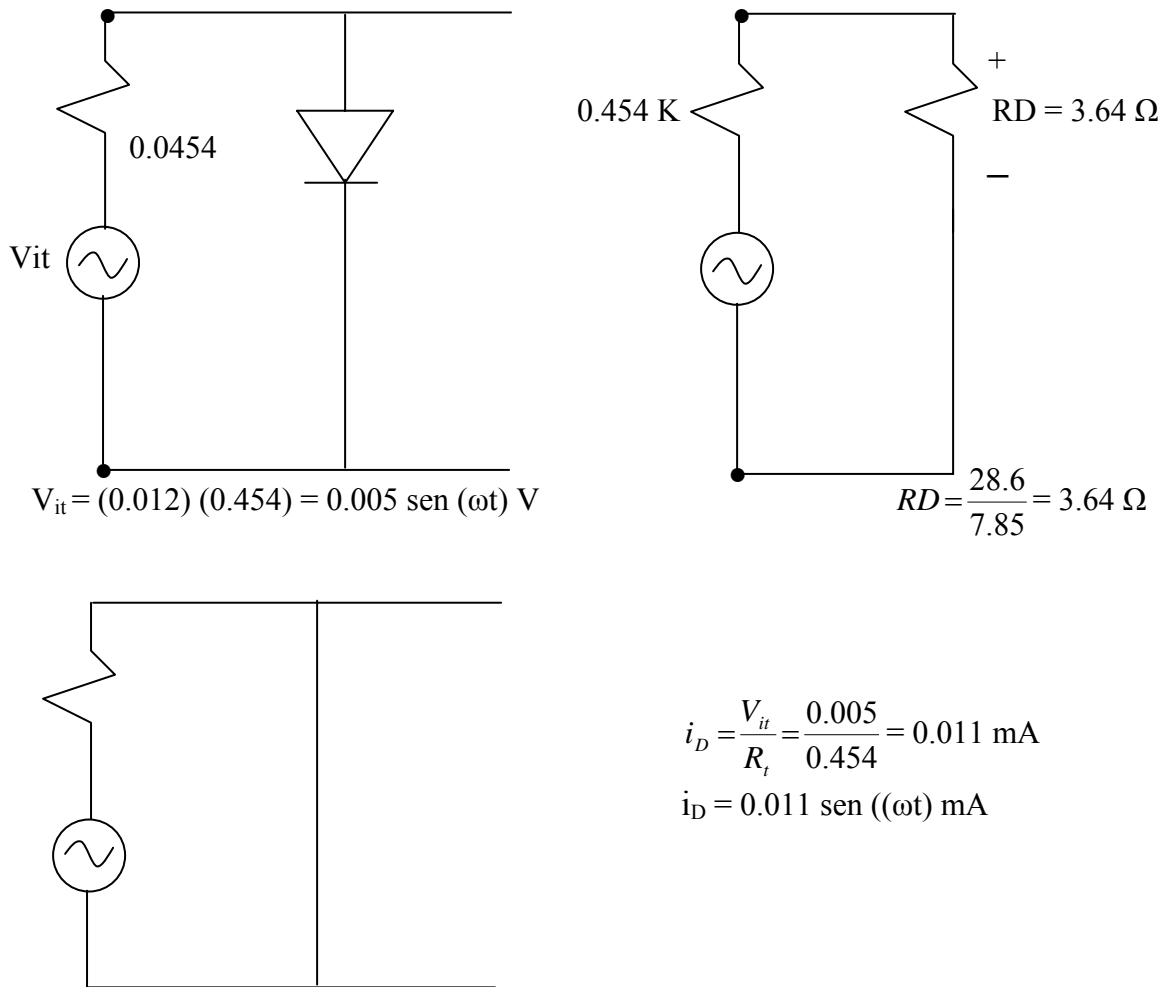


Figura 3.19.- Análisis Dinámico

$$V_D = i_D R_D = (0.011)(3.6) = 0.033 \text{ sen}(\omega t) \text{ mV}$$

$$Q = (7.85 \text{ mA} + 0.011 \text{ sen}(\omega t) \text{ mA}) ; 717 \text{ mV} + 0.033 \text{ sen}(\omega t) \text{ mV}$$

Por lo tanto, el punto de operación será la componente de estática más la componente de dinámica.

3.5 Divisor de Corriente

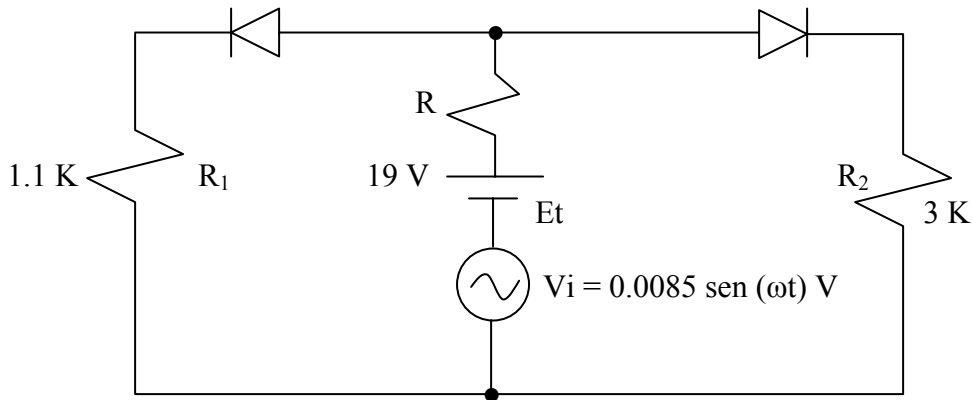


Figura 3.20.- Divisor de Corriente

$$I_S = 10^{-13} \text{ A}$$

$$\eta = 1.1$$

$$T = 300 \text{ °K}$$

$$I_S = 10^{-13} \text{ A}$$

$$\eta = 1.1$$

$$T = 300 \text{ °K}$$

Otra aplicación de circuito de señal pequeña es el divisor de corriente, circuito que comúnmente se encuentra en la mayoría de los aparatos electrónicos.

El tratamiento sería de superposición, esto es, primero el uno y después el otro.

Análisis Estático

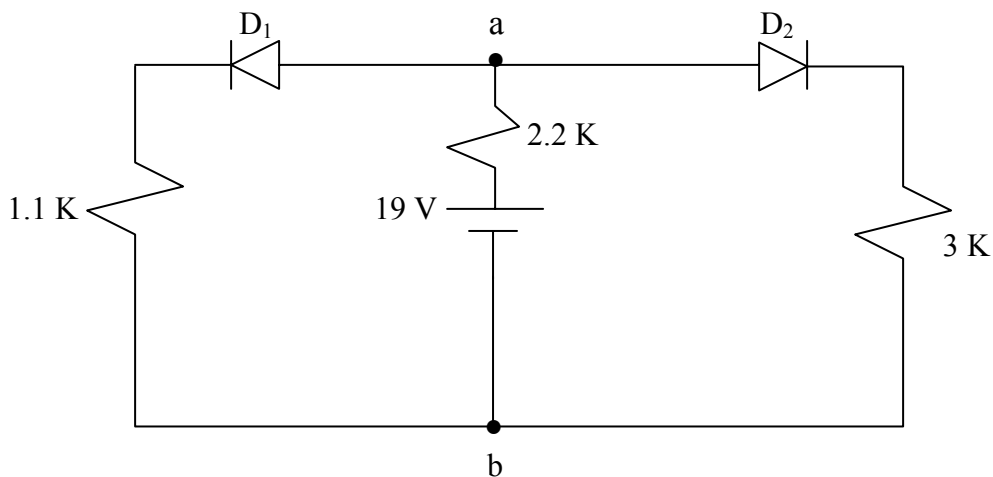


Figura 3.21

Calculo
Q₁

Nota: El V_i, se pone en corto circuito

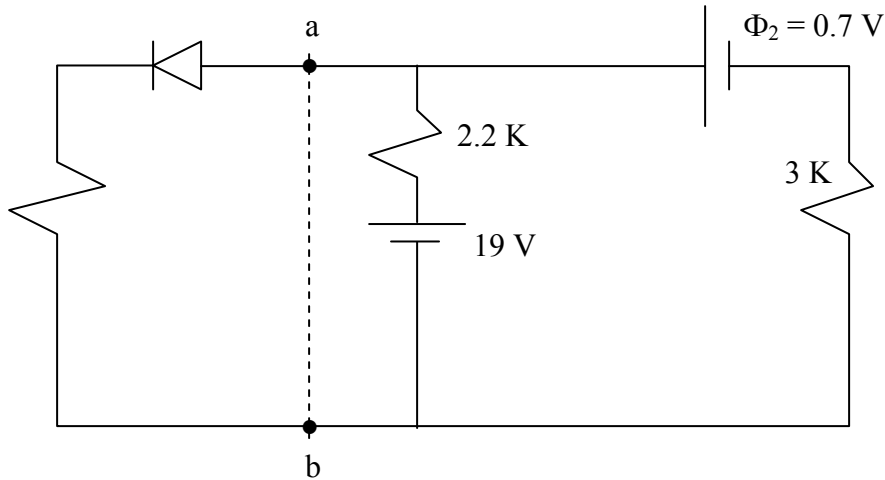


Figura 3.22

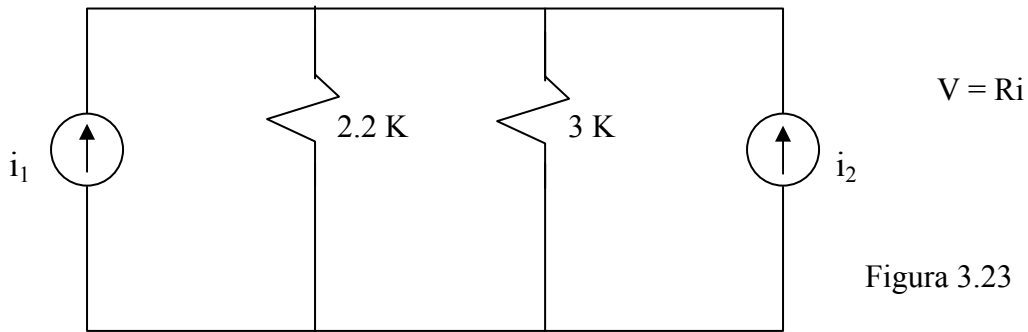


Figura 3.23

$$i_1 = \frac{V}{R} = \frac{E_t}{R} = \frac{19}{2.2} = 8.63 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{V}{R} = \frac{E_t}{R_2} = \frac{0.7}{3} = 0.23 \text{ mA}$$

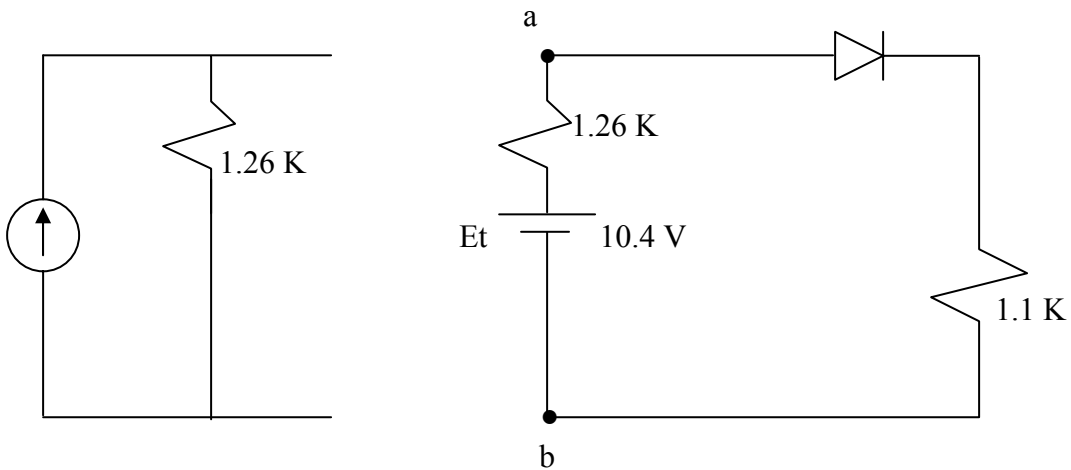


Figura 3.24

$$i = 8.86$$

$$V_{D1} \Rightarrow \text{diodo (Si)} = \Phi = 0.7$$

$$V_{D1} = 0.7$$

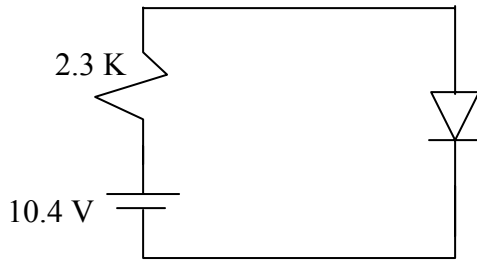


Figura 3.25

Primera Iteración

$$V_{T1} = (1.1) (26) = 28.6$$

$$i_{D1} = \frac{E_t - V_D}{R_t} = \frac{10.4 - 0.7}{2.3 K} = 4.21 \text{ mA}$$

$$V_{D2} = V_t \ln \frac{i_D}{I_S} = (28.6 \ln 4.21 * 10^{10}) = 699 \text{ mV}$$

Segunda Iteración

$$i_{D2} = \frac{E_t - V_D}{R_t} = \frac{10.4 - 0.699}{2.3 K} = 4.21 \text{ mA}$$

$$V_{D2} = V_t \ln \frac{i_D}{I_S} = (28.6 \ln 4.21 * 10^{10}) = 699 \text{ mV}$$

$$Q_1 = (4.21 \text{ mA} ; 699 \text{ mV})$$

Calculo Q₂

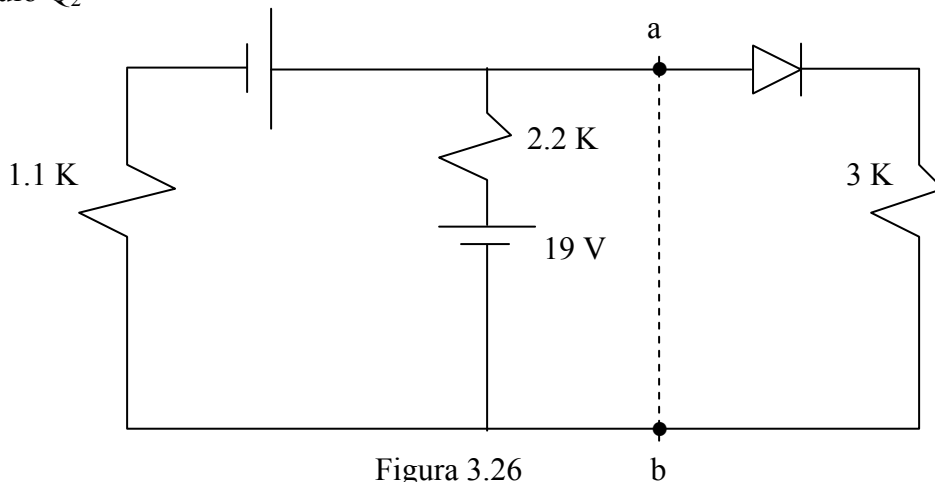


Figura 3.26

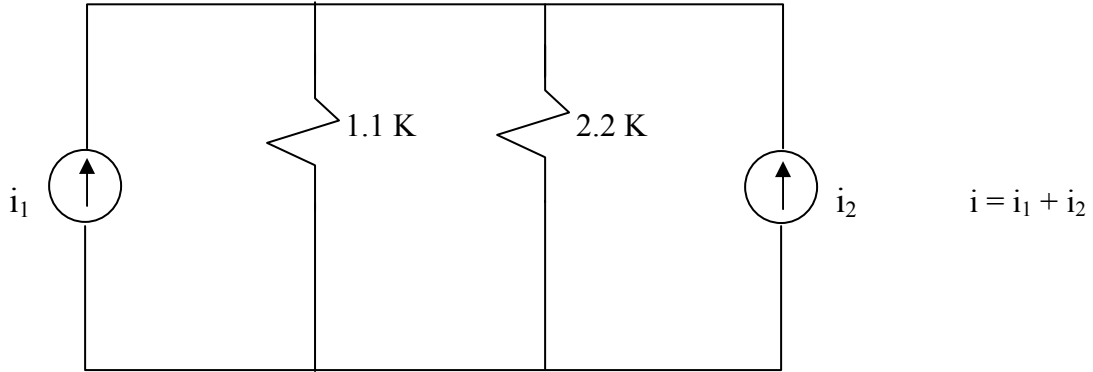


Figura 3.27

$$i_1 = \frac{0.699}{1.1} = 0.635 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{19}{2.2} = 8.63 \text{ mA}$$

$$i = i_1 + i_2 = 0.635 + 8.63 = 9.265 \text{ mA}$$

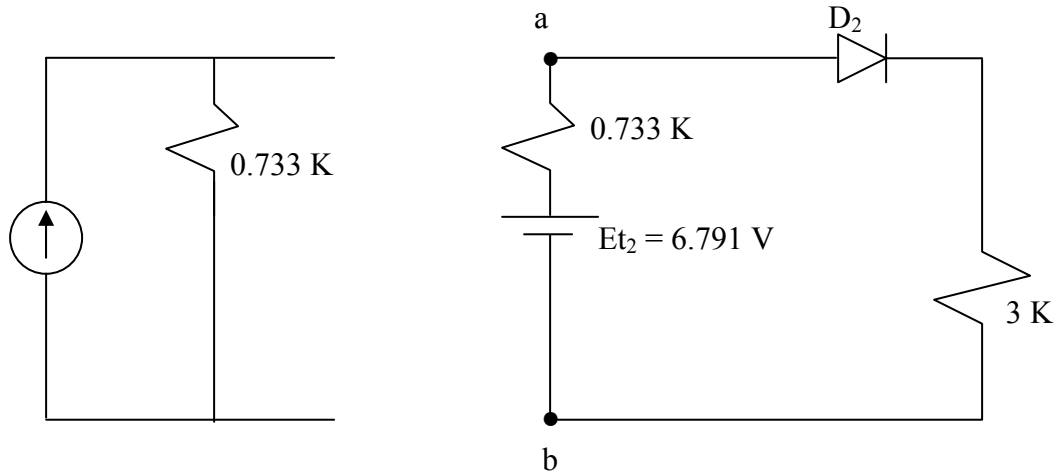
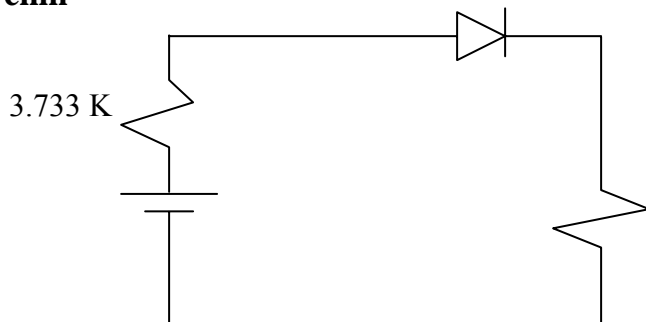


Figura 3.28

Thevenin



$$V_{D1} = 0.7$$

$$V_{T2} = (1.2)(2.6) = \eta(26) = 31.2 \text{ mV}$$

Figura 3.29.- Modelo Thevenin

Primera Iteración

$$i_{D_1} \frac{E_t - V_D}{R_{t2}} = \frac{6.791 - 0.7}{3.733 K} = 1.631 \text{ mA}$$

$$V_{D_2} = V_t \ln \frac{i_D}{I_S} = (31.2 \ln 1.631 * 10^{10}) = 734 \text{ mV}$$

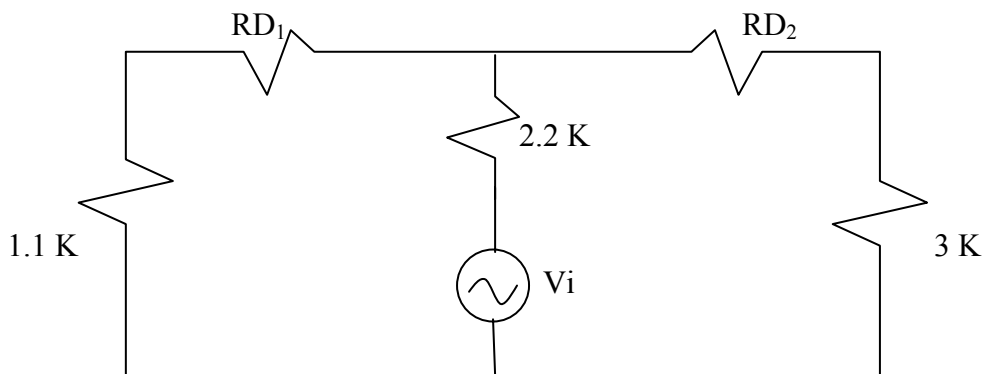
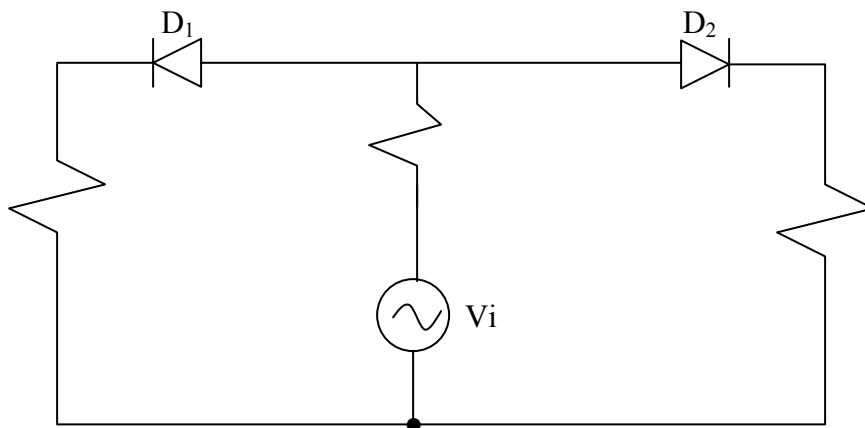
Segunda Iteración

$$i_{D_2} \frac{E_t - V_D}{R_t} = \frac{6.791 - 0.734}{3.733 K} = 1.62 \text{ mA}$$

$$V_{D_2} = V_t \ln \frac{i_D}{I_S} = (31.2 \ln 1.62 * 10^{10}) = 733 \text{ mV}$$

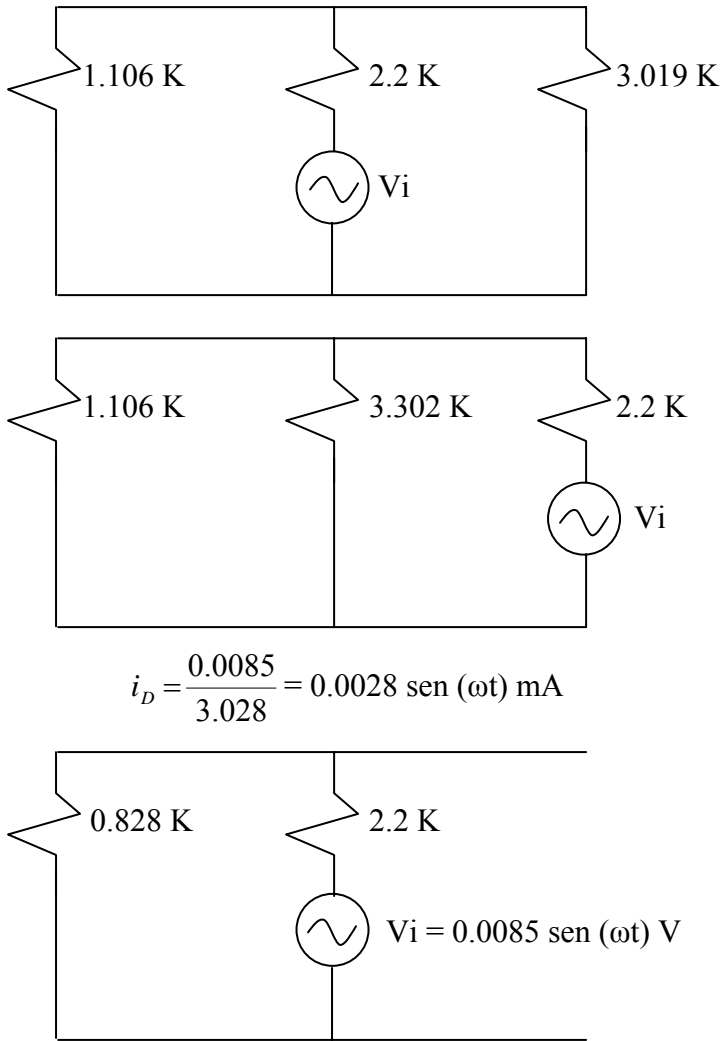
$$Q = (1.62 \text{ mA} ; 733 \text{ mV})$$

Análisis Dinámico



$$RD_1 = \frac{V_{T1}}{i_{D\phi 2}} = \frac{28.6}{4.21} = 6.79 \Omega$$

$$RD_2 = \frac{V_{T2}}{i_{D\phi 2}} = \frac{31.2}{1.62} = 19.25 \Omega$$



$$i_D = \frac{0.0085}{3.028} = 0.0028 \text{ sen}(\omega t) \text{ mA}$$

Figura 3.30.- Circuito del Análisis Dinámico

$$i_{D_1} = R_2 \frac{i_D}{R_1 + R_2} = \frac{(0.0028)(3)}{4.1 \text{ K}} = 0.002 \text{ sen}(\omega t) \text{ mA}$$

$$i_{D_2} = R_1 \frac{i_D}{R_1 + R_2} = \frac{(0.0028)(1.1)}{4.1 \text{ K}} = 0.00075 \text{ sen}(\omega t) \text{ mA}$$

$$V_{D_1} = i_{D_1} R_{D_1} = (0.002) (6) = 0.012 \text{ sen}(\omega t) \text{ mV}$$

$$V_{D_2} = i_{D_2} R_{D_2} = (0.00075) (19) = 0.014 \text{ sen}(\omega t) \text{ mV}$$

$$Q_1 = (4.21 \text{ mA} + 0.002 \text{ sen } (\omega t) \text{ mA} ; 699 \text{ mV} + 0.012 \text{ sen } (\omega t) \text{ mV})$$

$$Q_2 = (1.62 \text{ mA} + 0.00075 \text{ sen } (\omega t) \text{ mA} ; 733 \text{ mV} + 0.014 \text{ sen } (\omega t) \text{ mV})$$

3.6 Señal Grande

Hasta este momento el análisis con diodos ha sido con señal pequeña, esto es, primero tenemos que encender al diodo con una fuente de directa para que pueda procesar la señal pequeña o señal de inteligencia, una fuente de señal variable en el tiempo y la forma puede ser analógica o digital. A continuación pondremos un ejemplo de lo antes dicho.

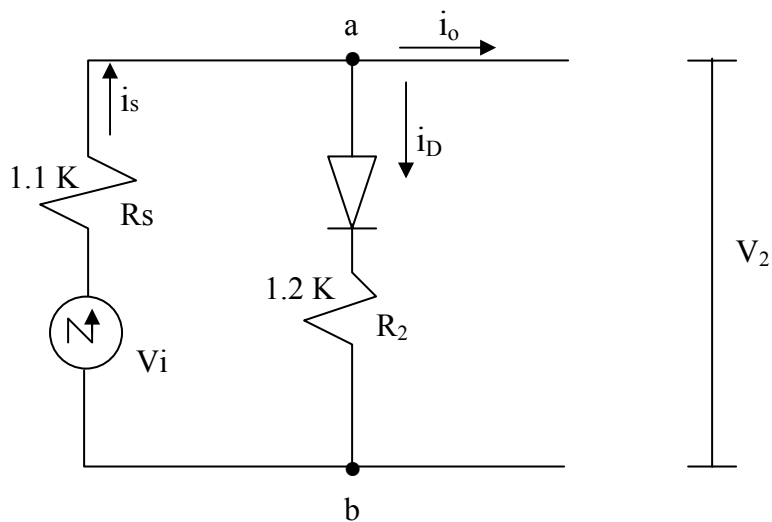
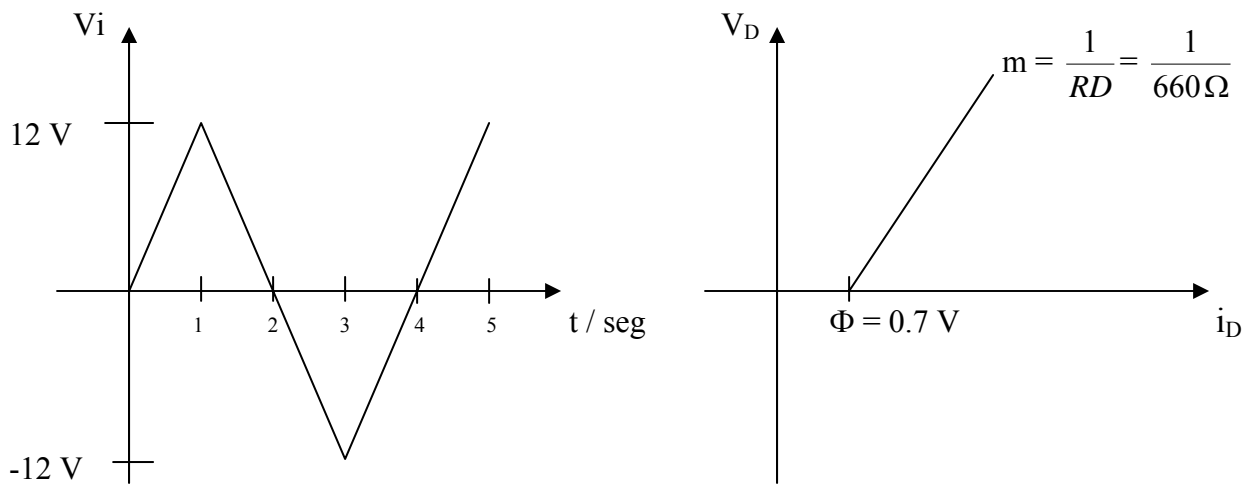
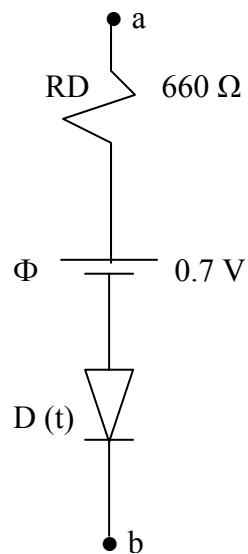


Figura 3.31.- Circuito de Señal Grande



Grafica 3.1.- Comportamiento de Señal Grande

Modelo Piezo-lineal del Diodo



Haremos el análisis del circuito en 3 fases:

Primera Fase:

De 0 a 0.7 V (Voltaje de encendido)

Segunda Fase:

De 0.7 V a 12 V (Voltaje máximo de la señal de entrada)

Por comodidad se ha seleccionado una señal diente de sierra, cuya característica es lineal, y el tiempo de subida es igual al tiempo de bajada y el hemiciclo positivo es igual al hemiciclo negativo, lo cual facilita grandemente su estudio.

Tercera Fase:

Con lo antes dicho restaría hacer el análisis para el hemiciclo negativo.

Análisis

1^{era} 0 a 0.7 V

No existe diferencia de potencial en los puntos ab por lo tanto $I_D = 0$, esto es, $V_{ab} = 0$, el diodo no conduce pero como hay señal de excitación, $V_i, V_2 = V_i$ en todo momento de 0 a 0.7 V

Síntesis

$$V_{ab} = 0; i_D = 0, V_1 = V_{ab} = 0$$

$$V_2 = V_i$$

2^{da} 0.7 a 12 V

La diferencia de potencia V_{ab} es igual a la caída que hay en R_i más la caída del diodo. Esto forma una malla cuyo cierre es la rama ab.

$$V_i = 12 \text{ V}$$

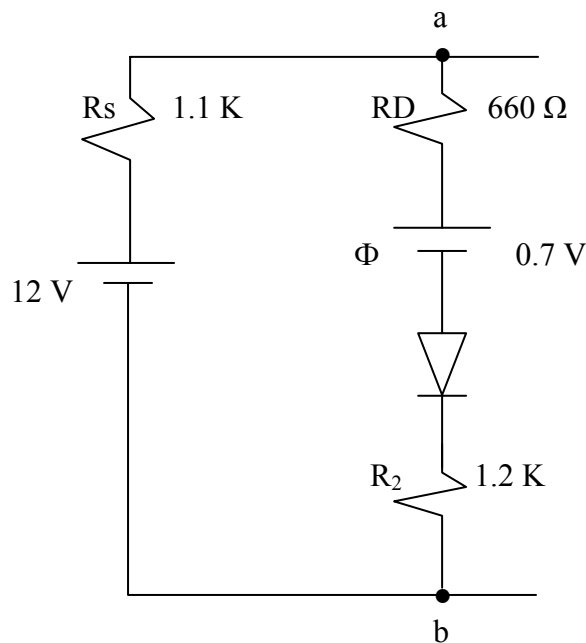


Figura 3.32

$$V = R_i$$

$$\Sigma V = \Sigma R_i$$

$$i_D = \frac{E_t - V_D}{R_s + R_L + RD} = \frac{12 - 0.7}{1.1 + 1.2 + 0.66} = \frac{11.3}{2.96} = 3.81 \text{ mA}$$

$$V_{ab} = \Phi + i_D (R_L + RD)$$

$$V_{ab} = 0.7 + (3.81)(1.2 + 0.66) = 7.78 \text{ V como } V_{ab} = V_2$$

$$V_2 = 7.78 \text{ V}$$

Luego

$$V_1 = V_{RL} \implies V_{RL} = R_L i_D$$

$$V_1 = (1.2)(3.81) = 4.57$$

$$V_1 = V_{RL} = 4.57$$

Tiempos

$$\frac{12-1}{0.7-x}$$

$$x = \frac{0.7}{12} = 0.058 \text{ seg}$$

En este tiempo llegamos a 0.7 V, y como la onda es lineal en 1 segundo llegamos a 12 V. Para el análisis del tiempo de bajada como la señal es lineal, el tiempo de subida es igual al tiempo de bajada.

Análisis para el Hemiciclo Negativo

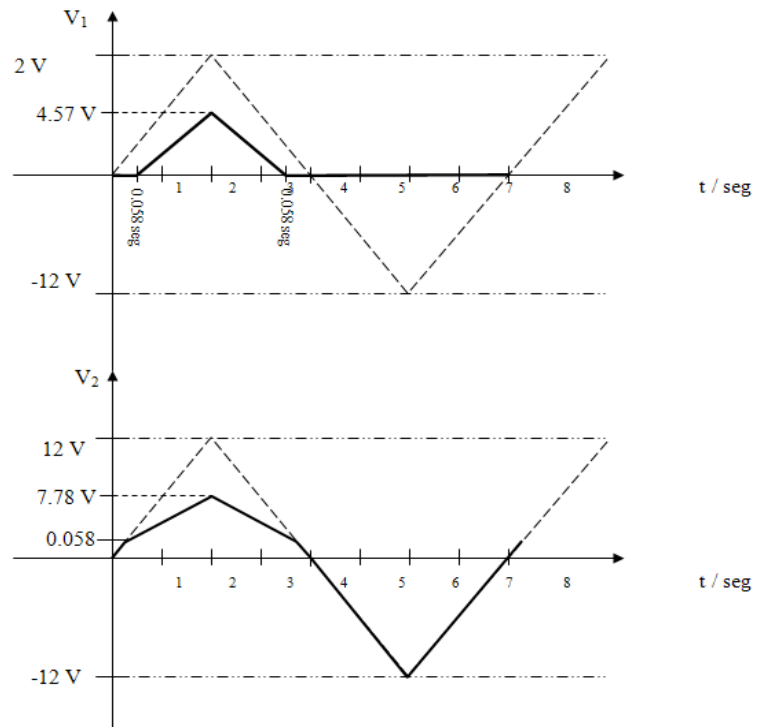
En todo momento la rama ab queda polarizada en inversa por lo tanto $i_D = 0$

1.- 0 a -0.7 V ; $V_1 = 0$ y $V_2 = V_i$

2.- -0.7 a -12 V ; $V_1 = 0$ y $V_2 = V_i$

3.- -12 a -0.7 V ; $V_1 = 0$ y $V_2 = V_i$

4.- -0.7 a 0 V ; $V_1 = 0$ y $V_2 = V_i$



Grafica 3.2 Analisis para el Hemiciclo Negativo

Nota: Las graficas tanto como V_1 como V_2 son diferentes a la entrada, esto es por la presencia del diodo. El diodo decodifica o detecta al hemiciclo positivo, por lo tanto es el que se va a modificar a la salida, si quisiéramos que modificara al hemiciclo negativo, el diodo tendría que estar en forma contraria a la figura anterior.

Estas graficas demuestran la aplicación del diodo como detector en comunicaciones tanto analógica como digital.

Concluyendo: La información no solamente viaja en los picos de la forma de onda si no en toda la superficie.

CAPITULO 4

APLICACIÓN DE DIODOS

Introducción

Aunque en la actualidad en electrónica analógica y digital, ya existen varios sistemas integrados con funciones específicas (decodificadores, compuertas, inversores, etc.) la aplicación del diodo sigue siendo funcional y altamente eficiente y en algunos casos insustituible, tal es el caso de la señal satelital y en otras aplicaciones del diodo túnel. Motivo por el cual en estas notas presentaremos algunas aplicaciones básicas.

4.1 Detector o rectificador de media onda

Los rectificadores electrónicos conducen corriente sólo en un sentido mediante el movimiento de cargas eléctricas dentro del dispositivo. Pueden soportar corrientes de hasta 500 amperios y tensiones de hasta 1.000 voltios. En la actualidad, la mayor parte de la rectificación se lleva a cabo mediante dispositivos electrónicos, como combinaciones de diodos, tubo de vacío y rectificadores de arco de mercurio.

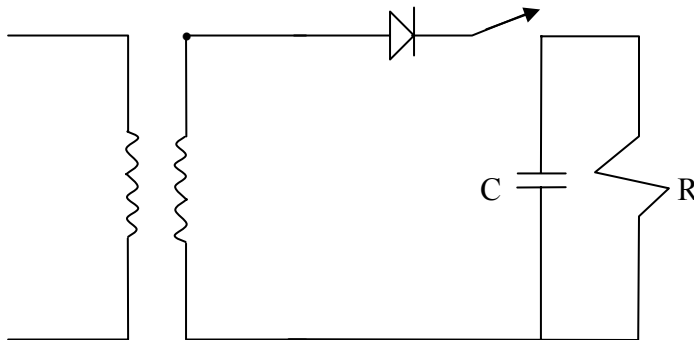
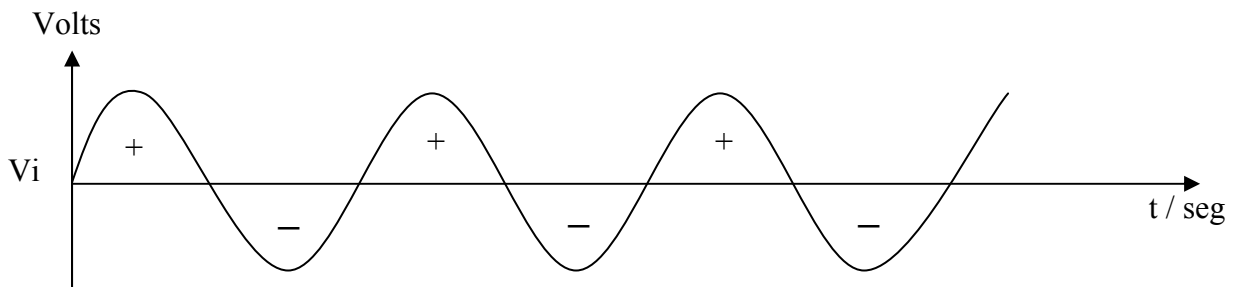


Figura 4.1.-Rectificador de media onda



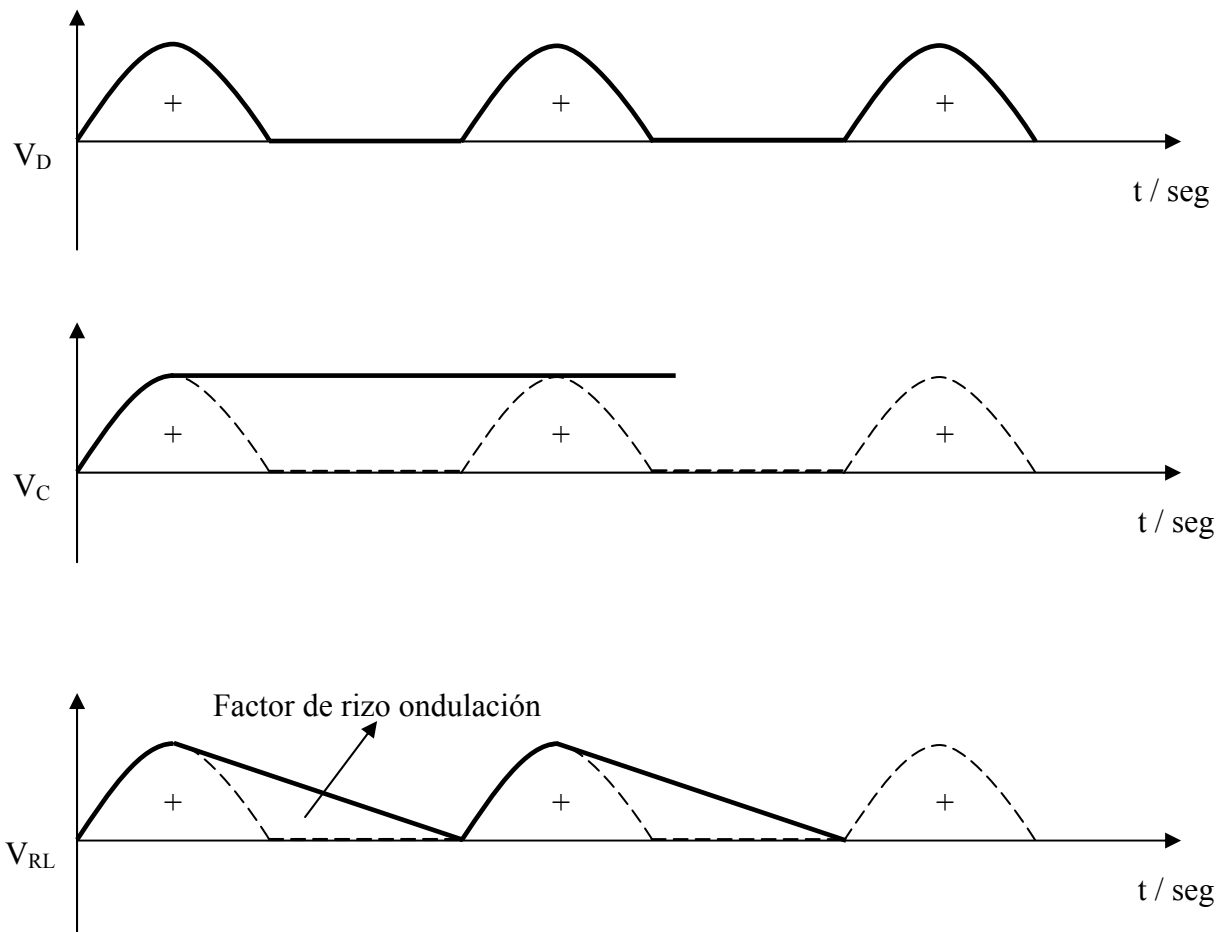


Figura 4.2.- Grafica del comportamiento del rectificador e media onda

Donde:

V_{RL} = voltaje en la resistencia de carga

V_D = Voltaje del diodo

V_C = Voltaje del capacitor

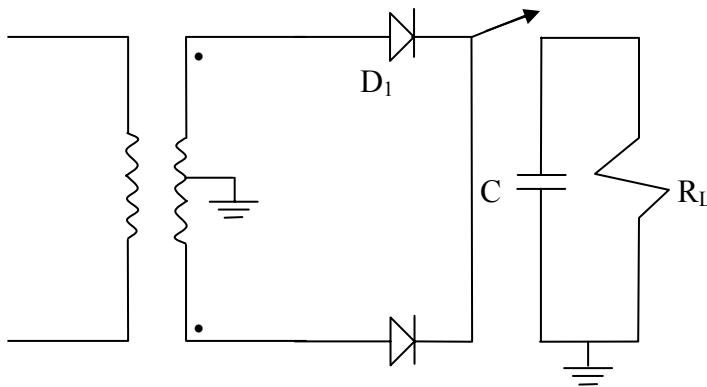
V_i = Señal de entrada

Suponiendo que el transformador tuviera polaridad, el diodo se vería “obligado” a detectar el hemiciclo positivo recortando el hemiciclo negativo. Esto es que durante todo el hemiciclo negativo el diodo no lo deja pasar pero en ningún momento deja de funcionar y en la espalda del diodo será igual con cero como lo muestra la grafica.

Esta propiedad la podemos aprovechar para que el voltaje del diodo no sea flotante si no que el hemiciclo negativo nos daría cero Volts, esto es el nivel de referencia.

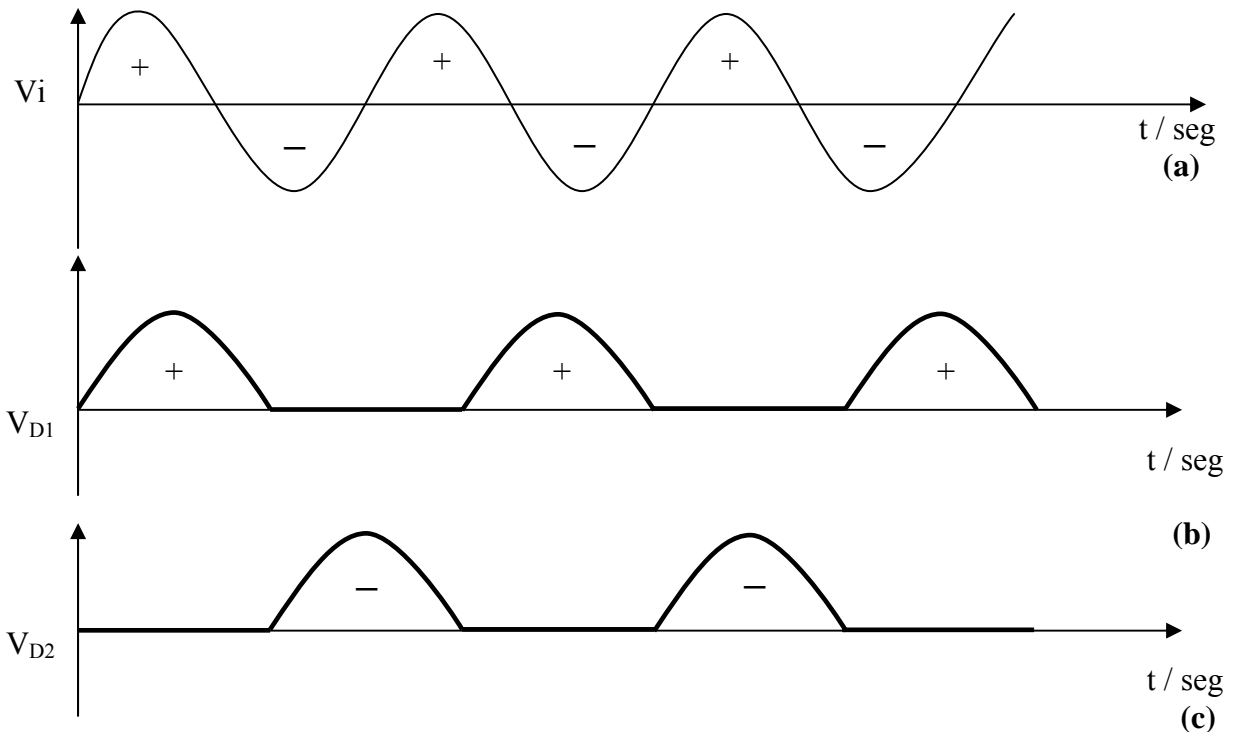
Este tipo de rectificador tiene un uso de máxima potencia de 1 Amper o menos y el tiempo esta limitado a 8 horas o menos; este no puede ser usado en aparatos con fuentes de uso continuo, calidad de rectificación baja en equipos de audio, la interferencia por ruido es muy alta.

4.2 Rectificador de onda completa con derivación central



Volts

Figura 4.3.- Rectificador de onda completa con derivación central.



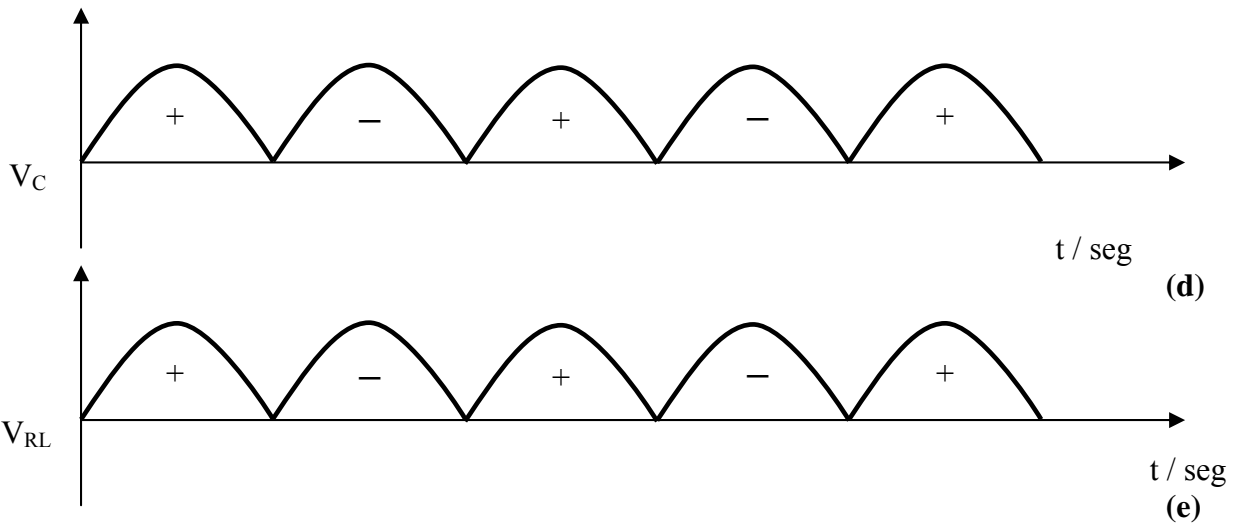


Figura 4.4.- Grafica de comportamiento de un rectificador de onda completa con derivación central.

Donde:

V_i = Señal de entrada

V_{RL} = Voltaje de carga

V_{D1} = Voltaje del diodo 1

V_{D2} = Voltaje del diodo 2

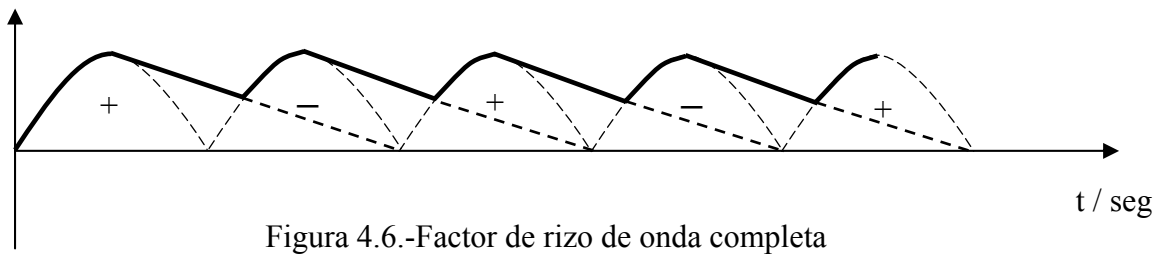
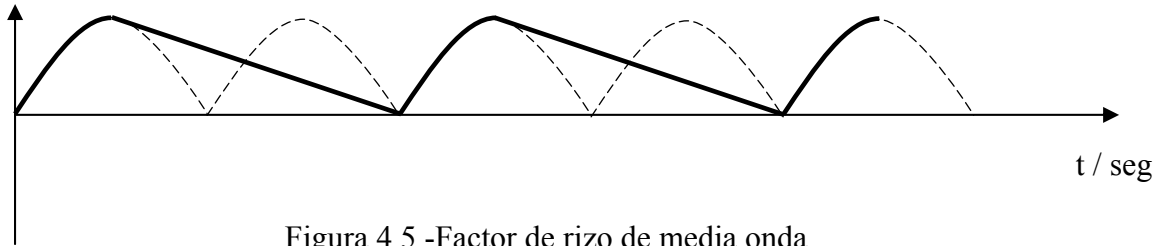
V_c = voltaje del capacitor

Características

- 1.- Transformador con derivación central.
- 2.- Uso 24 horas.
- 3.- Potencia mayor a 1 Amper.

El rectificador de onda completa con derivación central rectificada durante el hemiciclo positivo con el diodo 1 (D_1) y el hemiciclo negativo con el diodo 2 (D_2), pero debido a la posición del diodo, el hemiciclo negativo lo rectifica como voltaje positivo como muestra en la figura 2-c, la resultante sería una serie de hemiciclos cada 180° , como lo muestra la figura 2-e

De esto obtenemos dos ventajas cada 180°, primero tenemos un voltaje y en segundo el factor de rizo se disminuye un 50%.



Como puede apreciarse en la figura el factor de rizo de media onda es mayor al 50% del factor de rizo de onda completa.

El factor de rizo puede disminuirse con uno o varios capacitores, lo cual hace a este tipo de rectificador como fuente de poder para equipos de audio o video, ya que la interferencia por ruido es mínima, el inconveniente radica en que utilizaríamos prácticamente dos transformadores, ya que si necesitamos 12 Volts a la salida el transformador sería de 24 Volts a tierra y el secundario por lo tanto trabaja a 50% durante el hem ciclo positivo el diodo 1 conectado a la parte 1 y durante el hem ciclo negativo trabaja el diodo 2 a la parte 2.

Para solucionar este problema tenemos el rectificador de onda completa tipo puente.

4.3 Rectificador de onda completa tipo puente.

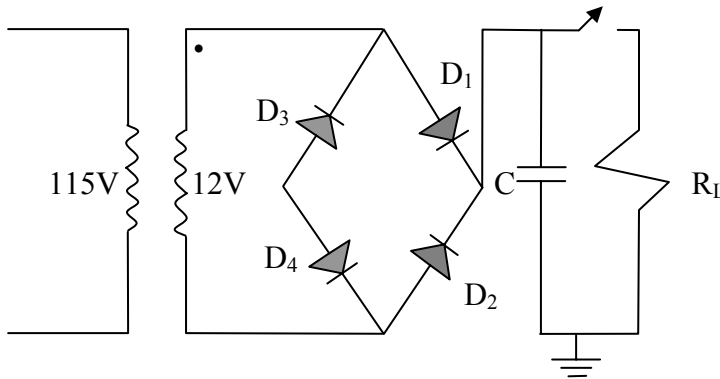


Figura 4.7.- Rectificador de onda completa tipo puente.

La figura queda igual

La forma del trabajo es la siguiente:

Durante el hemiciclo positivo trabaja el diodo 1 (D_1) y el diodo 3 (D_3) quedaría polarizado en inversa pero con definición a la espalda del diodo 3 (D_3) el voltaje que nos da es cero Volts, con lo cual automáticamente el nivel de referencia es tierra ó cero Volts, esto es el voltaje de salida con el diodo 3 (D_3) esta referido a tierra y no se tiene necesariamente que aterrizar físicamente para dar el nivel de referencia.

Durante el hemiciclo negativo trabaja el diodo 2 (D_2) decodificando hipotéticamente un voltaje negativo pero debido a la posición del diodo nos daría un voltaje positivo a la salida con las mismas características que el diodo 1 (D_1)

Conclusiones:

- 1.- El transformador trabaja al 100%
- 2.- La potencia puede ser mucho mayor que un Amper.
- 3.- La jornada de trabajo puede ser de 24 horas, lo cual lo hace ideal para emplearse como fuente de poder en aparatos que permanentemente están conectados a la línea.

4.4 Doblador de voltaje

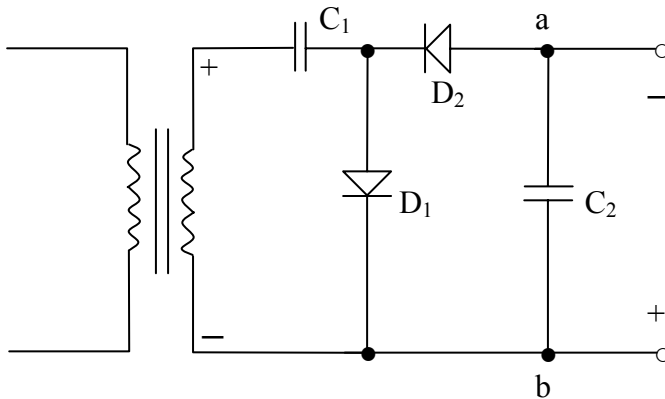


Figura 4.8.-Doblador de voltaje de media onda.

Este circuito, es rectificador de media onda durante el hemiciclo positivo del diodo 1 (D_1), el voltaje lo manda al capacitor 2 (C_2) cargándose al voltaje máximo de pico. Durante el hemiciclo negativo la corriente circula a través del capacitor 2 (C_2) sumándose al voltaje del hemiciclo positivo y conduce el diodo 2 (D_2), cargando el capacitor 1 (C_1) con lo cual el sistema queda listo para decodificar nuevamente el hemiciclo positivo antes descrito.

El resultado que el capacitor 2 (C_2) se encuentra cargado a $2V_i$ esto es en las terminales del capacitor V_{ab} la diferencia de potencial es el doble de la entrada.

4.5 Multiplicador de voltaje

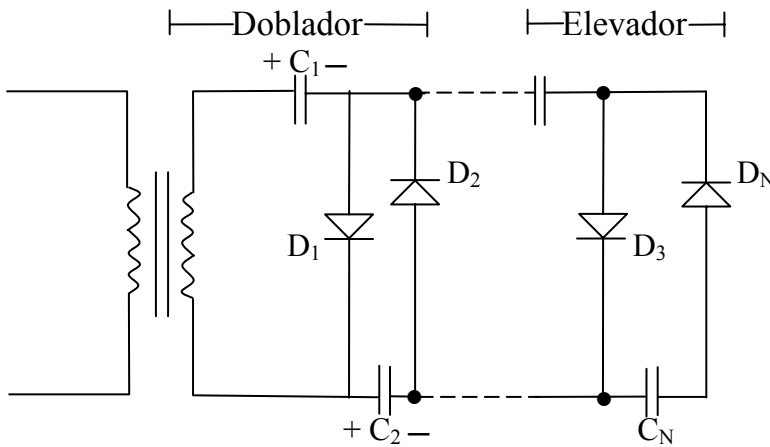


Figura 4.9.-Multiplicador de voltaje

C_N = Capacitor enésimo

D_N = Diodo enésimo

El funcionamiento del multiplicador de voltaje, tiene como base el doblador de tensión y según la cantidad de voltaje solicitado es el número de etapas que se pondrían.

Naturalmente al elevar la tensión existe una caída de corriente en cada etapa con lo cual a la salida del multiplicador tendremos un voltaje muy grande pero una corriente muy pequeña, pero esto no es problema ya que este tipo de circuitos lo que se requiere es voltaje y no corriente.

4.6 Compuertas

En términos generales la compuerta lógica se define como:

Un dispositivo que contiene dos o más entradas y una sola salida, esto es con el número de entradas conmutadas el tipo de salida a utilizar, así el control de proceso que se utiliza en función de las entradas controladas o al azar.

Las compuertas lógicas son bloques de construcción básica de los sistemas digitales; operan con números binarios, por lo que se les denomina puertas lógicas binarias.

4.6.1 Compuertas OR

Introducción

Actualmente todas las compuertas lógicas están empaquetadas, esto es un solo chip: contiene dos o mas compuertas, dos o mas inversores, etc. A fin de poder hacer un arreglo para que ejecute una función lógica predeterminada por ejemplo: un contador, un clock, un timer, etc. pero el funcionamiento no lo conocemos por lo tanto es necesario explicar el funcionamiento de las compuertas, en este caso solo veremos dos: la OR y la AND positiva.

Compuerta lógica DRL

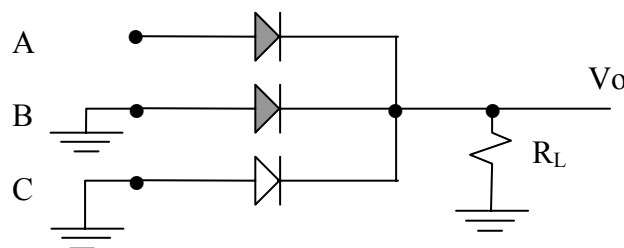


Figura 4.10.-Circuito de la compuerta OR

A	B	C	Vo
V	0	0	V
0	V	0	V
0	0	V	V
V	V	V	V
0	0	0	0
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
1	1	1	1
0	0	0	0

V = 1 lógico
0 = 0 lógico

Lógica positiva
V 0 1 lógico
0 = 0 lógico

Tabla 4.1.-Verdad lógica positiva con voltaje

A	B	C	Vo
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1
0	0	0	0

Tabla 4.2.-Verdad logica positiva digital.

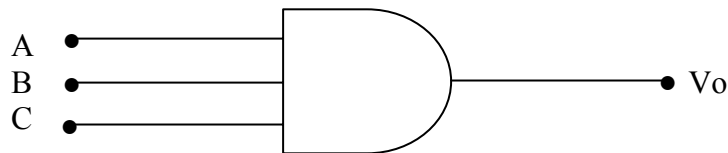


Figura 4.11.- Compuerta AND

4.6.2 Compuerta AND (y) lógica positiva

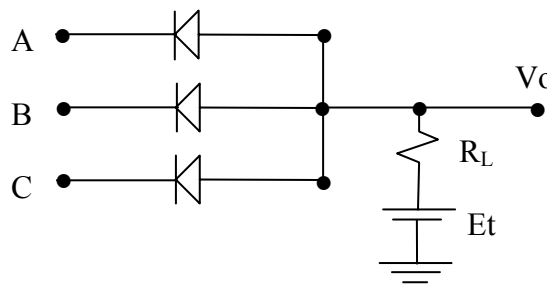


Figura 4.12.- Circuito DRL (compuerta AND)

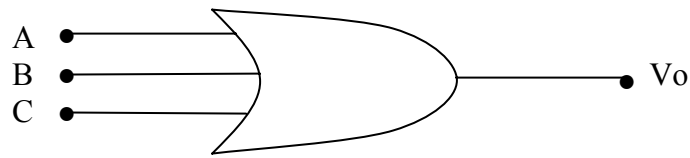


Figura 4.13.-Compuerta OR

Funcionamiento:

Si en A ponemos un voltaje los diodos B y C tendrían un cero lógico con lo cual B y C estarían a tierra.

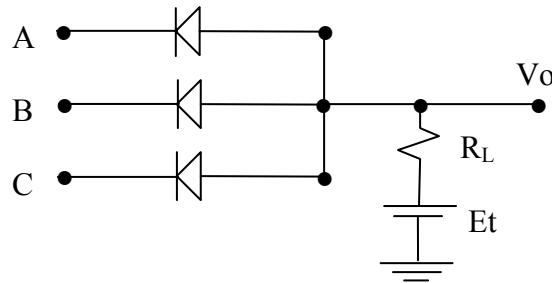


Figura. 4.14.- Circuito DRL (Compuerta OR)

El voltaje Et se iría a tierra a través de los diodos B y C, pero no estaría en corto con la fuente debido al voltaje de encendido de los diodos B y c, pero la salida Vo nos daría cero lógico, esto es cero Volts.

Para obtener un voltaje a la salida Vo es necesario que todos los diodos A, B, C tengan un voltaje, esto es en 1 lógico. Al estar los diodos en inversa no fluye corriente y el voltaje de la fuente es el voltaje de salida independientemente del valor de la resistencia de carga.

Tabla 4.3 de verdad lógica positiva.

A	B	C	Vo
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	1
0	0	0	0

Tabla 4.4 OR
Lógica Positiva

A	B	C	Vo
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	1
0	0	0	0

Tabla 4.5 NOR
Lógica Negativa

A	B	C	Vo
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	0
0	0	1	1

Tabla 4.6 AND
Lógica Positiva

A	B	C	Vo
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
1	1	1	1
0	0	0	0

Tabla 4.7 NAND
Lógica Negativa

A	B	C	Vo
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	1	1
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0
0	0	0	1

4.7 Recortadores

La función básica de este circuito es fijar la señal a un nivel, sin embargo el mismo circuito puede fijar el nivel y recortar la señal al mismo tiempo.

Por lo tanto un fijador puede ser al mismo tiempo fijador y recortador de nivel. A continuación daremos unos ejemplos.

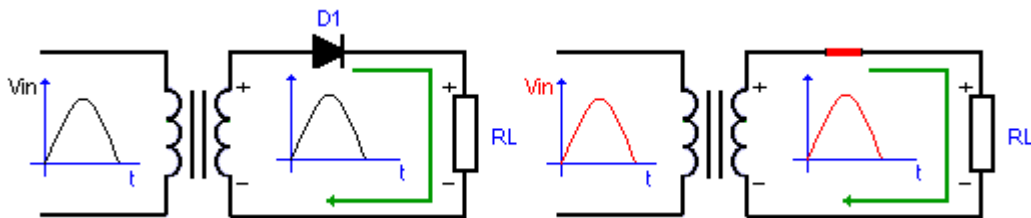
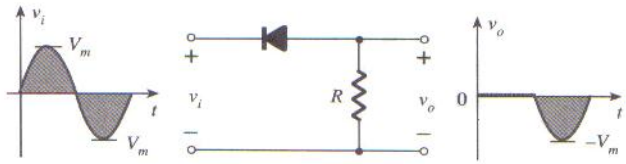


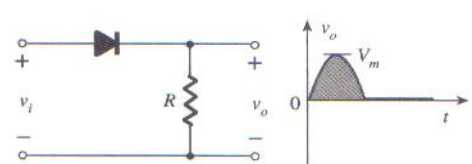
Figura 4.15 Rectificador de media onda

Figura 4.16 Recortadores en serie simples (diodos ideales).

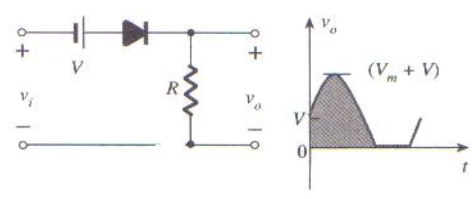
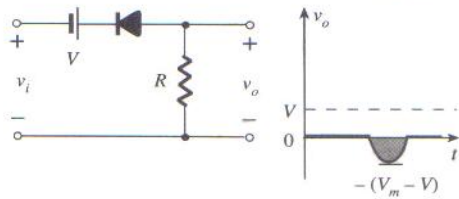
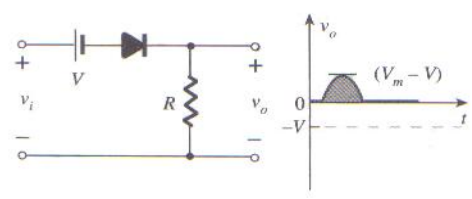
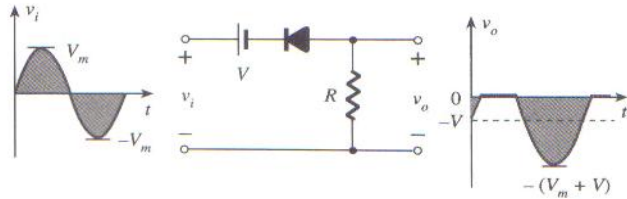
POSITIVO



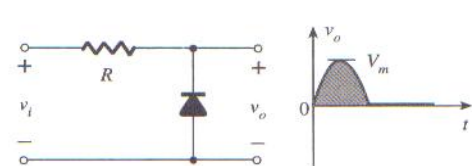
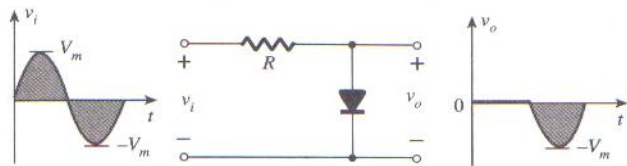
NEGATIVO



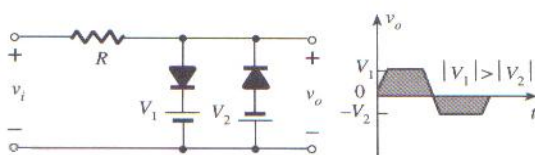
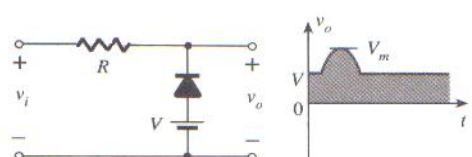
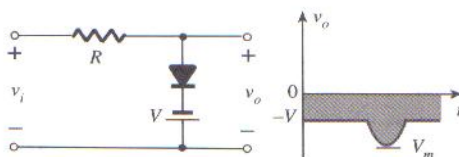
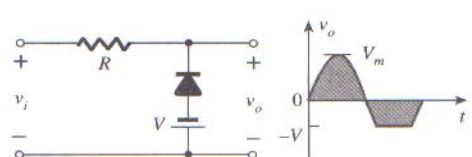
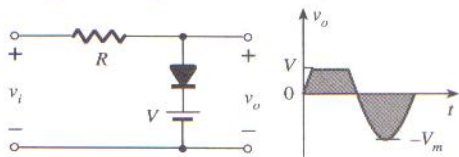
Recortadores en serie polarizados (diodos ideales)



Recortadores en paralelo simples (diodos ideales)



Recortadores en paralelo polarizados (diodos ideales)



CAPITULO 5

ZENER REGULADOR

El diodo Zener es un modelo especial de diodo de unión, que utiliza silicio, en el que la tensión en paralelo a la unión es independiente de la corriente que la atraviesa.

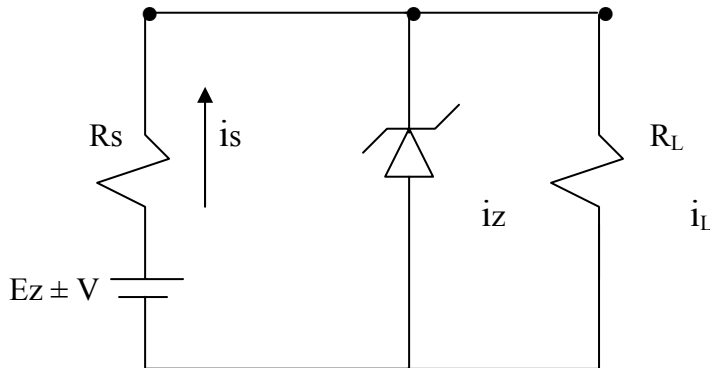


Figura 5.1 Circuito Diodo Zener

R_s = Resistencia limitadora protectora de Zener

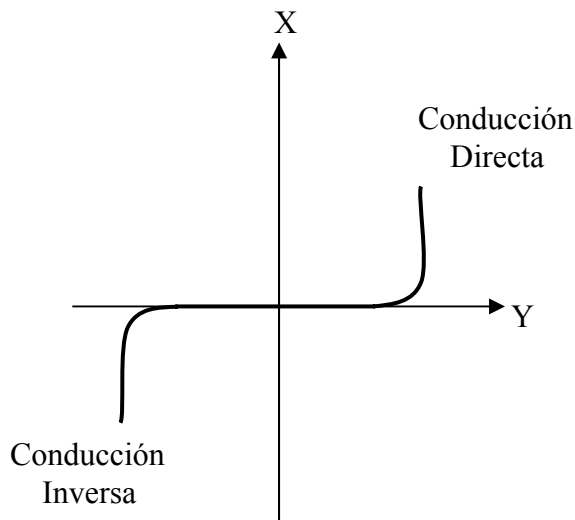
$(E_z \pm V)$ = Fuente de voltaje \pm variación

i_s = Corriente de la fuente

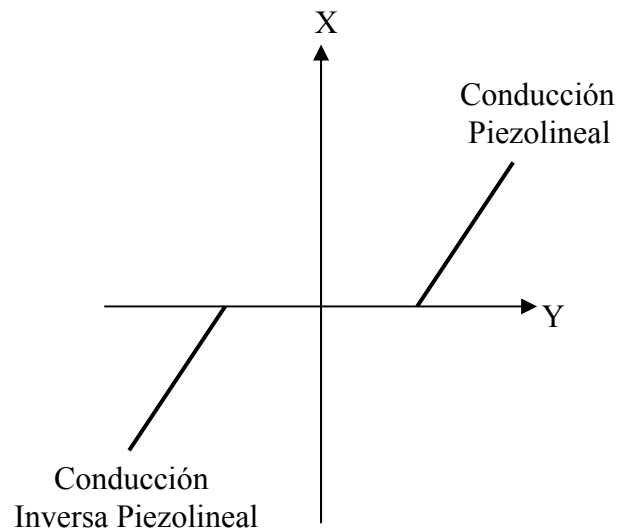
i_z = Corriente del Zener

i_L = Corriente de la carga

5.1 Modelo Piezolineal del Zener



Grafica 5.1 Modelo Real Zener



Grafica 5.2 Modelo Piezolineal del Zener

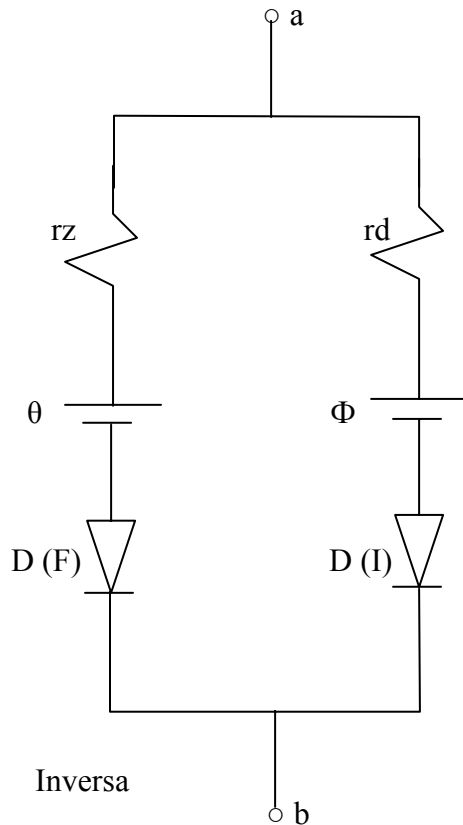


Figura 5.2 Modelo piezolineal del zener

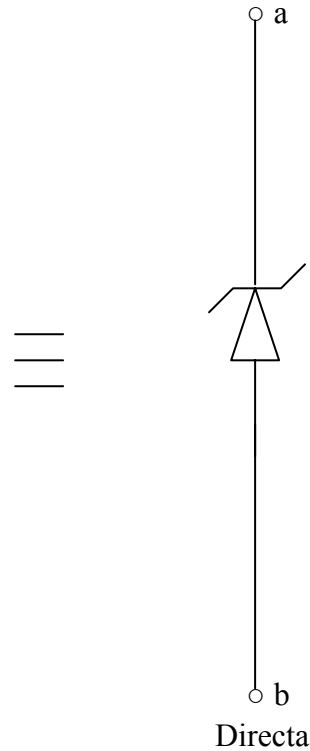
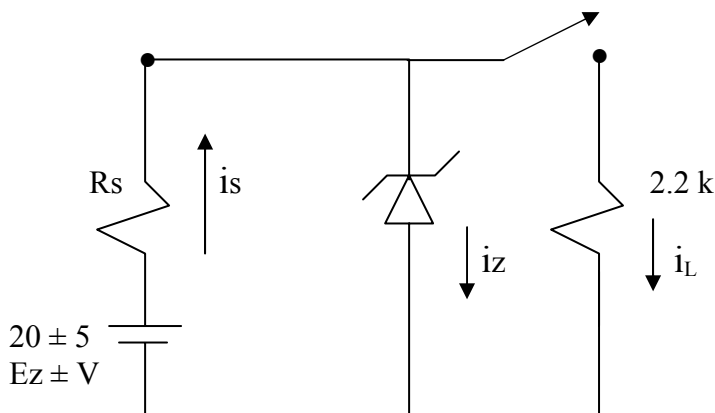


Figura 5.3 Modelo real

Como puede apreciarse el Zener conduce en inversa como indirecta, en directa se comporta como un diodo vulgar. El voltaje de conducción depende del material con el que esta hecho, germanio (Ge 0.2) o Silicio (Si 0.7).

En inversa la conducción se da por valores determinados esto es desde 0.2 hasta cientos de Volts, y es precisamente en esta posición que la usaremos como regulador, esto es del modelo piezolineal solo usaremos la parte inversa.

Ejemplo: Diodo Zener



Datos del Zener

- $\theta = 12 \text{ V}$
- $\Phi = 0.65 \text{ V}$
- $r_z = 33 \Omega$
- $r_d = 630 \Omega$
- $P_{max} = 175$
- $i_{z_{min}} = 2.5 \text{ mA}$

Figura 5.4 Circuito Diodo Zener

Análisis

$$i_s = i_z + i_L \quad (\text{se forma un nodo})$$

1ª Consideramos al Zener como un regulador ideal

$$V_{ab} = V_{R_L} \longrightarrow V_{R_L} = \theta$$

$$V_{ab} = 12 \text{ V}$$

Con esto podemos considerar que el voltaje en R_L es constante igual a 12 volts, lo cual nos permite calcular R_s dándole el menor número de variaciones de voltaje en la carga y protegiendo al Zener.

$$i_s = i_z + i_L$$

$$i_{s_{\max}} = i_{z_{\max}} + i_{L_{\max}}$$

$$i_{s_{\min}} = i_{z_{\min}} + i_{L_{\min}}$$

Cálculo de R_s

$$V_{R_L} = R_L i_L$$

$$i_L = \frac{V_{R_L}}{R_L} = \frac{\theta}{R_L} = \frac{12}{2.2 \text{ k}} = 5.45 \text{ mA}$$

$$i_L = 5.45 \text{ mA}$$

Nota:

De la forma de calcular $i_L; v = R i$

$$i = \frac{V}{R} \quad \text{lo cual conduce a que } i_L = \text{constante}$$

Esto es $i_{L_{\max}} = i_{L_{\min}}$ lo cual justifica por si solo el uso del Zener

Calculo de i_z :

$P_{\max} = V i = \theta i_{z_{\max}}$ por lo tanto

$$i_{z_{\max}} = \frac{P_{\max}}{\theta} = \frac{175}{12} = 14.58 \text{ mA}$$

$$i_{s_{\max}} = i_{z_{\max}} + i_L$$

$$i_{s_{\max}} = 14.58 + 5.45 = 20.03 \text{ mA}$$

Calculo de i_s :

$$i_{s_{\min}} = i_{z_{\min}} + i_L$$

$$i_{s_{\min}} = 2.5 + 5.45 = 7.95 \text{ mA}$$

La resistencia R_s la calcularemos con $i_{s_{\max}}$, ya que R_s se quemaría con la corriente máxima.

$$V = R i \quad \Longrightarrow \quad V_{R_{s_{\max}}} = R_{s_{\max}} i_{s_{\max}}$$

$$R_{s_{\max}} = \frac{V_{R_{s_{\max}}}}{i_{s_{\max}}}$$

Como $V_{R_{s_{\max}}}$ no se conoce se tiene que

$$(E_z \pm V) = V R_s + \theta$$

$$(E_z \pm V) = V R_{s_{\max}} + \theta$$

$$V R_{s_{\max}} = (E_z \pm V) - \theta$$

$$V R_{s_{\max}} = 25 - 12 = 13 \text{ V}$$

$$R_{s_{\max}} = \frac{V_{R_{s_{\max}}}}{i_{s_{\max}}} = \frac{13 \text{ V}}{20.03 \text{ mA}} = 0.64 \text{ k}$$

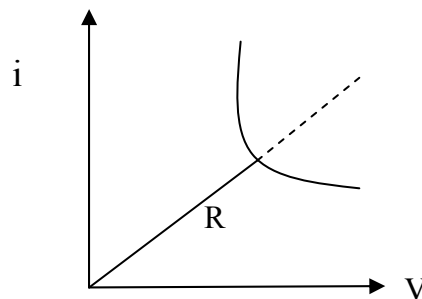
Este valor es de R_s , y hace que la resistencia trabaje en el límite de la parábola de máxima potencia.

Donde:

i = corriente

V = voltaje

R = resistencia



Gráfica 5.3 Parábola de máxima potencia

Lo que hace cualquier variación de voltaje “adicional” a la resistencia R_s es que pueda quemarse.

Para proteger al Zener le daremos un 10 % más de su valor calculado ya que la norma establece que las resistencias comerciales pueden tener una variación de $\pm 5\%$

Calculando:

$$R_s = 0.64 \text{ k} \quad \Longrightarrow \quad (0.64) (1.1) = 0.704 \text{ k}$$

El circuito quedaría:

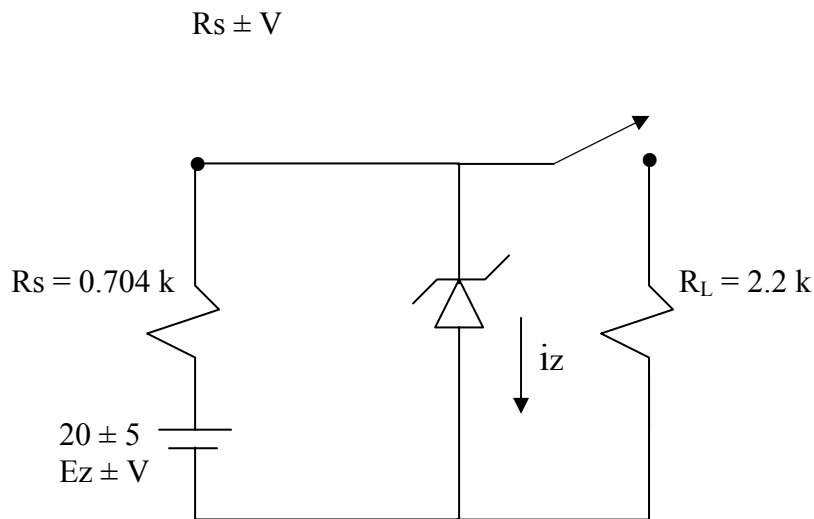


Figura 5.5 Circuito del diodo zener

5.2 Cálculo de variaciones de voltaje en la resistencia de carga

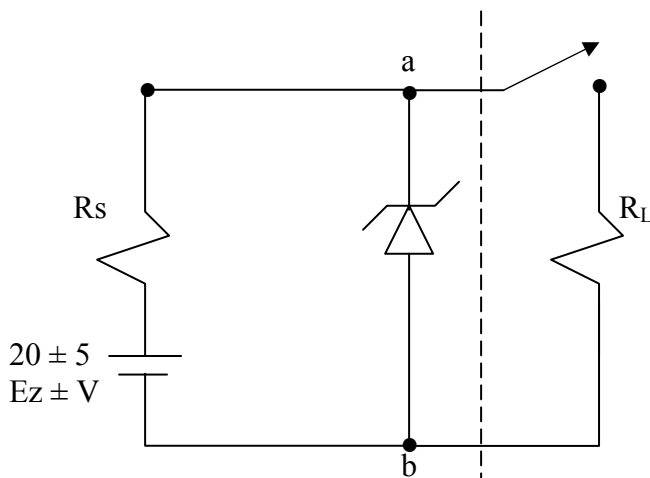


Figura 5.6 Circuito del diodo zener como regulador

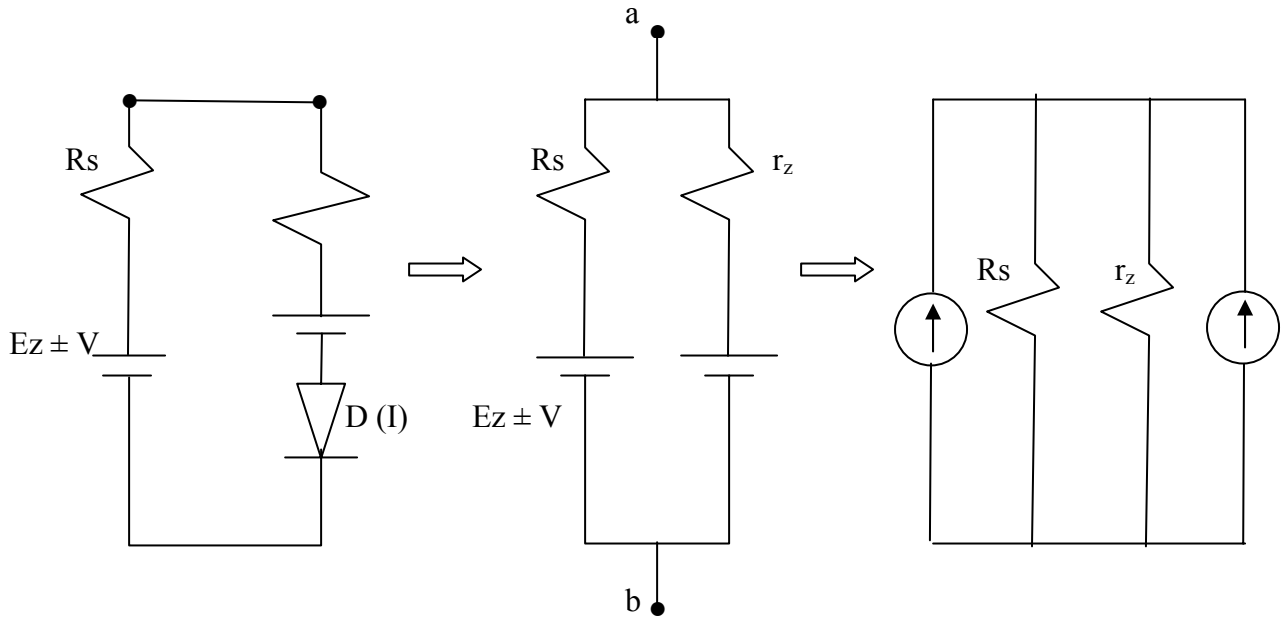


Figura 5.7 Simplificación del circuito

Figura 5.8 Northon

Modelo piezolineal

$$i_1 = \frac{Ez \pm V}{Rs} ; i_{1max} = \frac{Ez + V}{Rs}$$

$$i_{1max} = \frac{25}{0.704} = 35.51 \text{ mA}$$

$$i_{1min} = \frac{Ez - V}{Rs} = \frac{15}{0.704} = 21.3 \text{ mA}$$

$$i_2 = \frac{\theta}{r_z} = \frac{12 \text{ V}}{0.033} = 363.6 \text{ mA}$$

Norton

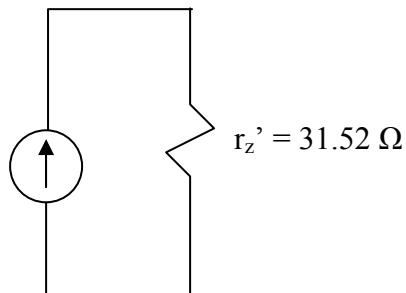


Figura 5.9 Circuito Northon

Thevenin

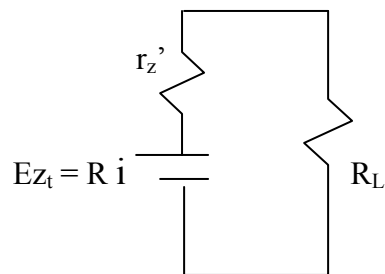


Figura 5.10 Circuito Thevenin

Norton

$$i_{\max} = 395.15$$

$$i_{\min} = 21.3 + 363.6 = 384.9$$

$$i_{D_{\max}} = \frac{(Et + V)}{\Sigma R}$$

$$i_{D_{\max}} = \frac{(Et \pm V)}{\Sigma R} = \frac{12.442}{2.231k} = 5.57 \text{ mA}$$

$$i_{D_{\max}} = \frac{(Et - V)}{\Sigma R}$$

$$i_{D_{\max}} = \frac{(Et - V)}{\Sigma R} = \frac{12.127}{2.231k} = 5.43 \text{ mA}$$

$$VR_{L_{\max}} = R_L i_{D_{\max}} = 2.2 (5.57) = 12.254 \text{ Volts}$$

$$VR_{L_{\min}} = R_L i_{D_{\min}} = 2.2 (5.43) = 11.946 \text{ Volts}$$

Por lo tanto tenemos que, la variación será:

$$\Delta = \frac{12.254 - 11.946}{2} = 0.154 \text{ Volts}$$

$$VR_L = (12.1 \pm 0.154) \text{ Volts}$$

Con esto concluimos que de una variación de ± 5 Volts a la entrada el funcionamiento del Zener queda justificado desde que la corriente en la carga es constante.

Luego el manejo de esta será a través de Zener. Esto es, el Zener protege a la carga de variaciones de corriente, lo cual nos permite calcular una potencia relativamente fija.

Del ejemplo analizado tenemos que la corriente mínima nos da un voltaje de 11.946 Volts y este no enciende al Zener pues nos haría falta 0.054 de Volt, para que el Zener trabaje.

En un análisis estricto el voltaje mínimo debe de ser por lo menos de $\theta = 12$ Volts en este ejemplo, con lo cual el diseño de esta fuente se tendría que repetir.

Dado los datos del problema la única modificación que podemos hacer es en R_s , como nos hace falta voltaje tendríamos que disminuir la resistencia 10 % a 5 % de donde nos quedaría:

$$R_s' = 0.64 (1.05) = 0.672 \text{ k} (\text{k}\Omega)$$

Calculo nuevo R_s

$$(E_z \pm V) = V_{R_s} + \theta \quad \Longrightarrow \quad V_{R_s} = (E_z \pm V) - \theta$$

$$V_{R_{s_{\max}}} = (E_z + V) - \theta$$

$$V_{R_{s_{\max}}} = 25 - 12 = 13 \text{ Volts}$$

$$V_{R_s} = R_{s'_{\max}} i_{s_{\max}}$$

$$i_s = i_L + i_z$$

$$i_s = 5.45 + 14.58 = 20.03 \text{ mA}$$

Por lo tanto i_s es una constante

$$i_{s_{\min}} = 2.5 + 5.45 = 7.95 \text{ mA es constante}$$

$$V_{R_s} = R_{s'} i_{s_{\max}} = (0.672 \text{ k}) (20.03 \text{ mA}) = 13.46 \text{ Volts}$$

5.3 Rediseño para variaciones de voltaje con $R_{s'}$

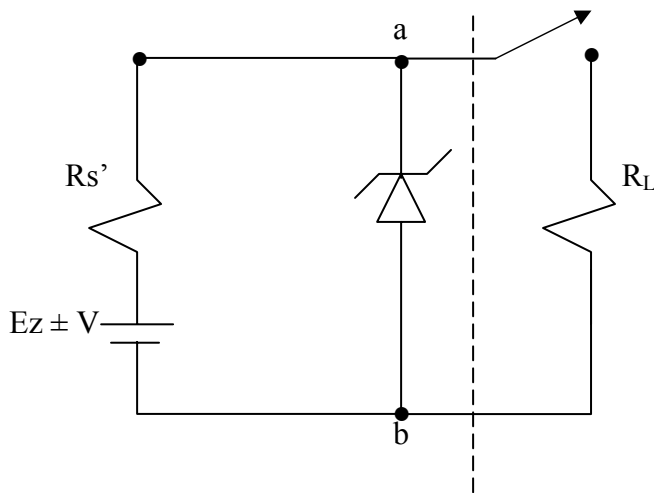


Figura 5.11 Circuito del diodo zener como regulador

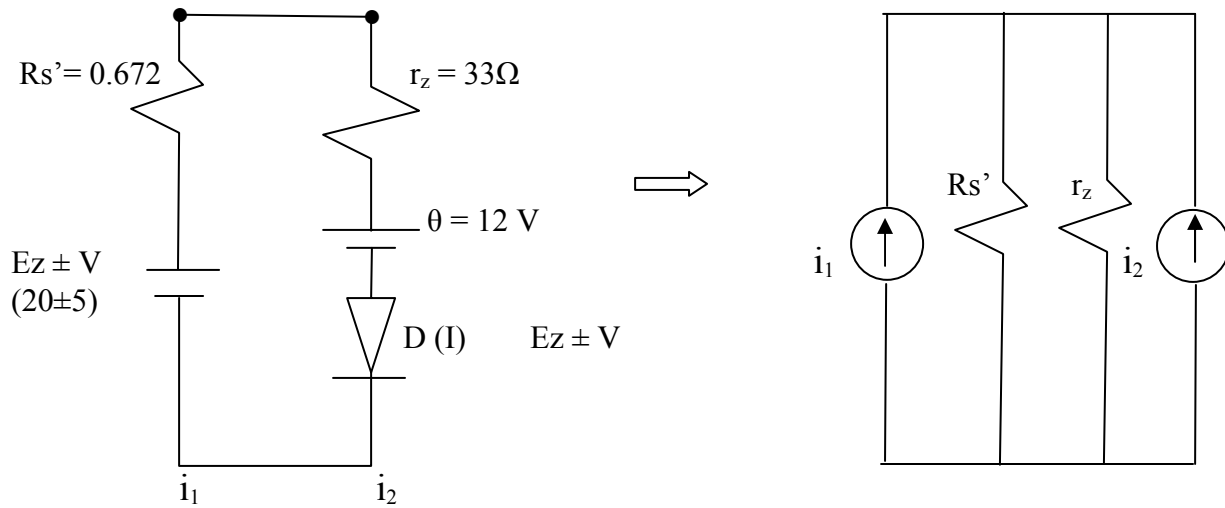


Figura 5.12 Simplificación del diodo zener

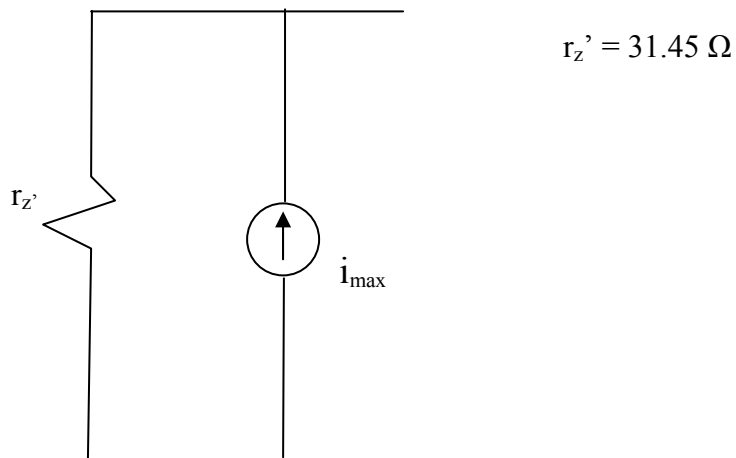
$$i_1 = \frac{(E_z \pm V)}{R_{s'}}$$

$$i_{1\max} = \frac{25}{0.672} = 37.2 \text{ mA}$$

$$i_{2\text{cte}} = \frac{12}{0.033} = 363.63 \text{ mA}$$

$$i_1 + i_2 = i_{\max}$$

$$i_{\max} = 363.63 \text{ mA} + 37.2 \text{ mA} = 400.8 \text{ mA}$$

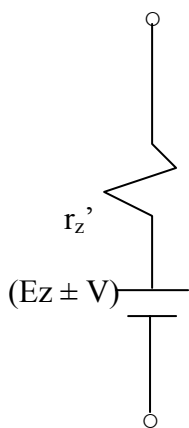


$$i_{1\min} = \frac{15}{0.672} = 22.32 \text{ mA}$$

$$i_{2\min} = \frac{12}{0.033} = 363.63 \text{ mA}$$

$$i_{\min \text{ total}} = i_{1\min} + i_{2\min}$$

$$i_{\min \text{ total}} = 363.63 + 22.32 = 385.95 \text{ mA}$$



$$Ez + V = r_z'_{\max} i_{\max}$$

$$(Ez - V) = (31.45) (385.95) = 12.138 \text{ Volts}$$

$$Ez + V = r_z'_{\max} i_{\min}$$

$$(Ez + V) = (31.45) (400.8) = 12.605 \text{ Volts}$$

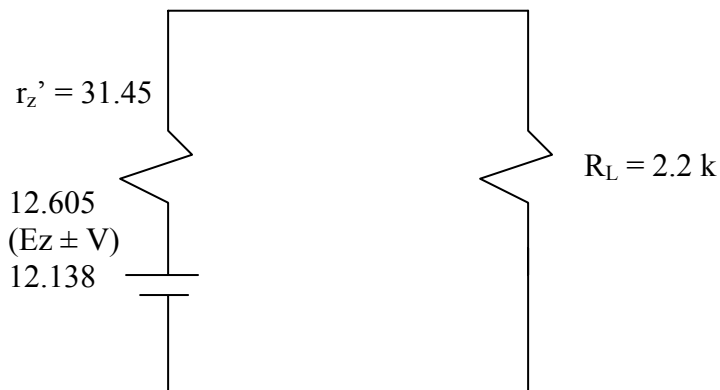


Figura 5.13 Equivalente de Thevenin

Calculo de variaciones de voltaje en la resistencia de carga

$$i_{D\max} = \frac{(Ez + V)}{R_L + r_z'} = \frac{12.605}{2.231 \text{ k}} = 5.64 \text{ mA}$$

$$i_{Dmin} = \frac{(E_z - V)}{R_L + r_z'} = \frac{12.138}{2.231} = 5.44 \text{ mA}$$

$$VR_{Lmax} = (2.2) (5.64) = 12.408 \text{ Volts}$$

$$VR_{Lmin} = (2.2) (5.44) = 11.968 \text{ Volts}$$

Es necesario otro rediseño solamente que ya no modificando la resistencia de carga si no ahora la fuente, el diseño de todos los Zener se da de esta manera.

Este proceso de trabajo no lo haremos, ya que nos llevaría mucho espacio.

Este proceso de iteración es común en todos los diseños electrónicos, además tiene que checar con el circuito real y nuevamente contrastarlo con el diseño matemático hasta que los dos empaten.

CAPITULO 6

TBJ AMPLIFICADOR

6.1 Introducción

El transistor bipolar fue inventado en 1948 para sustituir al tubo de vacío tríodo. Está formado por tres capas de material dopado, que forman dos uniones *pn* (bipolares) con configuraciones *pnp* o *npn*. Una unión está conectada a la batería para permitir el flujo de corriente (polarización negativa frontal, o polarización directa), y la otra está conectada a una batería en sentido contrario (polarización inversa).

El principio se puede utilizar para construir amplificadores en los que una pequeña señal aplicada a la unión de polarización directa provocará un gran cambio en la corriente de la unión de polarización inversa. El transistor bipolar de juntura (TBJ)

Transistor, en electrónica, denominación común para un grupo de componentes electrónicos utilizados como amplificadores u osciladores en sistemas de comunicaciones, control y computación

Hasta la aparición del transistor en 1948, todos los desarrollos en el campo de la electrónica dependieron del uso de tubos de vacío termoiónicos, amplificadores magnéticos, maquinaria rotativa especializada y condensadores especiales, como los amplificadores. El transistor, que es capaz de realizar muchas de las funciones del tubo de vacío en los circuitos electrónicos, es un dispositivo de estado sólido consistente en una pequeña pieza de material semiconductor, generalmente germanio o silicio, en el que se practican tres o más conexiones eléctricas. Los componentes básicos del transistor son comparables a los de un tubo de vacío tríodo e incluyen el emisor, que corresponde al cátodo caliente de un tríodo como fuente de electrones.

Como solo existen semiconductores N y P las probabilidades de ser un transistor serán NPN y PNP.

En este capítulo analizaremos un NPN en la inteligencia que todas las conclusiones serán igual pero de sentido contrario para el PNP.

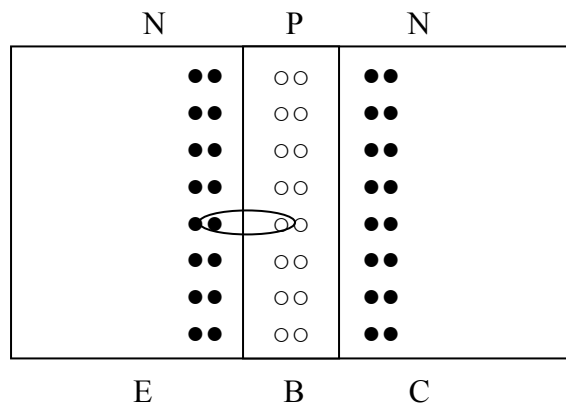


Figura 6.1 Funcionamiento de la Juntura NPN

Donde:

● Electrón (-)

○ Hueco (+)

●○ Recombinación (0)

E = Emisor

B = Base

C = Colector

Se forman dos diodos: NP (Base — Emisor) y PN (Base — Colector), por lo tanto se formaran dos regiones sin portadores, la resistencia del diodo Base — Emisor y la resistencia del diodo Base — Colector.

6.2 Construcción física del transistor NPN

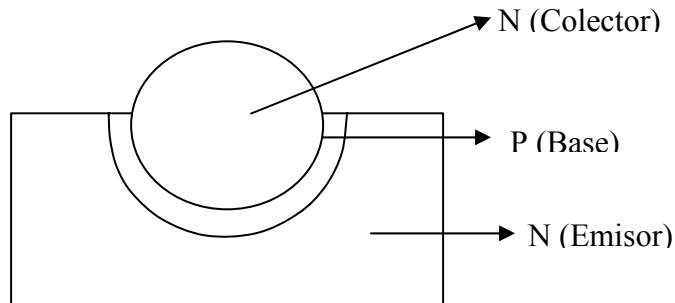


Figura 6.2 Construcción física del transistor NPN

Debido a la construcción física del transistor los diodos Base — Emisor y Base — Colector, no son simétricos, por lo tanto las características son diferentes.

Emisor (E): El emisor está más contaminado que la base y sus dimensiones son mayores a esta.

Base (B): La base se encuentra menos contaminada que el emisor y el colector y sus dimensiones en el límite serían las de una oblea en el sándwich emisor — colector.

Colector (C): El colector se encuentra contaminado en la misma proporción que el emisor.

El objetivo del transistor es que la carga que salga del emisor llegue al colector, de esta manera la cantidad de corriente que circula por la base es menor de 5%.

La capacidad de la base es atrapar el 5% de las cargas, mientras menos cargas atrape la amplificación del transmisor es mayor.

6.3 Polarización

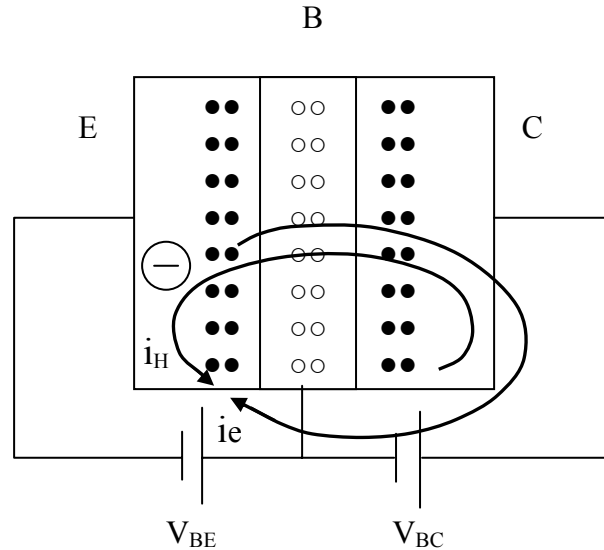


Figura 6.3 Polarización del Transistor Bipolar de Juntura en directa

Donde:

V_{BE} = Voltaje Base — Emisor

V_{BC} = Voltaje Base — Colector

i_H = Corriente convencional o de huecos*

* Hueco, resto positivo del átomo (ion)

El diodo Base — Emisor se polariza en directa a fin de que las cargas circulen en el sentido convencional, si consideramos que los electrones se mueven, la fuente de voltaje Base — Emisor, acelera estas hacia la base, si la fuente Base — Colector estuviera en directa frenaría el movimiento de esta carga, por lo tanto la polarización del diodo Base — Colector debe ser negativa para que la carga finalmente la reciba el colector, cerrando hacia el circuito.

Si consideramos la corriente convencional esto es, la corriente de huecos, el sentido sería contrario al de la corriente electrónica.

Todas las corrientes i_E , i_C e i_B las proporciona la fuente Base – Emisor y la fuente Base – Colector funcionaría como una fuente de corriente.

Modelo Ebers – Moll

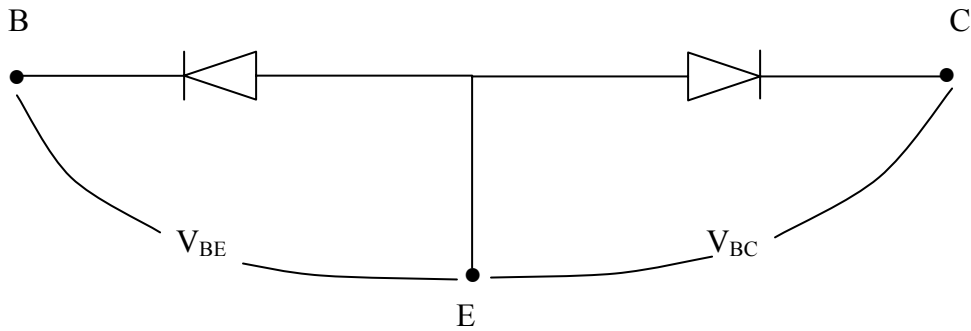


Figura 6.4 Modelo Ebers-Moll

El funcionamiento del transistor se hace más objetivo con el modelo de Ebers – Moll.

Como la fuente Base – Colector esta en inversa el diodo Base – Colector se convierte en una fuente de corriente, como se muestra en la siguiente figura.

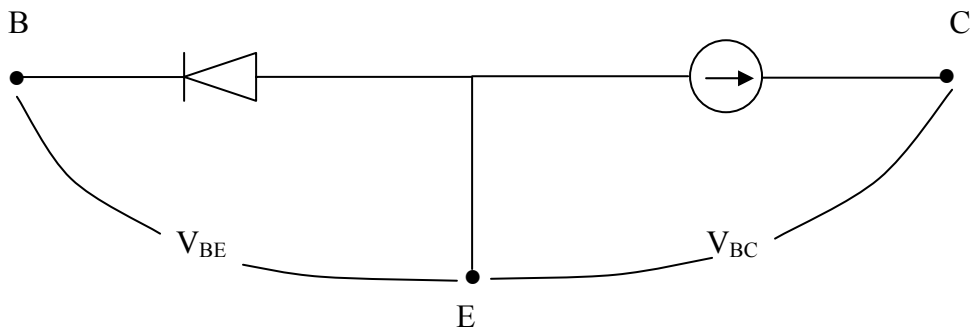


Figura 6.5 Modelo Ebers-Moll para emisor común

El modelo Ebers – Moll para una configuración emisor común nos quedaría de la siguiente manera.

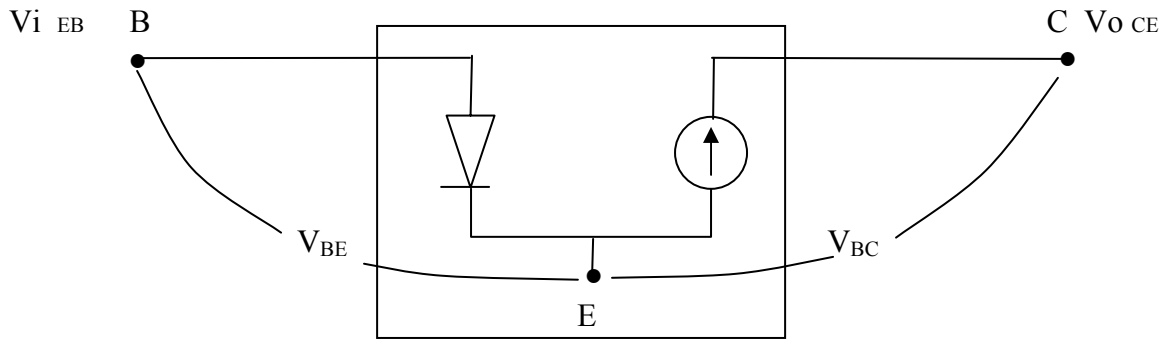


Figura 6.6 Modelo Ebers-Moll para emisor común.

Esta figura nos muestra finalmente la función de la fuente Base – Emisor y la función de la fuente Base – Colector en inversa que actúa como una fuente de corriente.

6.4 Nomenclatura

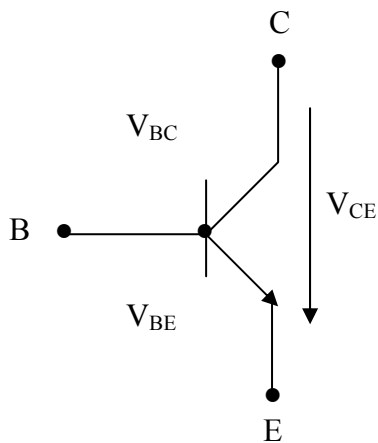


Figura 6.7 Transistor NPN

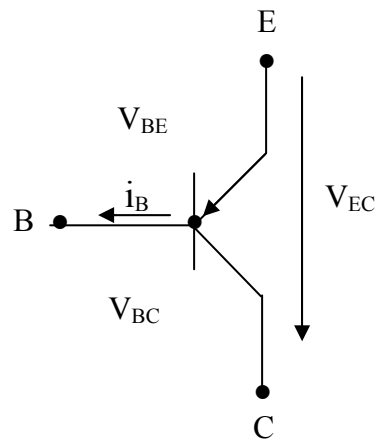


Figura 6.8 Transistor PNP

Como solamente existen dos semiconductores “N” y “P” solo existen dos posibilidades de transistor el NPN y PNP como los mostrados en la figura .

Trabajaremos con un NPN en la inteligencia de que todo lo estudiado y ecuaciones que resulten serán iguales del NPN al PNP, pero con signo negativo.

Por ejemplo en el NPN, el colector (C) va al positivo de la fuente de polarización y en el PNP el positivo va al emisor y así sucesivamente.

NPN

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{BC}$$

$$i_E = i_C + i_B$$

PNP

$$-V_{CE} = -V_{BE} - V_{BC}$$

$$-i_E = -i_C - i_B$$

6.5 Ecuación fundamental del transistor

Como $i_E = i_C + i_B$ (1)

Si la corriente i_E fuese igual a i_C tendríamos que $i_B = 0$, lo cual no puede ser, entonces tendríamos $i_C = \alpha i_E$; donde α es menor a 1, pero muy cercano a 1.

La ecuación del nodo, la ponemos en función de la corriente del colector (i_C) y la corriente de la base i_B , por lo tanto queda:

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = i_C + i_B \quad \Rightarrow \quad \frac{i_C - \alpha i_C}{\alpha} = i_B$$

$$i_C \left(\frac{1 - \alpha}{\alpha} \right) = i_B \quad \Rightarrow \quad i_C = \left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right) i_B \quad \alpha = 0.99$$

$$i_C = \left(\frac{0.9}{1 - 0.9} \right) i_B = 9 \quad \text{Si} \quad \alpha = 0.99 \quad i_C = \left(\frac{0.99}{1 - 0.99} \right) i_B = 99$$

De esta manera el término $\left(\frac{\alpha}{1 - \alpha} \right)$ es igual a β .

Donde β : es el factor de amplificación de corriente. De estos resultados la salida del transistor por colector es amplificadora e inversora.

Luego:

$$i_C = -\beta i_B$$

En la ecuación del nodo

$$i_E = i_C + i_B$$

Despejemos i_B de la ecuación fundamental del transistor

$$i_B = \frac{i_C}{\beta}$$

De la ecuación del nodo

$$i_E = i_C + \frac{i_C}{\beta}$$

$$i_E = \frac{i_C + \beta i_B}{\beta}$$

Por lo tanto

$$i_E = i_C \left(\frac{\beta + 1}{\beta} \right)$$

Si β mínimo 100 nos quedaría

$$\frac{101}{100} = 1.01$$

Como las β de los transistores usados en este curso son de 200 nos quedaría:

$$\frac{201}{200} = 1.005$$

Luego entonces para términos prácticos consideraremos

$$i_E = \beta i_B + i_B$$

Simplificando nos quedaría:

$$i_E = i_B (\beta + 1)$$

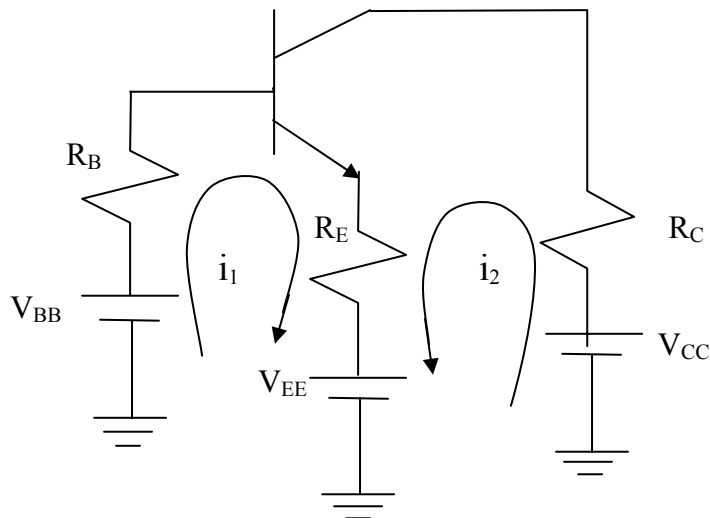


Figura 6.9 Transistor NPN configuración emisor común

Donde:

V_{BB} : Fuente de la base

V_{EE} : Fuente del emisor del emisor

V_{CC} : Fuente del colector

$$V = R i \text{ por lo tanto } \Sigma V = \Sigma R i \text{ en mallas}$$

1.- Malla de entrada

$$(V_{BB} - V_{EE}) = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

2.- Malla de salida

$$(V_{CC} - V_{EE}) = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

Como "Q" debe de estar en activo directo por lo tanto

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{BC} \quad \therefore \quad V_C > V_B > V_E$$

Donde:

$$\Sigma \text{ de fuentes } (V_{BB} - V_{EE}) > 0 \quad \Longrightarrow \quad V_{EE} \text{ debe de ser mayor que:}$$

$$(V_{CC} - V_{EE}) > 0 \quad \Longrightarrow \quad V_{CC} \text{ ser\'a mayor a } V_{EE} \text{ (} V_{EE} \text{ a tierra)}$$

Como resulta muy complicado polarizar el transistor con 3 fuentes haremos el an\'alisis comparativo con 2 fuentes solamente, esto es el emisor directamente a tierra.

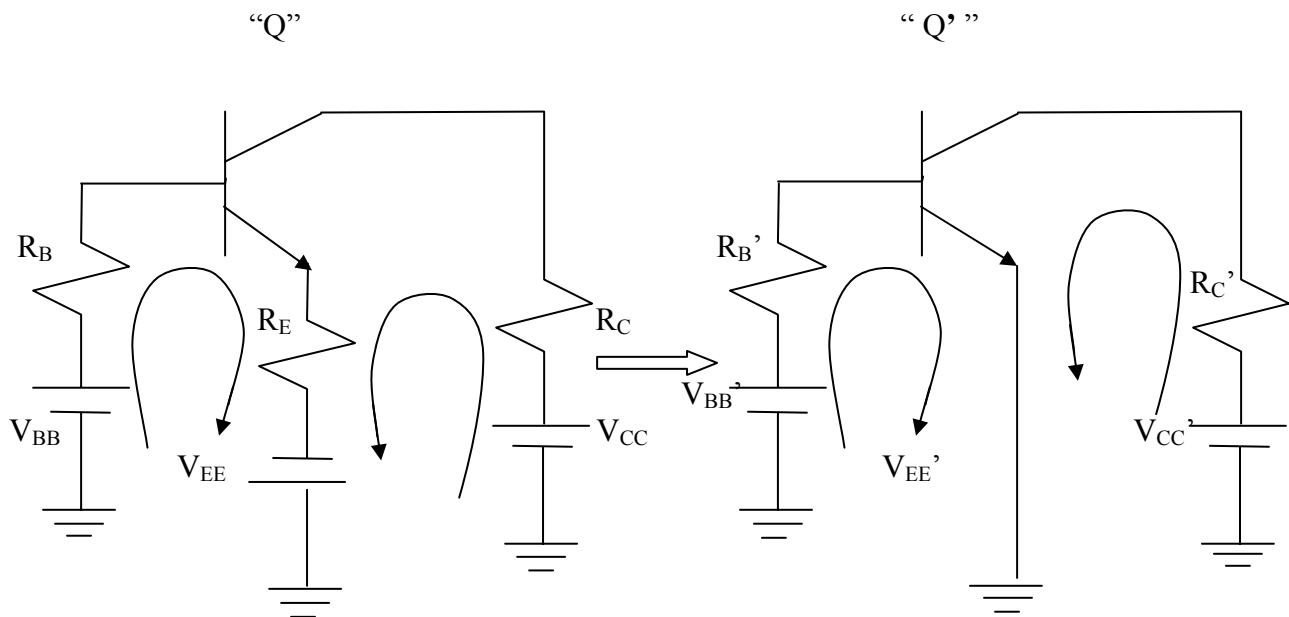


Figura 6.10 Transistores NPN configuraci3n emisor com3n

Malla (1) "Q"

$$(V_{BB} - V_{EE}) = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

Malla (2)

$$(V_{CC} - V_{EE}) = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

Malla (1) "Q'"

$$V_{BB}' = V_{BE} + i_B R_B'$$

Malla (2)

$$(V_{CC}' = V_{CE} + i_C R_C'$$

Comparando primero las fuentes

$$V_{BB}' = (V_{BB} - V_{EE}) \quad (1)$$

$$V_{CC}' = (V_{CC} - V_{EE}) \quad (2)$$

Para que $V_C > V_B > V_E$ es en activo directo

Como $Q = Q'$

Comparando resistencias

$$(1) = (1) \quad (\beta + 1) i_B$$

$$i_B R_B + i_E R_E = i_B R_B'$$

$$i_B R_B + (\beta + 1) i_B R_E = i_B R_B'$$

$$i_B = i_{BQ} \quad \Longrightarrow \quad R_B' = R_B + (\beta + 1) R_E$$

Esto es si pasamos R_E a la base nos quedaría la R_E vieja más $(\beta + 1) R_E$ quedando así R_B'

$$(II) = (II)'$$

$$i_C R_C + i_E R_E = i_C R_C'$$

Por lo tanto como:

$$i_C = i_{CQ}$$

Nos quedaría

$$R_C = R_C + R_E$$

Si pasamos la R_E al colector, la pasaríamos simplemente sumando la R_C vieja más la R_E quedando R_C'

Con este procedimiento haremos las sustituciones necesarias para que una sola fuente polarice al transistor.

Tipos de polarización

1.-

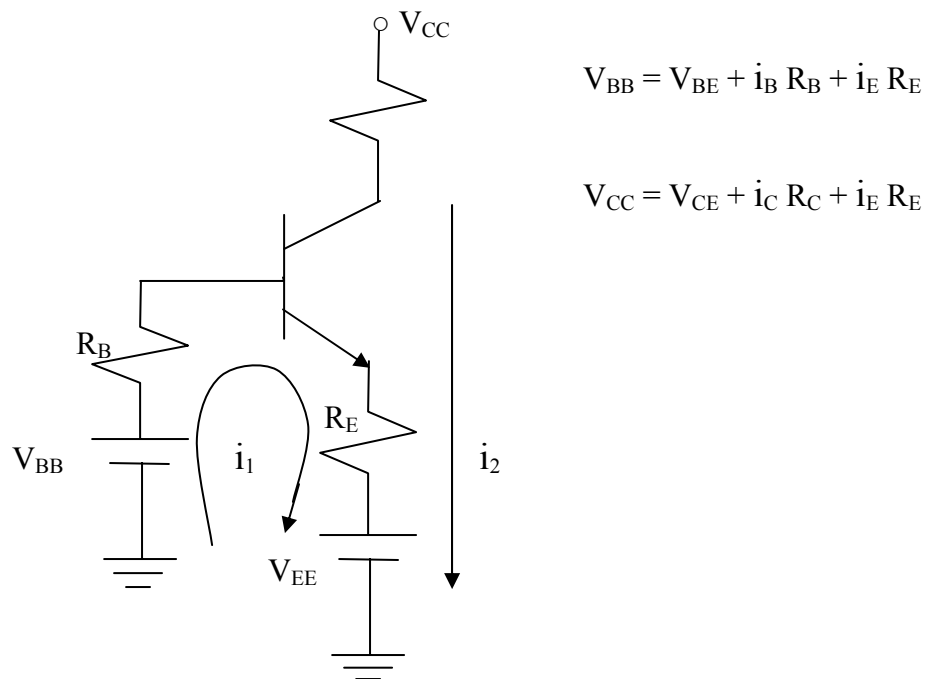


Figura 6.11 Transistor emisor común

2.-

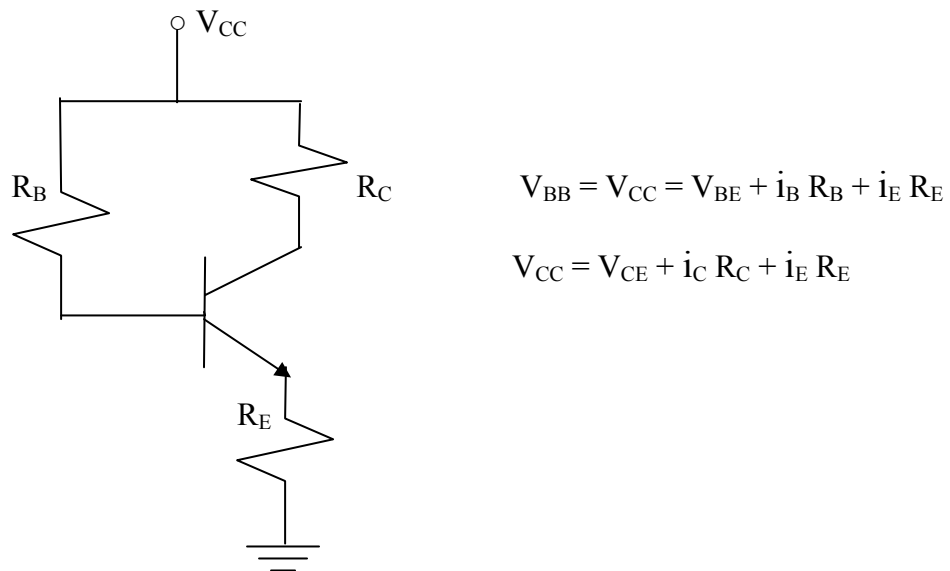


Figura 6.12 Transistor con realimentación emisor común

3.-

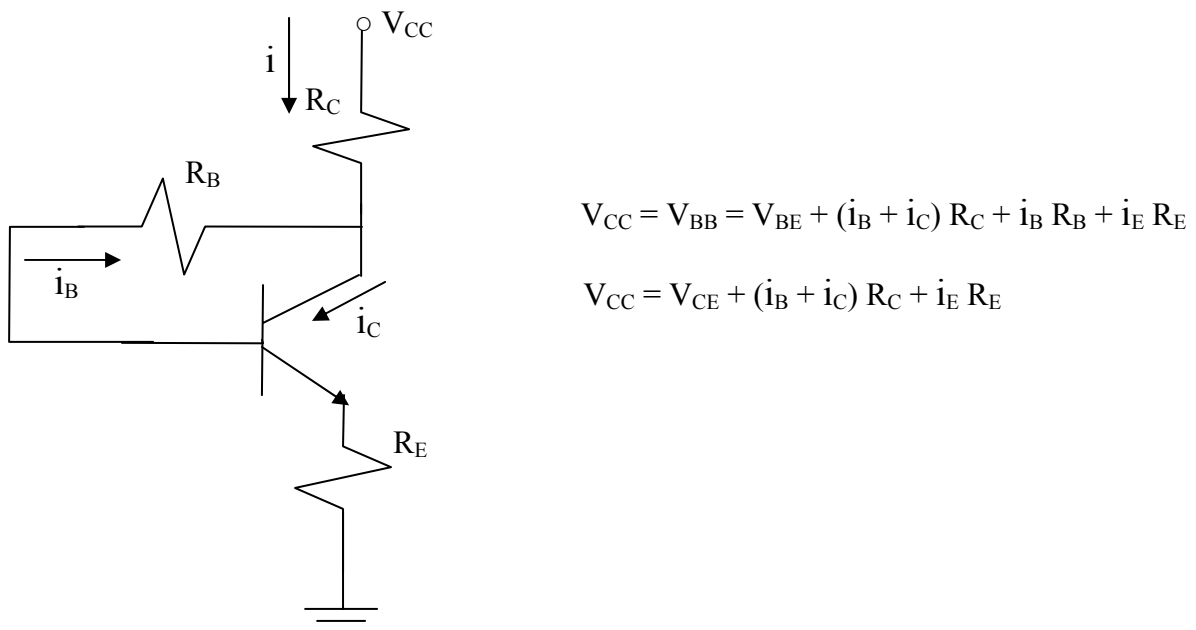


Figura 6.13 Otro tipo de alimentación emisor común

4.-

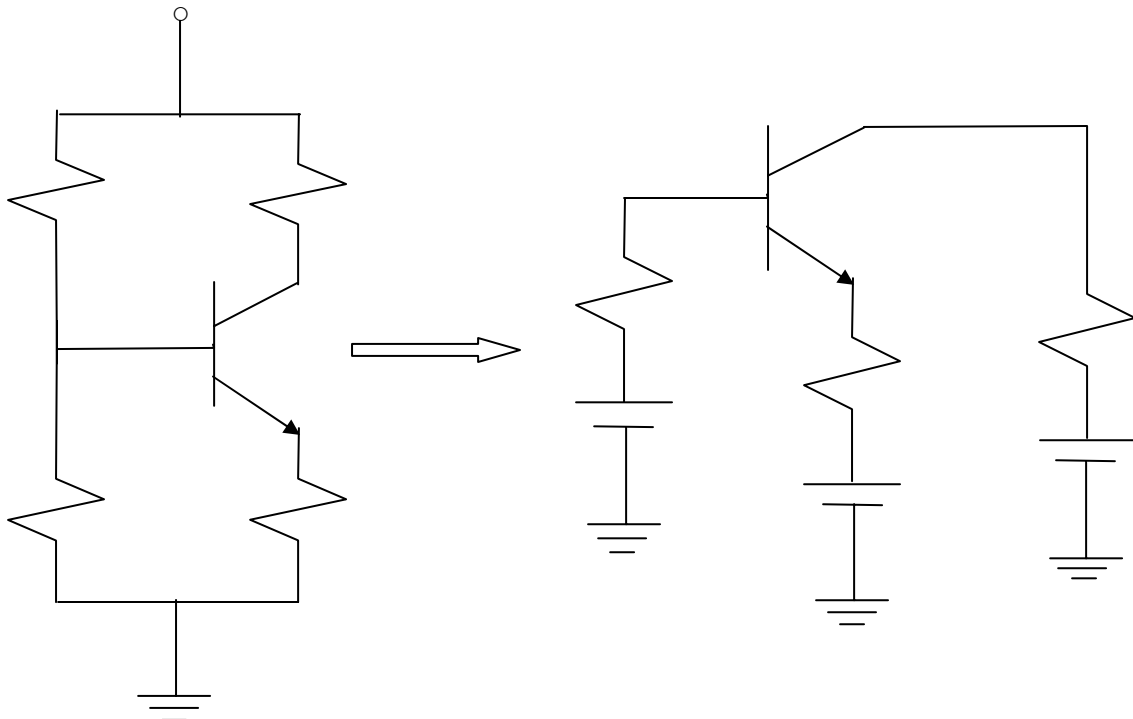


Figura 6.14 Circuito básico del divisor de voltaje emisor común en el curso

$$V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

$$V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

Como vamos a trabajar en configuración Emisor común y con el circuito equivalente de un divisor a continuación daremos un ejemplo.

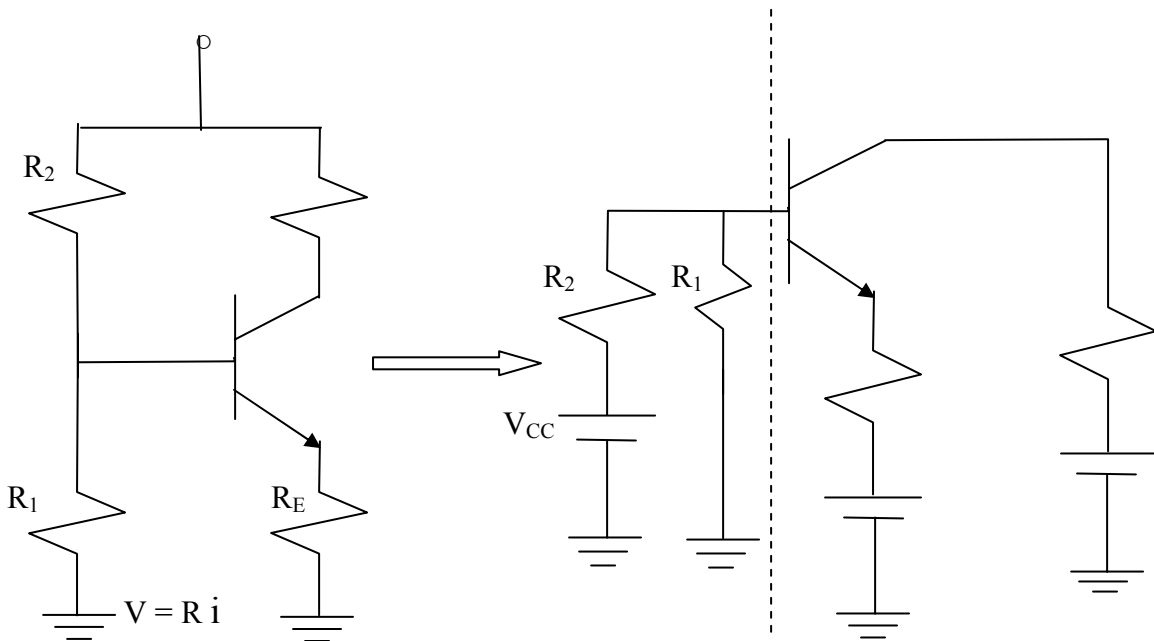
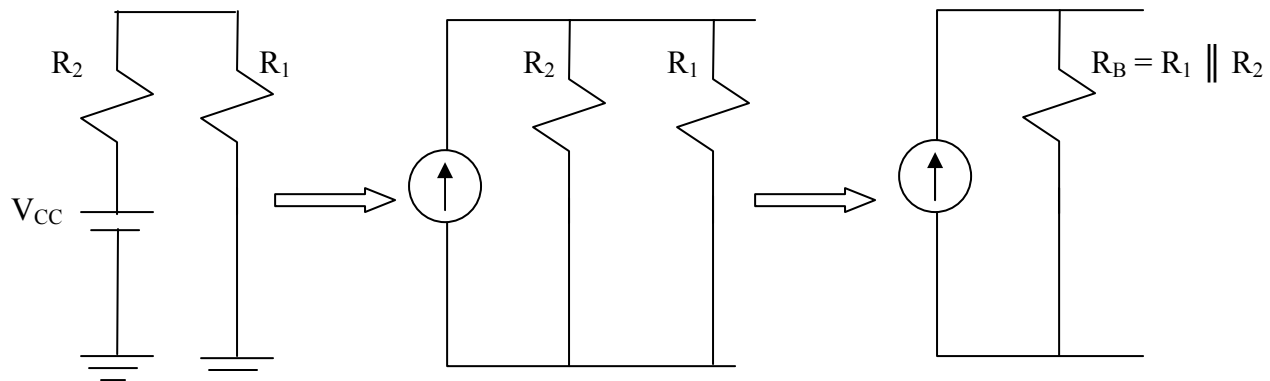


Figura 6.15 Reducción a dos mallas

Donde:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{V_{CC}}{R_2}$$

Northon



Thevenin

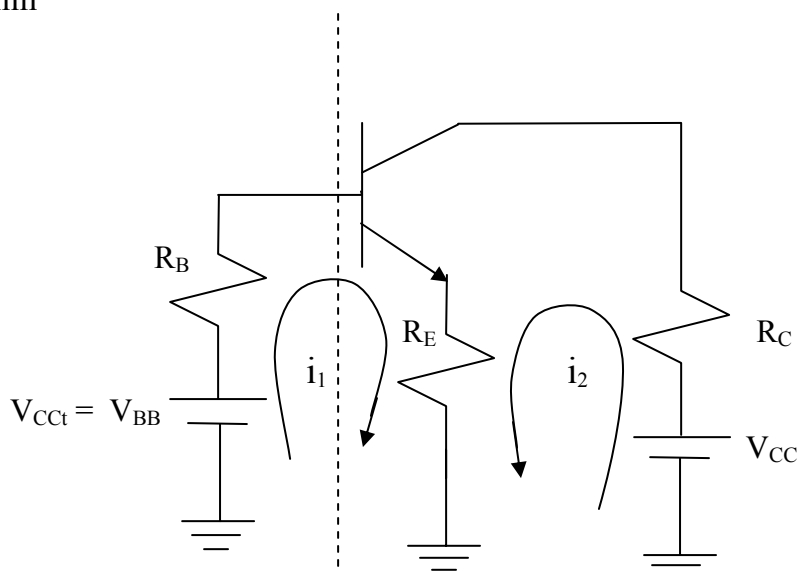


Figura 6.16 Circuito equivalente del divisor

Malla

I $V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$

Ecuación 1

II $V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$

$$V_{BB} = i R_B$$

$$V_{BB} = \left(\frac{V_{CC}}{R_2}\right) R_B$$

Luego $R_B = R_1 \parallel R_2$

$$1) \quad \text{Pero } V_{BB} = \left(\frac{V_{CC}}{R_2}\right) R_B \quad \Longrightarrow \quad R_2 = \left(\frac{V_{CC}}{V_{BB}}\right) R_B$$

$$R_1 = \frac{R_2 V_{BB}}{V_{CC} - V_{BB}}$$

Entonces

$$V_{BB} = \left(\frac{V_{CC}}{R_2}\right) R_2$$

R_2 debe ser igual a la ecuación (1) de entrada por lo tanto $V_{BB} = \left(\frac{V_{CC}}{R_2}\right) R_2$

$$V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

Por lo tanto también:

$R_B = R_1 \parallel R_2$ pero compensación por beta

$$R_B = \frac{(\beta + 1) R_E}{10} = R_B = R_1 \parallel R_2$$

6.6 Grafica de punto de operación de un problema de polarización

A continuación calcularemos varios incisos de un problema de un transistor, cuyos datos son dados no como un circuito fuente (un divisor) si no como su equivalente.

Datos

$$\beta = 100$$

$$V_{BEQ} = 0.68 \text{ V}$$

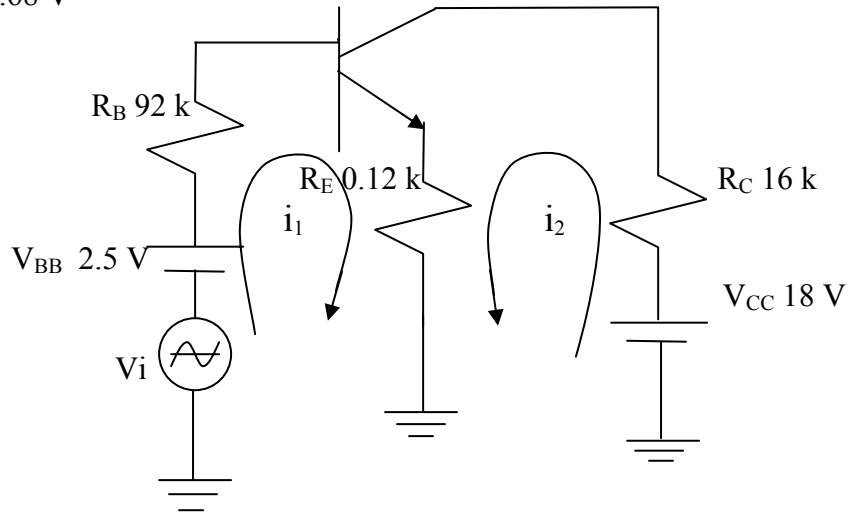


Figura 6.17 Diagrama de problema de polarización

Calcular:

- Q
- Q_{ms}
- q, cerca de saturación
- para el inciso c) calcular V_i

Análisis estática

$$\begin{array}{l} \text{I} \quad V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E \\ \text{II} \quad V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E \end{array} \quad \text{Emisor común}$$

Análisis dinámica

$$\begin{array}{l} \text{I} \quad V_i = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E \\ \text{II} \quad 0 = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E \quad \Longrightarrow \quad V_{CE} = i_C R_C + i_E R_E \end{array}$$

Calcular “Q” inciso a)

Como no hay condiciones, se tiene que de la

$$V_{BB} = V_{BEQ} + i_B R_B + i_E R_E$$

Donde:

$$i_E = (\beta + 1) i_B$$

Tenemos que:

$$i_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BEQ}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

$$i_{BQ} = \frac{2.5 - 0.68}{92 + (101)(0.12)} = \frac{1.82}{104.12} = 0.017 \text{ mA}$$

Por lo tanto

$$i_{CQ} = \beta i_B$$

$$i_{CQ} = (100)(0.017) = 1.7 \text{ mA}$$

De i_{CQ} calcularemos V_{CEQ} de la ecuación

$$V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

Donde:

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

Por lo tanto:

$$V_{CEQ} = 18 - (1.7)(16 + 0.12) = -9.404 \text{ Volts}$$

Saturación Grafica

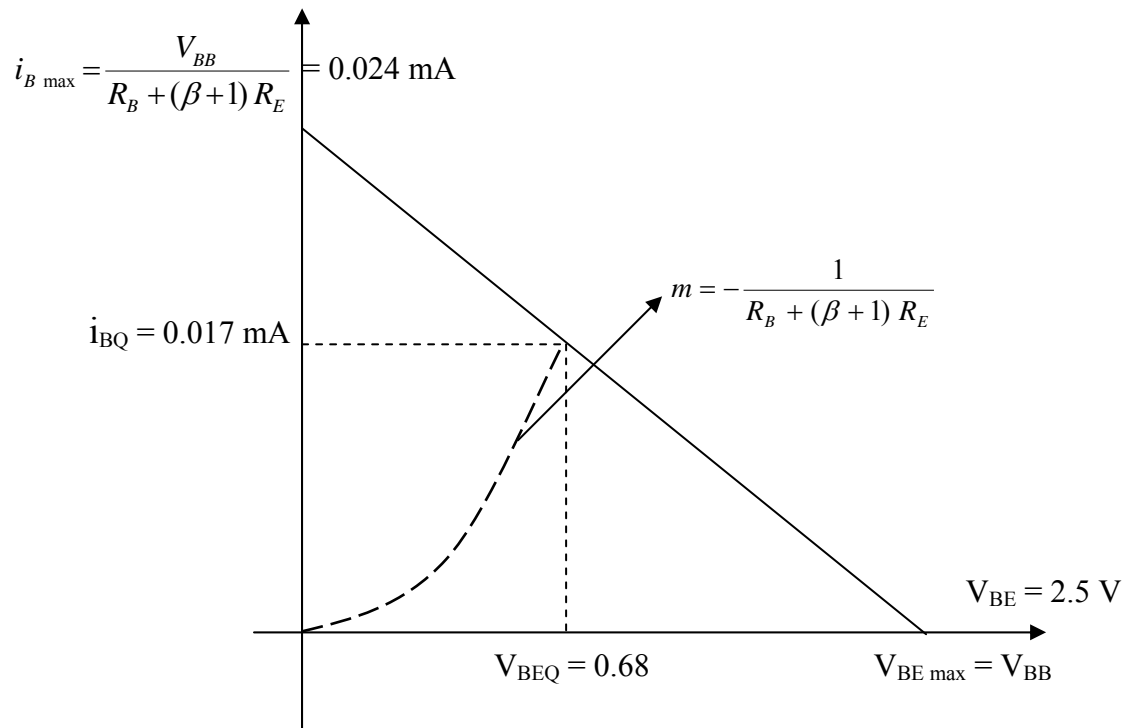


Figura 6.18 Grafica de entrada de punto de operación

De la ecuación (I) tenemos que:

$$i_B = \frac{V_{BB}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

Cuando $V_{BE} = 0$

Por lo tanto

$$i_B = i_{B \max} = \frac{V_{BB}}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

$$i_{B \max} = \frac{2.5}{92 + (101) 0.12} = \frac{2.5}{104.12} = 0.024 \text{ mA}$$

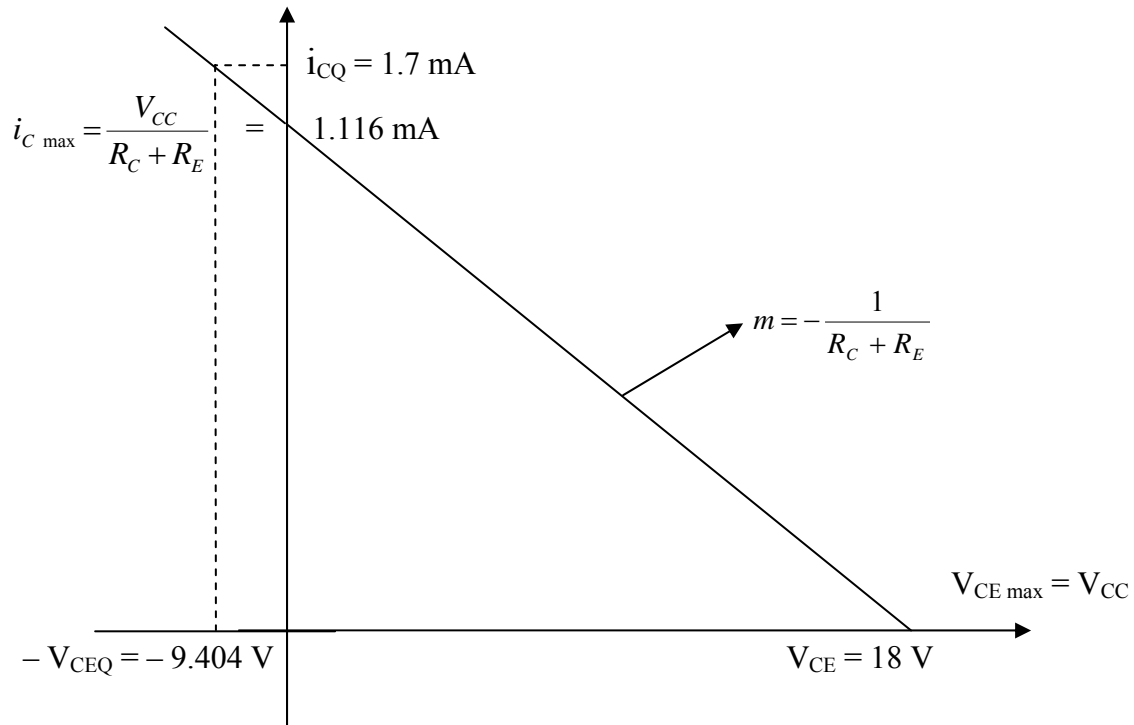


Figura 6.19 Grafica de salida del punto de operación

En el inciso a), nos da como resultado que el transistor a la entrada, está en activo directo, pero a la salida esta en saturación.

De estos resultados pasamos al inciso b), donde ya existen condiciones, esto es Máximo Swing Simétrico.

Calculo del punto de operación del Máximo Swing Simétrico (Q mss)

Condiciones

$$i_{CQ} = 0.5 i_{C \max}; i_{CQ} = 0.5 (1.116) = 0.558 \text{ mA}$$

$$V_{CEQ} = 0.5 V_{CC}; V_{CEQ} = 0.5 (18) = 9 \text{ V}$$

Con los datos anteriores debemos rediseñar el circuito ya que:

$$i_{BQ} = \frac{i_{CQ}}{\beta} = \frac{0.558}{100} = 0.00558$$

Resulta menos al inciso a)

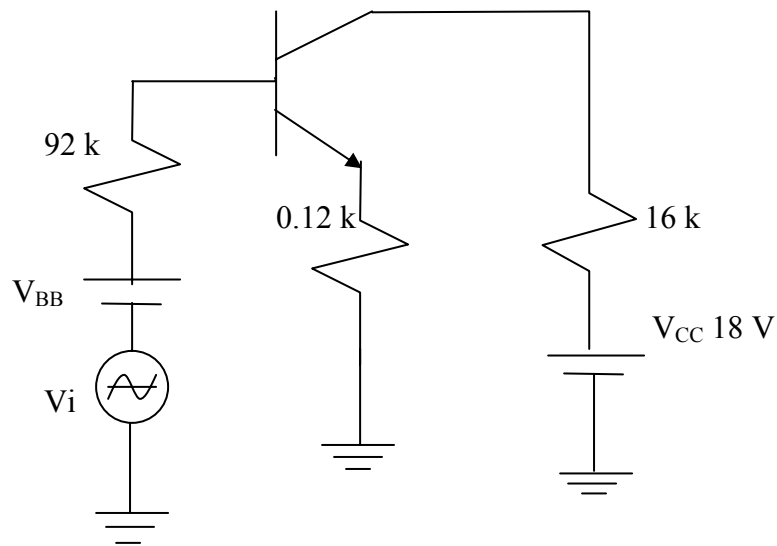


Figura 6.20

La R_B debe ser mayor a la propuesta a la de la ecuación (1) de entrada tenemos que:

$$V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

Donde:

$$i_E = (\beta + 1) i_B$$

Quedando así:

$$V_{BB} = V_{BE} + i_B R_B + (\beta + 1) i_B R_E$$

Entonces:

$$R_B' = \frac{V_{BB} - V_{BE} - i_{CQ} R_E}{i_{B_{mss}}}$$

$$R_B' = \frac{2.5 - 0.6 - (0.558)(0.12)}{0.00558} = 328.512 \text{ k}$$

Circuito para Máximo Swing Simétrico

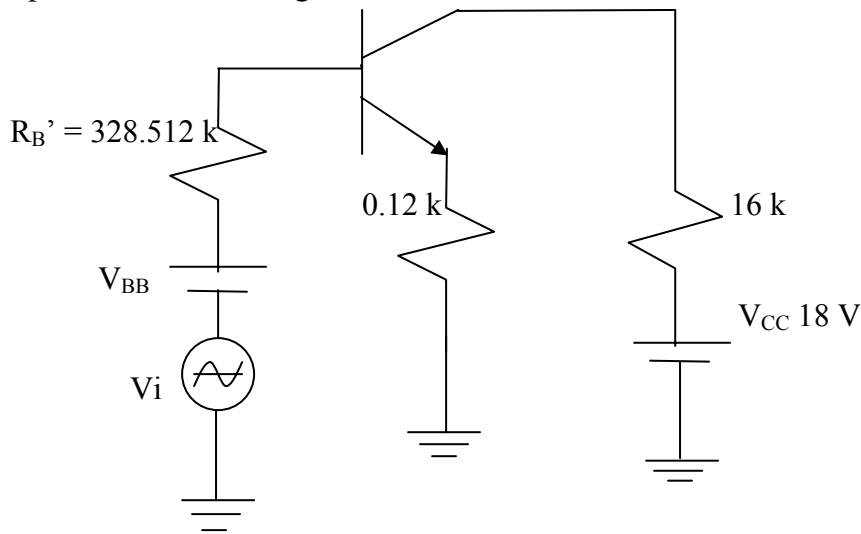


Figura 6.21 Máximo Swing simétrico

Inciso c)

Para Q cerca saturación; debemos tomar en cuenta los datos del inciso a) primero el circuito y luego i_{CQ} .

Datos:

$$\beta = 100$$

$$V_{BEQ} = 0.68 \text{ V}$$

Donde:

V_{BEQ} = Voltaje Base Emisor de operación

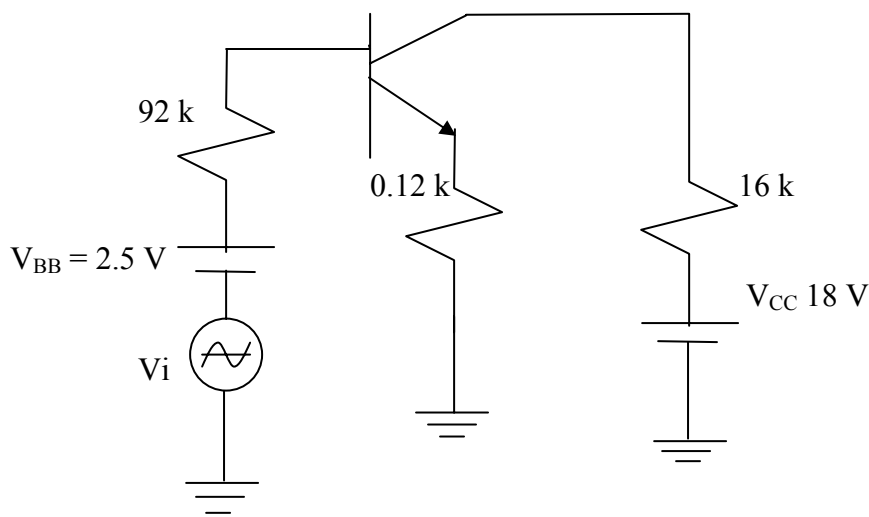


Figura 6.22 Rediseño para activo directo

Como la entrada esta en activo directo, el rediseño será a la salida.

$$V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_E R_E$$

Donde:

$$i_E = i_C$$

Quedando así:

$$V_{CC} = V_{CE} + i_C R_C + i_C R_E$$

Luego calculamos R_C' por lo tanto:

$$R_C' = \frac{V_{CC} - V_{CEQ} - i_{CQ} R_E}{i_{CQ}}$$

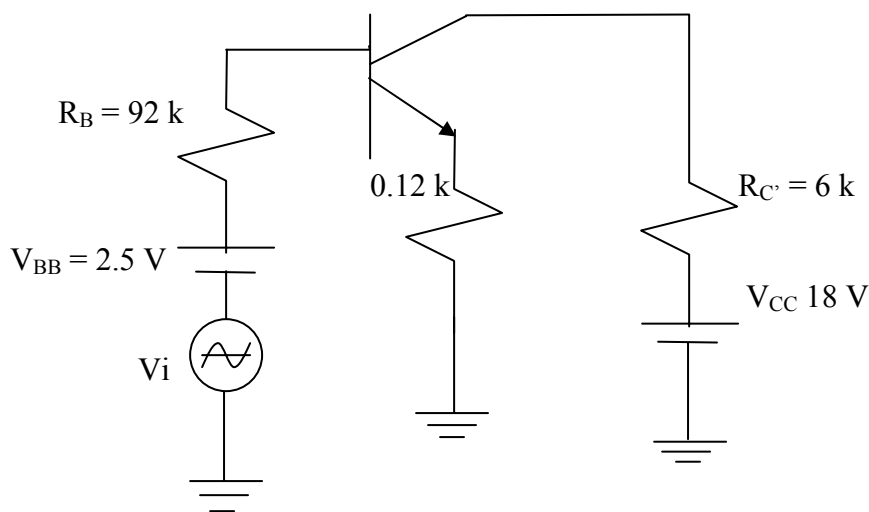
Donde:

i_{CQ} es una constante = 1.116 mA

Dada la ecuación anterior debemos analizar la grafica del inciso a) y proponer o una R_C o un V_{CEQ} , como resulta mas sencillo proponer un V_{CEQ} , proponemos uno en el cual debe estar entre 0 y 9 Volts, pero cercano a saturación.

Entonces, luego $V_{CEQ} = 2$ Volts, por lo tanto de aquí R_C' , queda de la siguiente forma:

$$R_C' = \frac{18 - 2 - (1.116)(0.12)}{1.116} = 6 \text{ k}$$



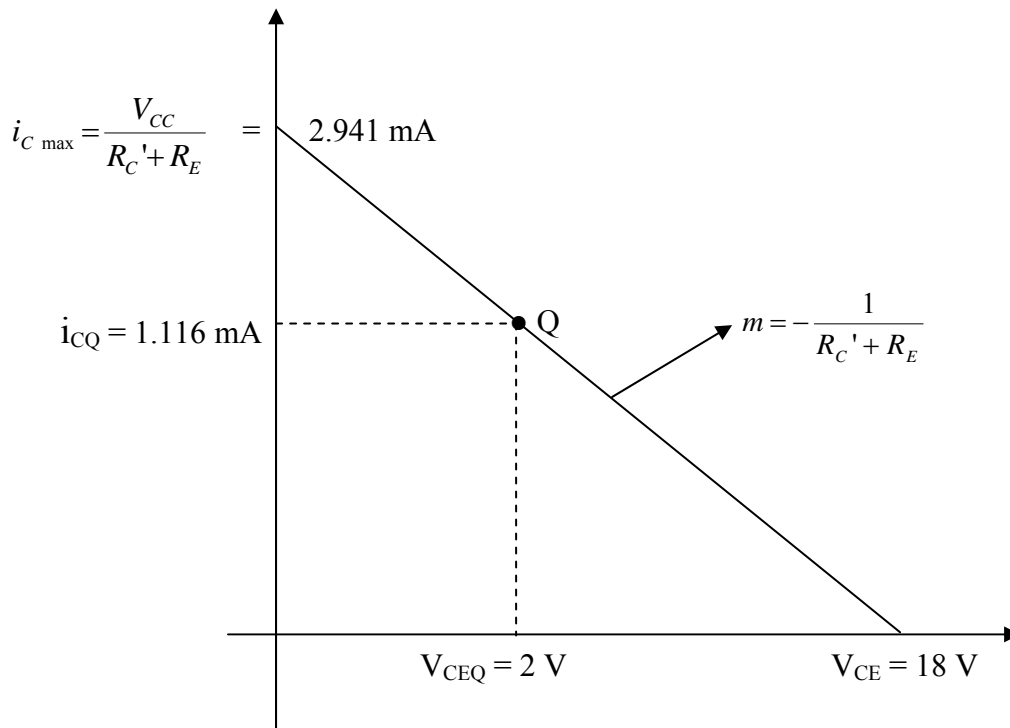


Figura 6.23 Grafica de salida de Q para activo directo.

Inciso d)

Para c) calcular V_i

Como V_i esta en serie con V_{BB} tenemos que:

$$V_{BB} + V_i = V_{BE} + i_B R_B + i_E R_E$$

Donde:

$$i_E = (\beta + 1) i_B$$

$$i_B = \frac{V_{BB} - V_{BE} + V_i}{R_B + (\beta + 1) R_E}$$

Donde:

$$\frac{V_{BB} - V_{BE} + V_i}{R_B + (\beta + 1) R_E} \text{ es igual a: } i_{BQ} \text{ est\u00e1tica}$$

$$\frac{V_i}{R_B + (\beta + 1) R_E} \text{ es igual a: } i_b \text{ sen } (\omega t)$$

Por lo tanto nos queda

$$i_{BQ} + i_b \text{ sen } (\omega t)$$

Debemos de calcular V_i , para el peor de los casos, esto es “saturación”; por lo tanto

$$i_C = i_{C' \text{ max}}$$

$$i_B + i_b \text{ sen } (\omega t) = i_{C \text{ max}}$$

Donde:

$$i_C = \beta i_B$$

Entonces nos queda que:

$$\beta i_{BQ} + \beta i_b \text{ sen } (\omega t) = i_{C \text{ max}}$$

$$i_{CQ} + \frac{\beta V_i}{R_B + (\beta + 1) R_E} = i_{C \text{ max}}$$

$$V_i = (i_{C \text{ max}} - i_{CQ}) \left[\frac{R_B + (\beta + 1) R_E}{\beta} \right]$$

$$V_i = (2.941 - 1.116) \left[\frac{92 + (101)(0.12)}{100} \right] = 1.899$$

Como se muestra en este problema, la técnica para la modificación o el rediseño de un amplificador, es universal, aquí se presenta para un problema de polarización, pero la técnica puede ser aplicada para cualquier amplificador con cualquier condición.

Las condiciones para esta materia son las de máximo swing simétrico y el calculo de V_i , será siempre para el peor de los casos, esto es, saturación.

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo tiene como finalidad facilitarle al alumno de la materia de dispositivos electrónicos la comprensión del temario, a través de los ejemplos resueltos en esta tesis.

Esta tesis no pretende ser un conjunto de problemas resueltos para que el alumno no solamente se los aprenda y repita; si no más bien sean un apoyo a sus conocimientos básicos de la materia y que este a su vez se motive para seguir estudiando por su cuenta, además poder ampliar y comprender los temas actuales, cambiantes y siempre superiores en tecnología y sus aplicaciones.

Por lo tanto esto este trabajo puede ser tomado como un prontuario para aquellos alumnos que no tienen acceso rápido a los temas del texto que se especializa en esta área; como los alumnos de ingeniería industrial, ingeniería civil y de la licenciatura en diseño industrial quienes podrán acceder a los conceptos tratados en este trabajo de tesis mas rápida y sencillamente sin tener que consultar demostraciones postulados análisis profundos, etc. que contiene un texto especializado.

Lo que pretendemos ilustrar con este trabajo es el enfoque de varios textos (referidos en la bibliografía) analizados por un estudiante de ingeniería, con el apoyo de su director de tesis para tratar así de simplificar el análisis laborioso de investigación y entendimiento de los temas tratados en esta tesis.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Robert L. Boylestad y Louis Nashelsky

Electrónica: Teoría de Circuitos
Prentice Hall Hispanoamericana
México, 1983.

Jacob Millman y Christos C. Halkias

Electrónica Integrada
Hispano Europea, S. A.
Barcelona, (España).

Jacob Millman

Microelectronics, Digital and Analog Circuits and Systems
McGraw-Hill
New York (EEUU), 1979.

Angelo James S.

Electronics: BTJ, FETs y Microcircuitos.
Kogakusha, Mc Graw Hill
Tokio, Japon 1969.

CIBERGRAFÍA

<http://es.wikipedia.org>

<http://mx.encarta.msn.com>