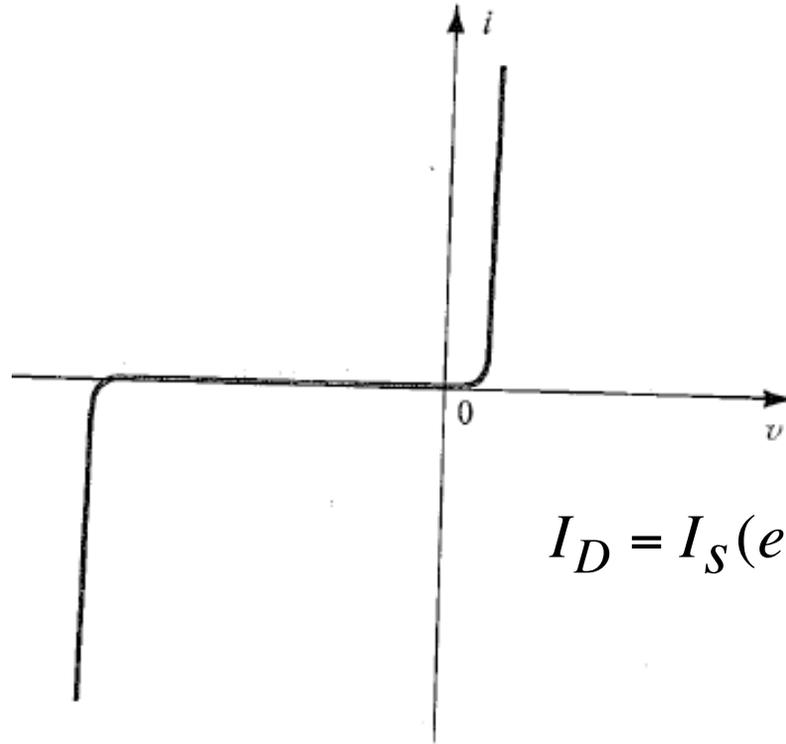


DIODOS REALES

RELACIÓN CORRIENTE-VOLTAJE DE LA JUNTURA PN

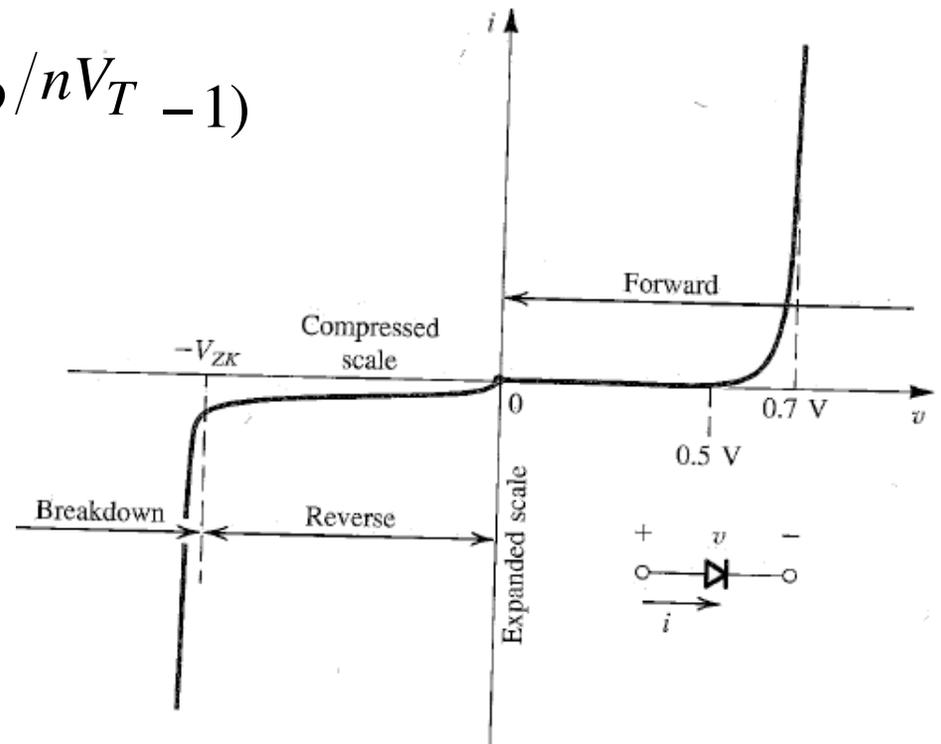


$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

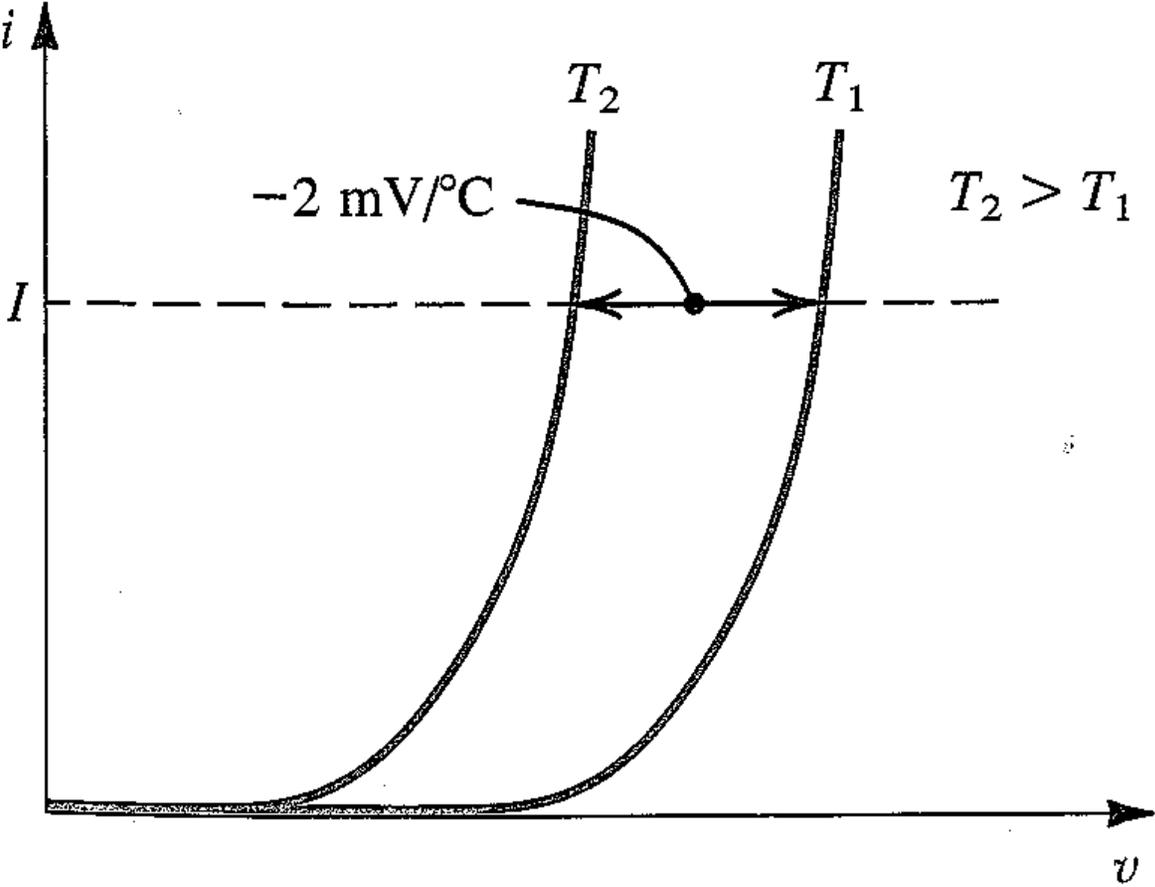
$$V_T = \frac{KT}{q}$$

$$V_T = 25,2 \text{ mV a } 300^\circ\text{K}$$

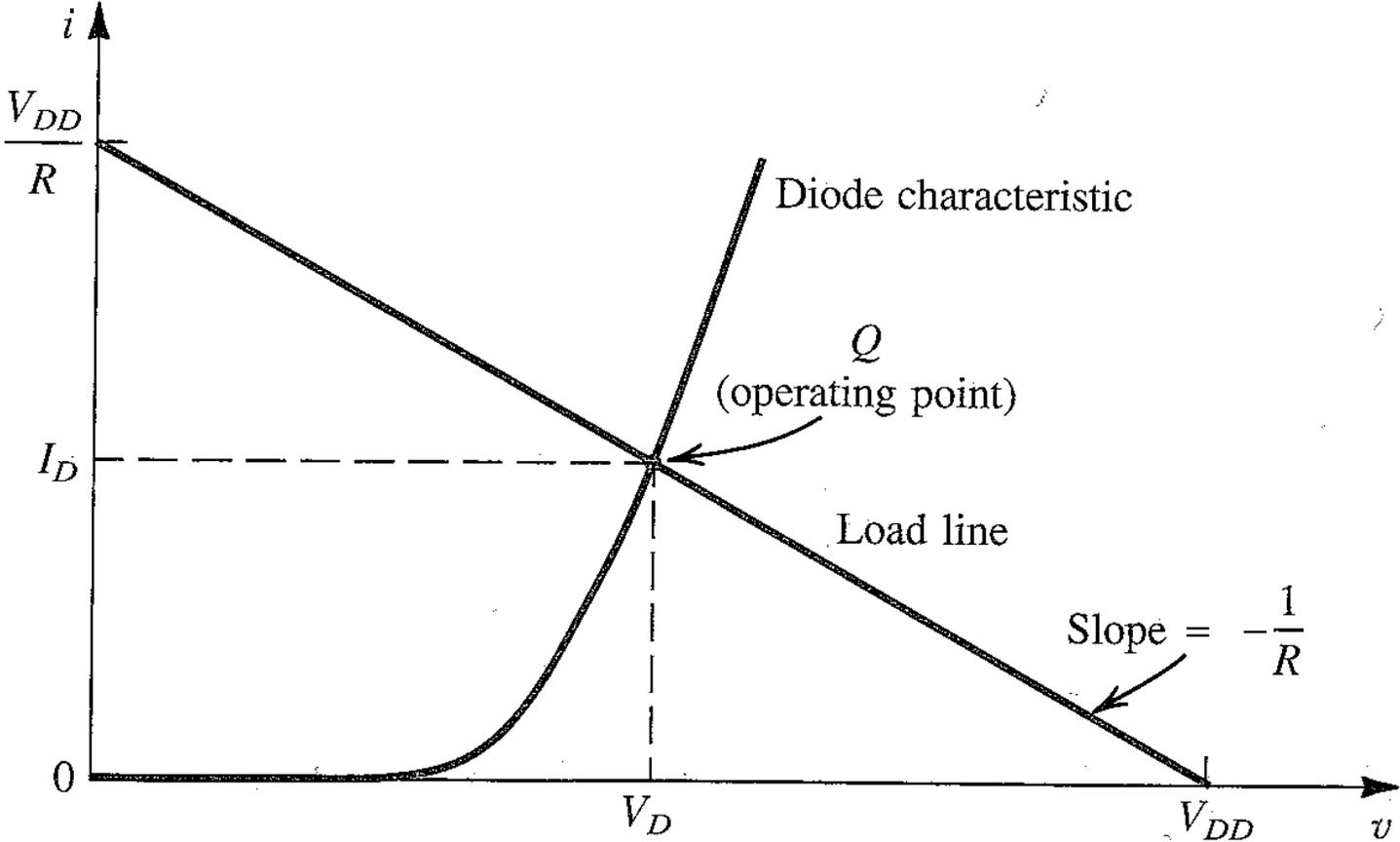
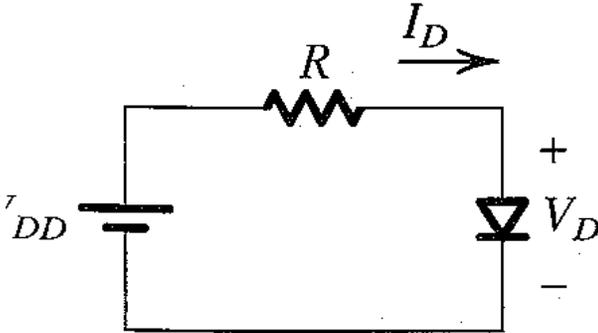
Escalas expandidas o comprimidas para ver mas detalles



DEPENDENCIA DE LA TEMPERATURA



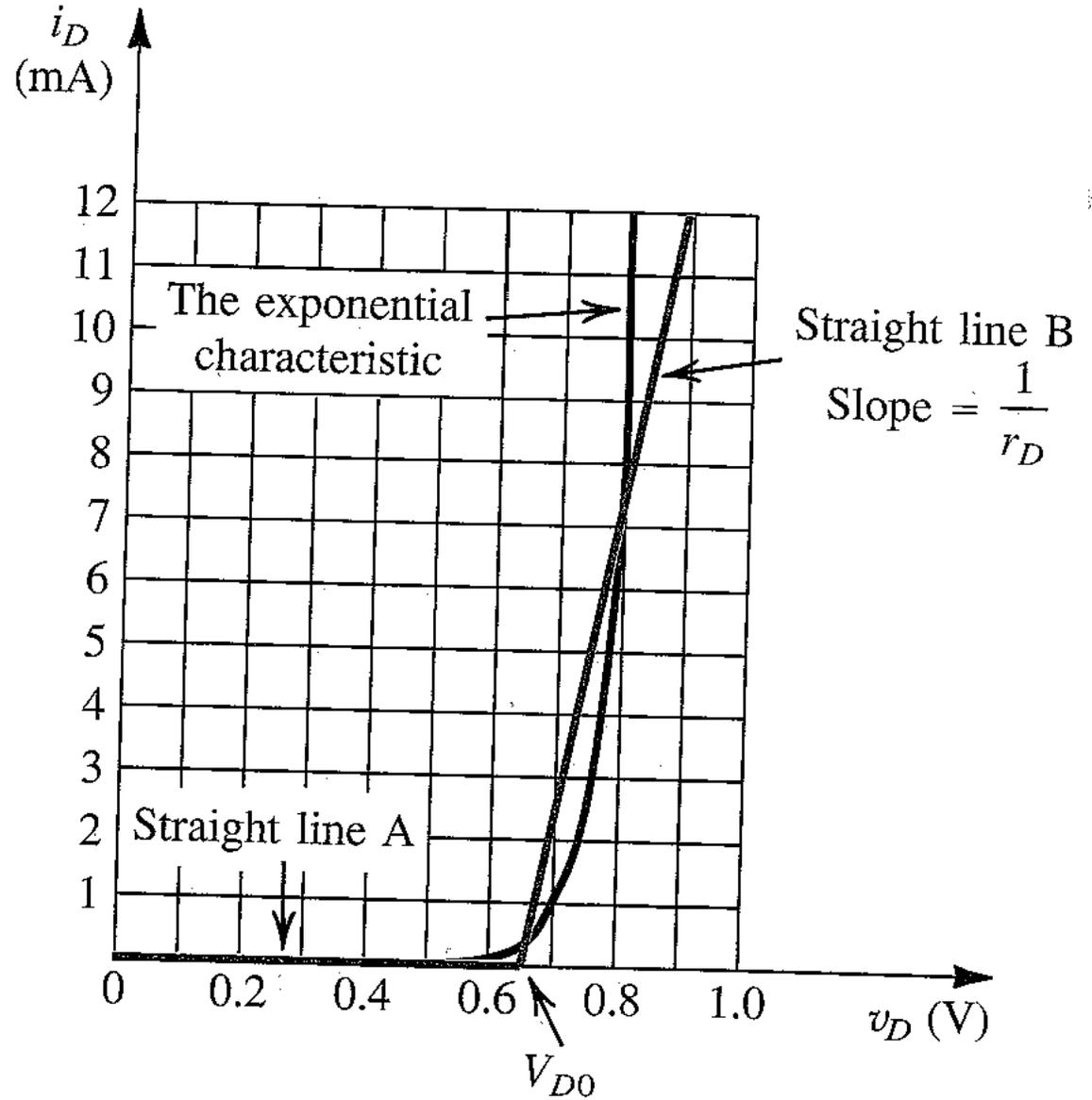
MODELO EXPONENCIAL



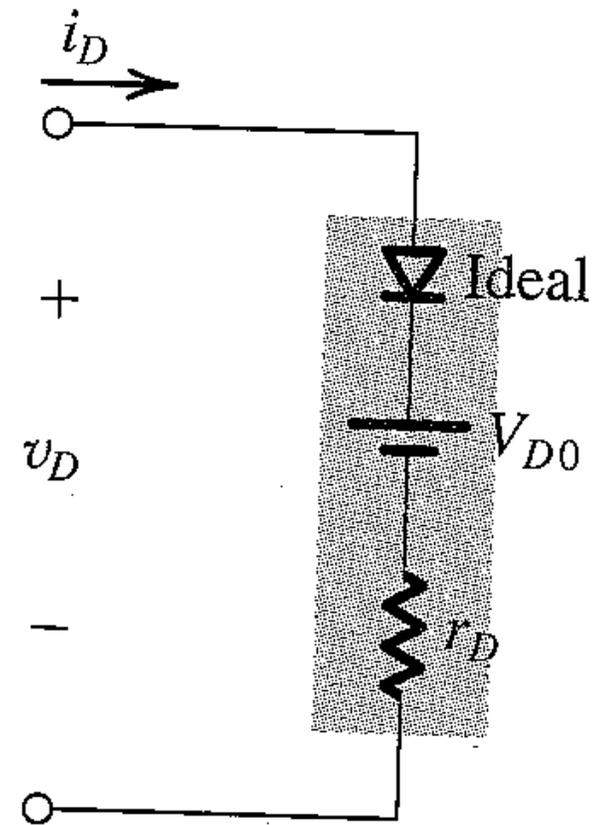
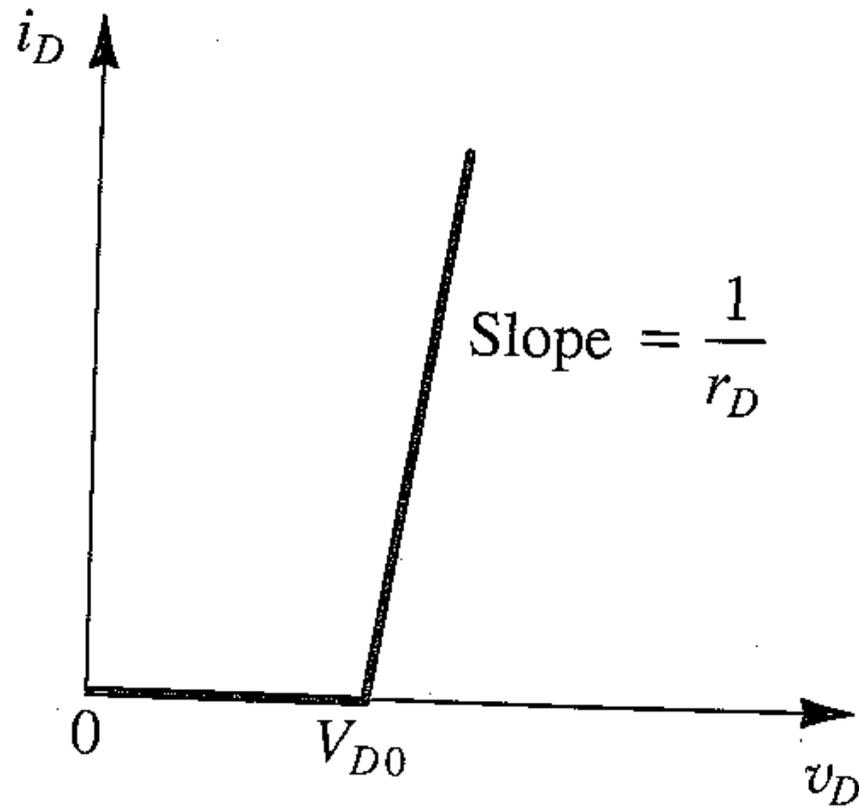
MODELO LINEAL POR SEGMENTOS

$$V_{D0} = 0,65 \text{ V}$$

$$r_D = 20 \Omega$$



REPRESENTACIÓN CIRCITAL DEL MODELO LINEAL POR SEGMENTOS



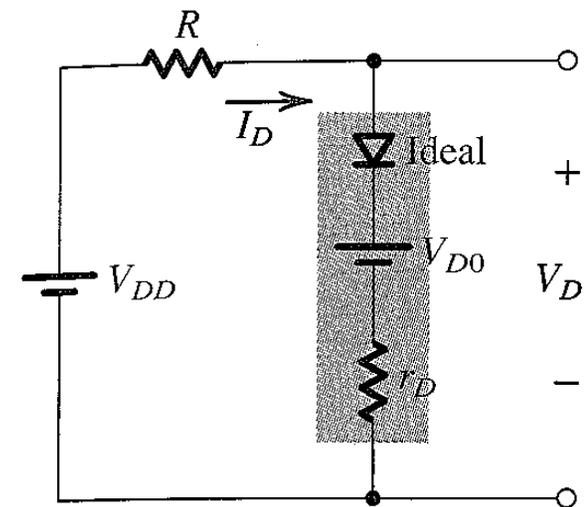
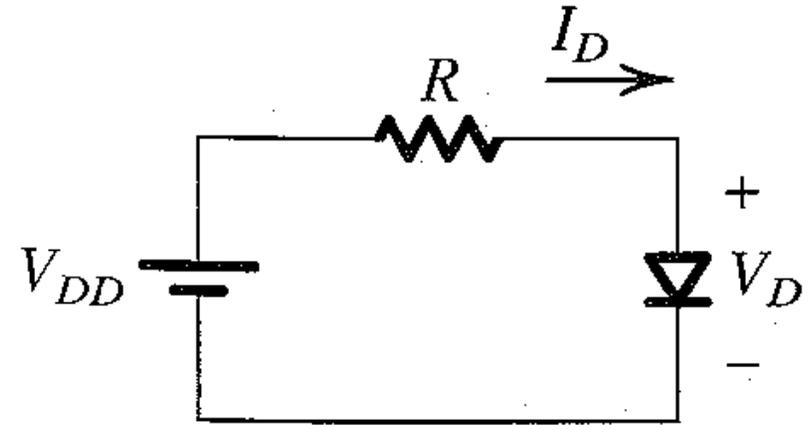
EJEMPLO

En el siguiente circuito determine el voltaje y la corriente en el diodo si el voltaje de fuente $V_{DD} = 5 \text{ V}$ y $R = 1 \text{ k}\Omega$, utilizando el modelo lineal por segmentos con $V_{D0} = 0,65 \text{ V}$ y $r_D = 20 \Omega$.

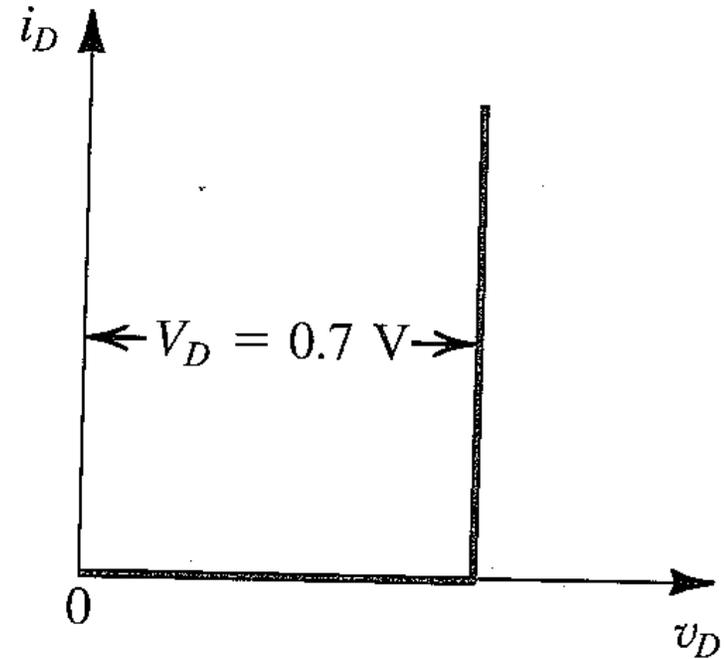
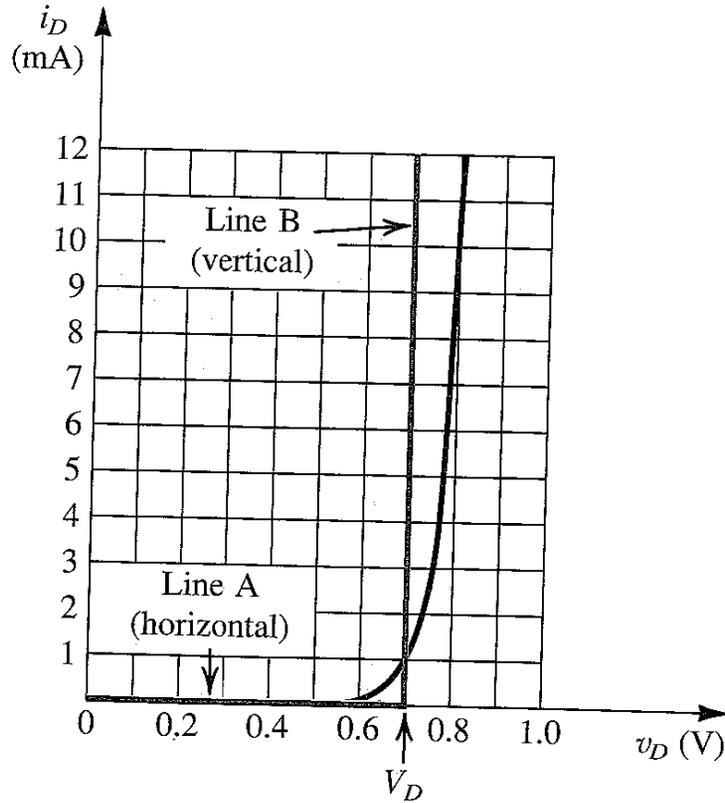
$$I_D = \frac{V_{DD} - V_{D0}}{R + r_D}$$

$$I_D = \frac{5 - 0.65}{1 + 0.02} = 4.26 \text{ mA}$$

$$\begin{aligned} V_D &= V_{D0} + I_D r_D \\ &= 0.65 + 4.26 \times 0.02 = 0.735 \text{ V} \end{aligned}$$

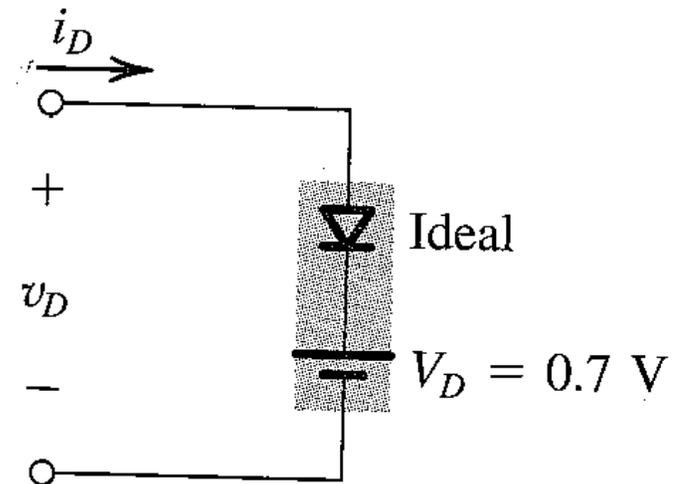


EL MODELO DE VOLTAJE CONSTANTE

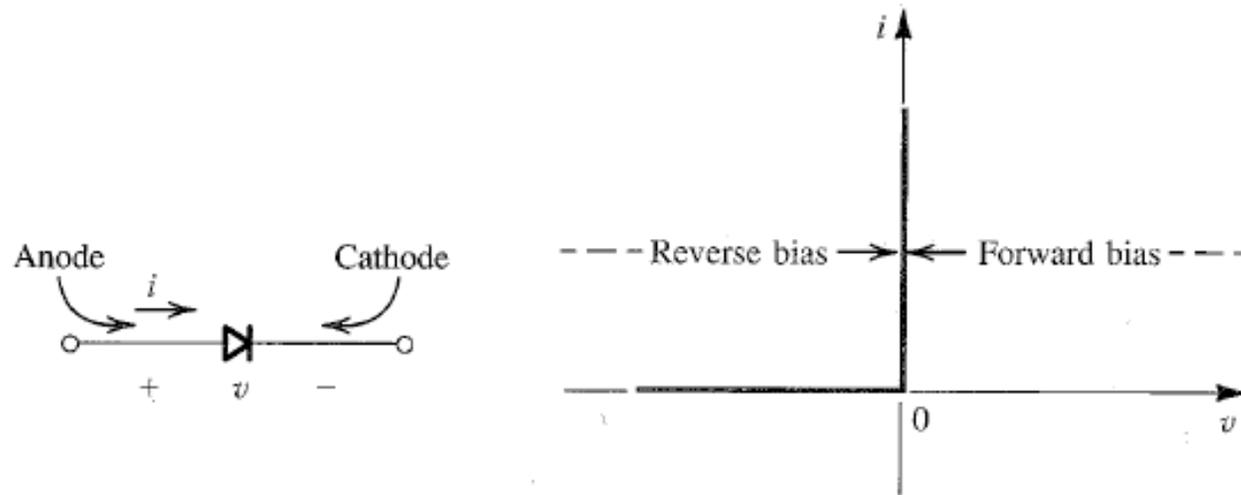


Con este modelo $V_D = 0,7$ V

$$I_D = \frac{V_{DD} - 0.7}{R} = \frac{5 - 0.7}{1} = 4.3 \text{ mA}$$



MODELO IDEAL DEL DIODO



Con este modelo el análisis anterior queda:

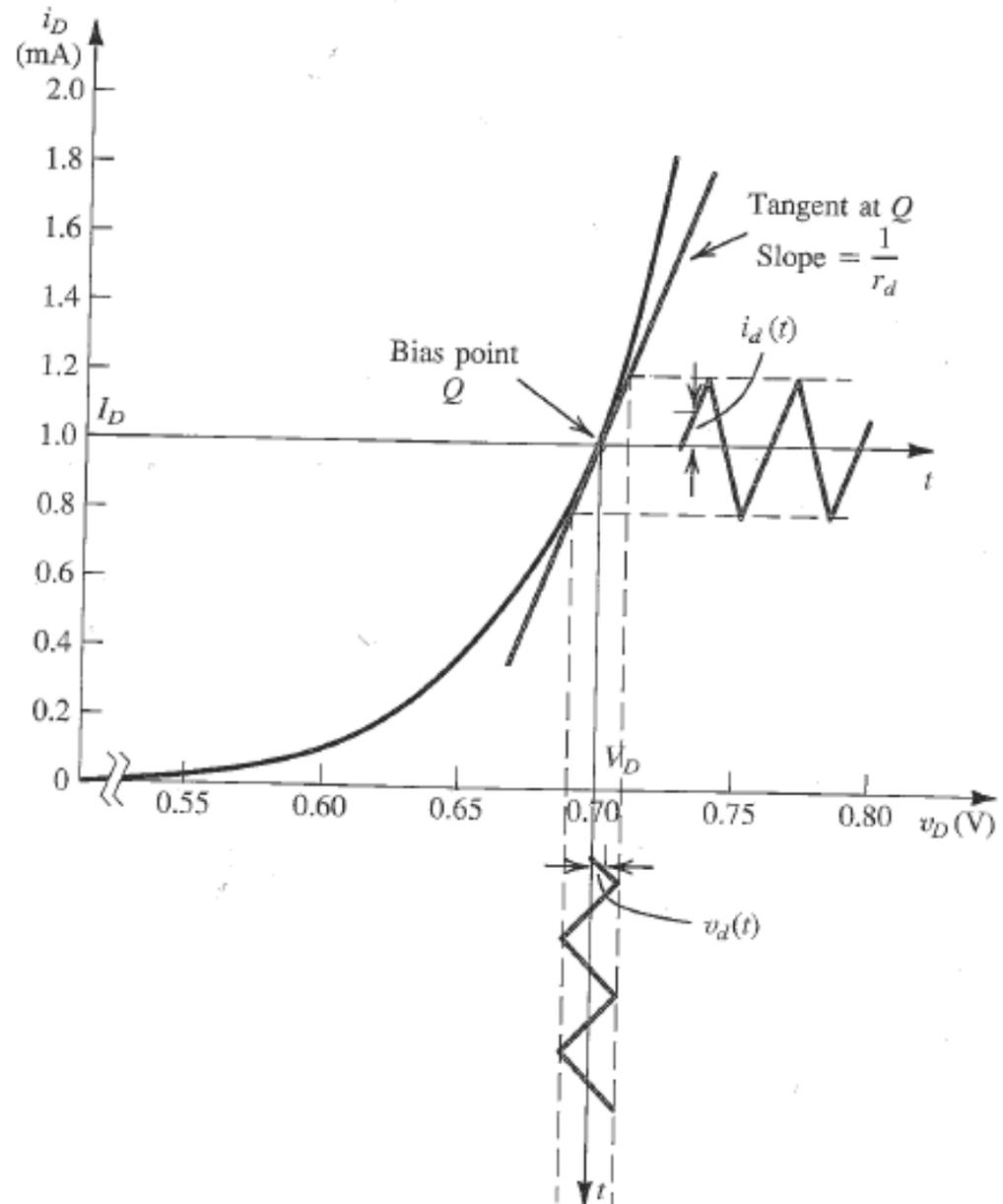
$$V_D = 0 \text{ V}$$
$$I_D = \frac{5 - 0}{1} = 5 \text{ mA}$$

EL MODELO DE PEQUEÑA SEÑAL

Q: Punto de operación, definido por el voltaje en el diodo V_D y la corriente en el diodo I_D . (Valores en DC).

Las variaciones (señales AC) van a ocurrir alrededor del punto de operación, siguiendo la curva.

Como las variaciones son pequeñas, puede aproximarse la curva a una recta, tangente a la curva en el punto Q.



ANÁLISIS DE PEQUEÑA SEÑAL

Solo con la fuente DC y despreciando el término -1 $I_D = I_S e^{V_D/nV_T}$
Las variables se escriben en mayúscula con el subíndice en mayúscula.

Al aplicar simultáneamente una señal DC y una señal AC la variable total se escribe en minúscula con el subíndice en mayúscula, y está formada por la componente DC (ambas letras en mayúscula) mas la componente AC (ambas letras en minúscula).

El voltaje total al aplicar una componente AC es: $v_D(t) = V_D + v_d(t)$

La corriente : $i_D(t) = I_S e^{v_D/nV_T} = I_S e^{V_D/nV_T} e^{v_d/nV_T} = I_D e^{v_d/nV_T}$

El voltaje v_d es pequeño (pequeña señal), por lo que: $\frac{v_d}{nV_T} \ll 1$

La serie de Taylor $f(x) = e^x$ es:

$$f(x) = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + \frac{x^3}{3!} + \dots$$

Por lo tanto, la corriente total es

$$i_D(t) \approx I_D \left(1 + \frac{v_d}{nV_T}\right) = I_D + i_d(t)$$

De donde se deduce que la componente AC de pequeña señal de la corriente del diodo $i_d(t)$ es:

$$i_d(t) = \frac{I_D}{nV_T} v_d(t)$$

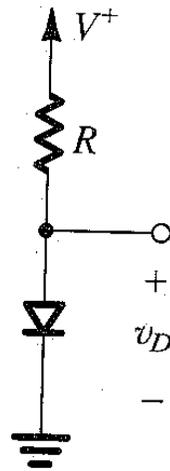
Por lo tanto la resistencia dinámica del diodo en el punto Q, que corresponde a la tangente en Q es:

$$r_d = \frac{v_d}{i_d} = \frac{nV_T}{I_D}$$

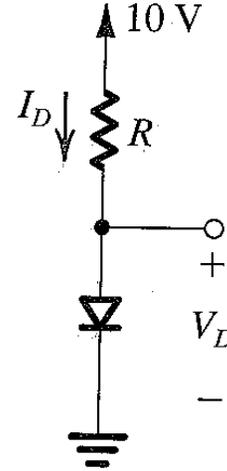
El análisis completo de un circuito con un diodo que incluye fuentes DC y AC (pequeña señal) se realiza aplicando primero la fuente DC y calculando el punto de operación Q (I_D , V_D) con alguno de los modelos del diodo (voltaje constante, lineal por segmentos) utilizando los parámetros correspondientes, y luego elaborando un circuito solo con la fuente AC, las resistencias externas y sustituyendo el diodo por su modelo de pequeña señal (únicamente r_d).

EJEMPLO

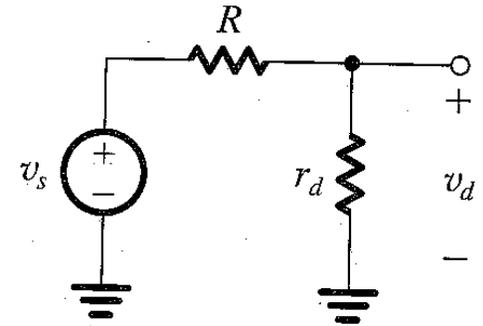
En el circuito (a), $R = 10\text{k}\Omega$ y la fuente V^+ incluye un voltaje DC de 10 V sobre el que hay una señal de 60 Hz y amplitud $V_p=1\text{V}$ (rizado). Calcule la corriente DC en el diodo y la amplitud de la señal sinusoidal entre sus terminales si $V_D=0,7\text{V}$ y $n=2$.



(a)



(b)



(c)

En (b) está el circuito DC. Con el modelo de la fuente DC de $0,7\text{ V}$ se calcula el valor de la corriente DC en el diodo:

$$I_D = \frac{10\text{V} - 0,7\text{V}}{10\text{K}\Omega} = 0,93\text{mA}$$

Con este dato se calcula la resistencia dinámica r_d :

$$r_d = \frac{nV_T}{I_D} = \frac{2 \times 25 \text{ mV}}{0,93 \text{ mA}} = 53,8 \Omega$$

En el circuito de la figura (c), la fuente alterna es la de 60 Hz y amplitud $V_p=1\text{V}$ (rizado), la resistencia R sigue siendo $10\text{K}\Omega$ y el diodo se sustituye por su equivalente AC constituido solo por la resistencia r_d de $53,8\Omega$. Aplicando divisor de voltaje entre los terminales del diodo (esto es, sobre r_d) se obtiene:

$$v_d = V_{pico} \frac{r_d}{r_d + R} = 1\text{V} \frac{0,0538\text{K}\Omega}{0,0538\text{K}\Omega + 10\text{K}\Omega} = 51,05\text{mV}$$

USO DEL DIODO POLARIZADO EN DIRECTO EN REGULACIÓN DE VOLTAJE

Con $V_D = 0,7V$ $V_O = 2,1V$

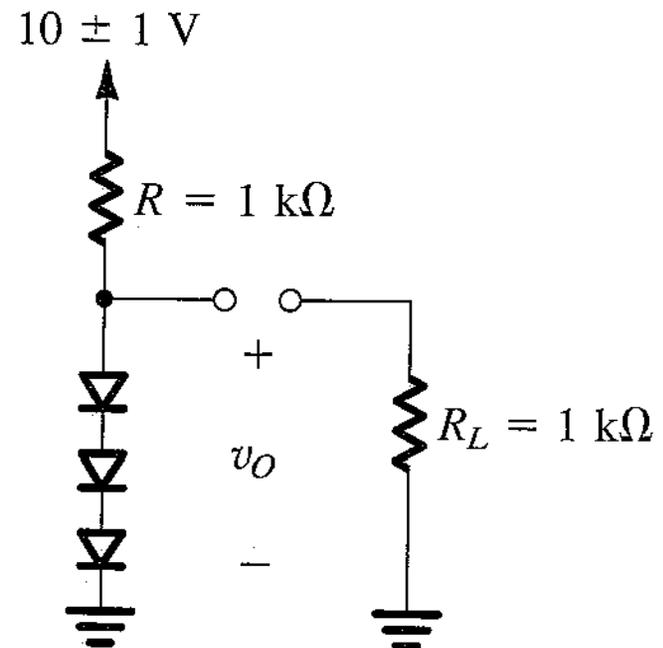
$$I = \frac{10 - 2.1}{1} = 7.9 \text{ mA}$$

$$r_d = \frac{nV_T}{I} \quad r_d = \frac{2 \times 25}{7.9} = 6.3 \text{ } \Omega$$

$$r = 3r_d = 18.9 \text{ } \Omega$$

Variación de voltaje pico a pico: 2 V

$$\Delta v_O = 2 \frac{r}{r + R} = 2 \frac{0.0189}{0.0189 + 1} = 37.1 \text{ mV}$$



En porcentajes:

Cuando la variación del voltaje pico en la fuente es de 1V, lo cual representa un 10% del voltaje DC, la variación del voltaje pico en los diodos es de $37.1 \text{ mV}/2 = 18.55 \text{ mV}$, lo cual representa un 0,9% del voltaje DC en los diodos.

Cuando se conecta la resistencia R_L :

Suponiendo que los diodos mantienen $V_D = 0,7\text{V}$ y $V_o = 2,1\text{V}$

Corriente por R_L en DC: $I_L = 2,1\text{V}/1\text{k}\Omega = 2,1 \text{ mA}$

Corriente por R en DC: $I = (10\text{V}-2,1\text{V}) / 1 \text{ k}\Omega = 7,9 \text{ mA}$

Corriente por los diodos en DC : $7,9 \text{ mA} - 2,1,\text{mA} = 5,8 \text{ mA}$

$r_d = 2 \times 25 \text{ mV}/5,8 \text{ mA} = 8,62 \Omega$ $r = 3r_d = 25,86 \Omega$

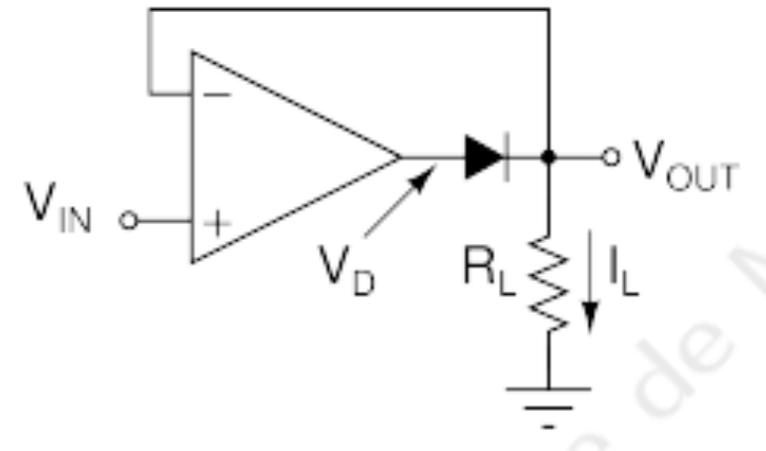
En el circuito de pequeña señal se tiene $R_{Lp} = R_L // r = 25,21 \Omega$

El divisor de voltaje para la variación pico a pico de v_o cuando la fuente presenta una variación pico a pico de 2 V es:

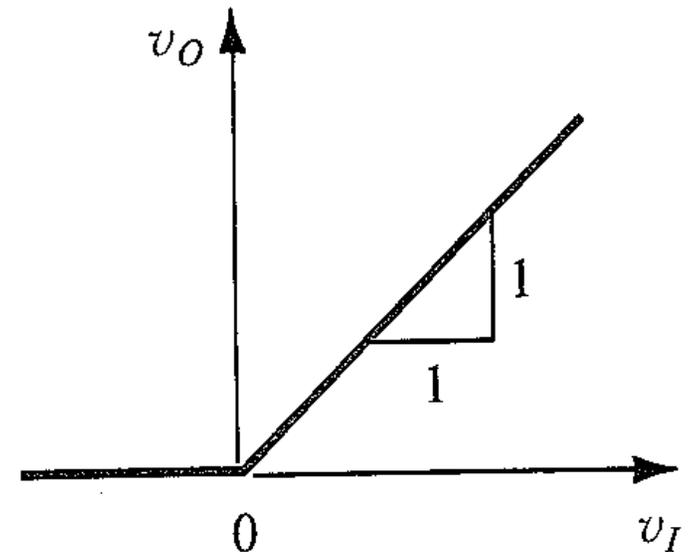
$\Delta v_o = 2\text{V} \times 25,21\Omega / (1000\Omega + 25,21\Omega) = 49,18 \text{ mV}$ Porcentaje 2,34%

EL SUPERDIODO: RECTIFICADOR DE PRECISIÓN DE MEDIA ONDA

Si V_{IN} es positivo, la salida del operacional es positiva y el diodo conduce, estableciendo un lazo de realimentación negativa, por lo que el voltaje en la entrada positiva es igual al de la entrada negativa y $V_{OUT} = V_{IN}$.



Si V_{IN} es negativo, la salida del operacional es negativa y el diodo no conduce, dejando al operacional en lazo abierto. La salida del operacional va a saturar en el valor negativo. No hay circulación de la corriente I_L , por lo que $V_{OUT} = 0$.



EL RECTIFICADOR DE PRECISIÓN DE MEDIA ONDA CON REALIMENTACIÓN

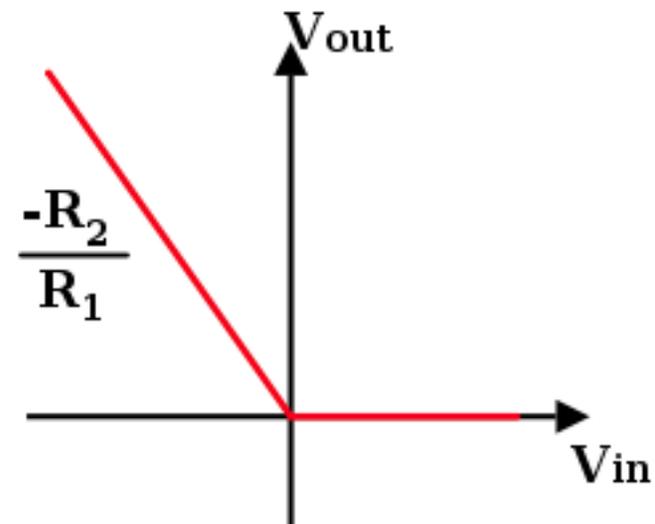
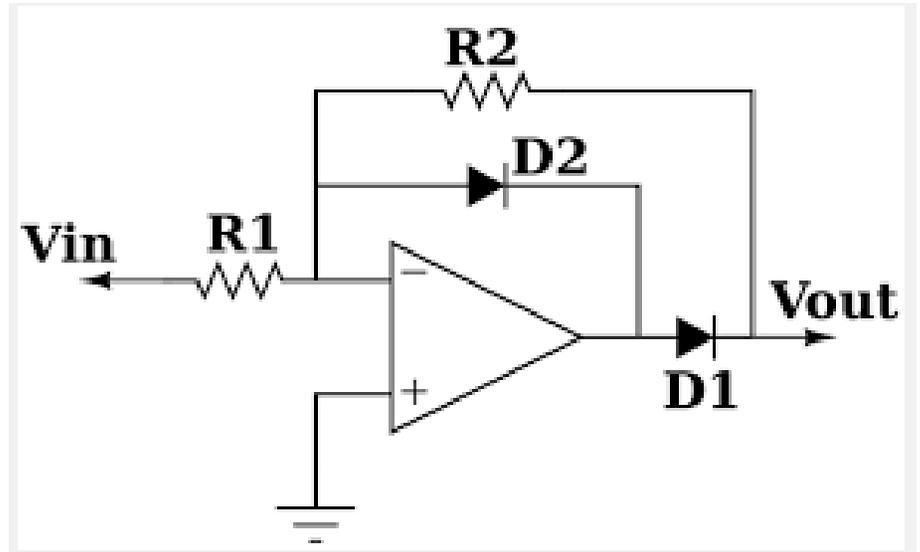
La configuración del amplificador es inversora, por lo tanto cuando la entrada sea positiva la salida será negativa. Seleccionamos $R_1=R_2=R$.

En el ciclo positivo de V_{in} la corriente circula por D2 y entra en el opam. La salida del opam es negativa, D1 no conduce, $V_{out} = 0$.

En el ciclo positivo de V_{in} D2 no conduce, D1 conduce y como existe tierra virtual se cumple

$$V_{out}/R_2 = -V_{in}/R_1$$

$$\text{Para } R_1=R_2 \quad V_{out} = -V_{in}$$



PRÁCTICA N° 2

CARACTERISTICAS DE LOS DIODOS RECTIFICADORES

CIRCUITOS RECTIFICADORES DE MEDIA ONDA

- * Familiarizar al estudiante con el uso de los manuales de los fabricantes de diodos para entender y manejar sus especificaciones.
- * Familiarizar al estudiante con la visualización de las curvas características de dichos dispositivos utilizando el osciloscopio en la modalidad X-Y.
- * Realizar un análisis detallado del rectificador de media onda con y sin filtro capacitivo.
- * Realizar un análisis del rectificador de precisión.

HOJA DE DATOS DEL DIODO RECTIFICADOR 1N400X

Valores Maximos Absolutos

Symbol	Parameter	Value							Unit
		1N 4001	1N 4002	1N 4003	1N 4004	1N 4005	1N 4006	1N 4007	
V_{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
$I_{F(AV)}$	Average Rectified Forward Current .375 " Lead Length at $T_A = 75^\circ\text{C}$	1.0							A
I_{FSM}	Non-Repetitive Peak Forward Surge Current 8.3 ms Single Half-Sine-Wave	30							A
I^2t	Rating for Fusing ($t < 8.3$ ms)	3.7							A^2sec
T_{STG}	Storage Temperature Range	-55 to +175							$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +175							$^\circ\text{C}$

Características Térmicas

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_D	Power Dissipation	3.0	W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	50	$^\circ\text{C/W}$

Características Eléctricas

Values are at $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Value	Unit
V_F	Forward Voltage	$I_F = 1.0\text{ A}$	1.1	V
I_{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle	$T_A = 75^\circ\text{C}$	30	μA
I_R	Reverse Current at Rated V_R	$T_A = 25^\circ\text{C}$	5.0	μA
		$T_A = 100^\circ\text{C}$	50	
C_T	Total Capacitance	$V_R = 4.0\text{ V}, f = 1.0\text{ MHz}$	15	pF

CIRCUITOS PARA LA PRÁCTICA N° 2

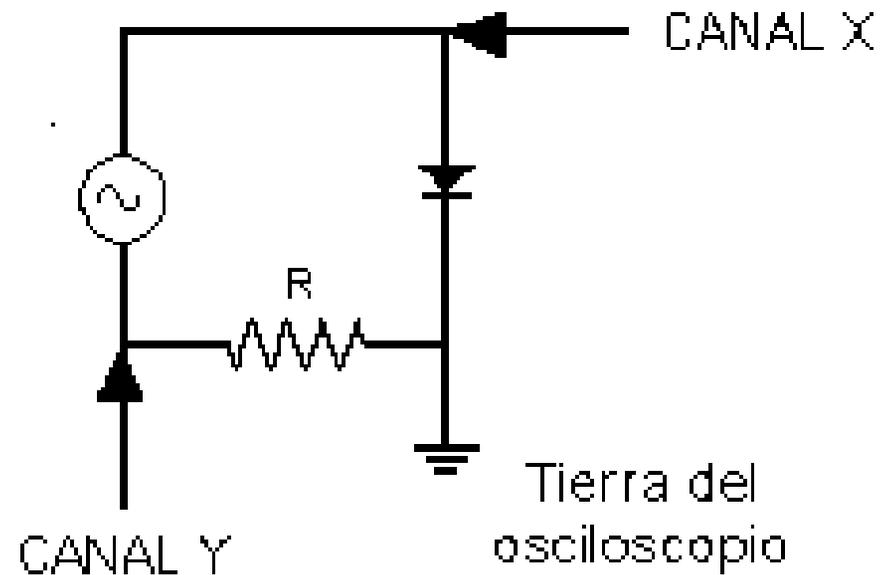
CARACTERÍSTICA CORRIENTE VOLTAJE DEL DIODO RECTIFICADOR.

Circuito

$$R = 510 \Omega$$

Diodo 1N4004 o número superior

Generador: Onda sinusoidal o triangular de 1kHz. Puede ajustarse para mejorar la imagen



Preguntas sobre el circuito

Por qué es importante que durante la realización de esta práctica el osciloscopio debe estar **flotando**.

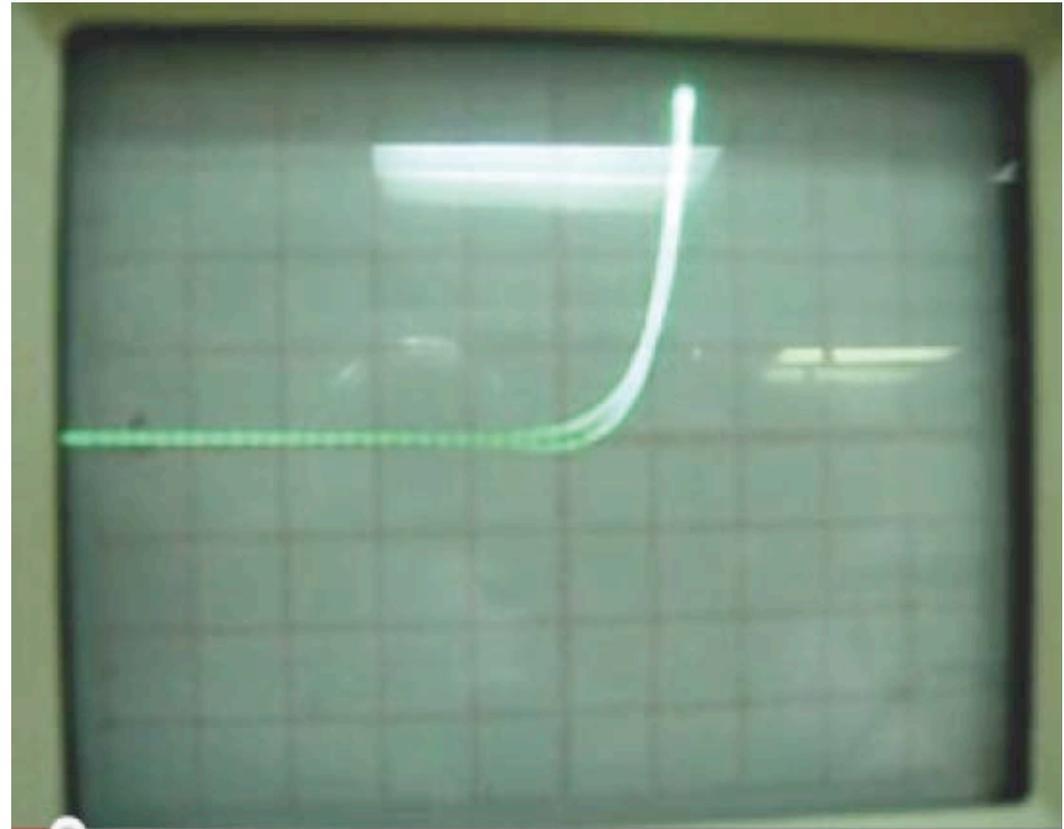
Cómo va a obtener la curva característica del diodo en la pantalla del osciloscopio. Indique si tiene que invertir alguno de los canales para observar la gráfica con la polaridad correcta.

Qué mediciones va a realizar para determinar el voltaje de conducción, el voltaje de avalancha, la resistencia dinámica en la región inversa y la resistencia dinámica en la región directa, utilizando las facilidades del osciloscopio digital.

Utilizando los valores indicados por su profesor, realice la simulación interactiva del circuito de la Figura 1 en MULTISIM, usando el osciloscopio Tektronix de la sección de instrumentos virtuales a fin de observar en la pantalla la curva característica del componente.

Mediciones

Se miden el voltaje del diodo cuando empieza a conducir y la resistencia dinámica r_d , para lo cual se determina la pendiente de la forma de onda en pantalla, seleccionando un rango de voltaje y midiendo en forma indirecta el correspondiente rango de corriente (mediante la determinación de la corriente sobre la resistencia R)



Se colocan las escalas del osciloscopio para tener la mejor resolución posible.

RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA SIN FILTRO CAPACITIVO

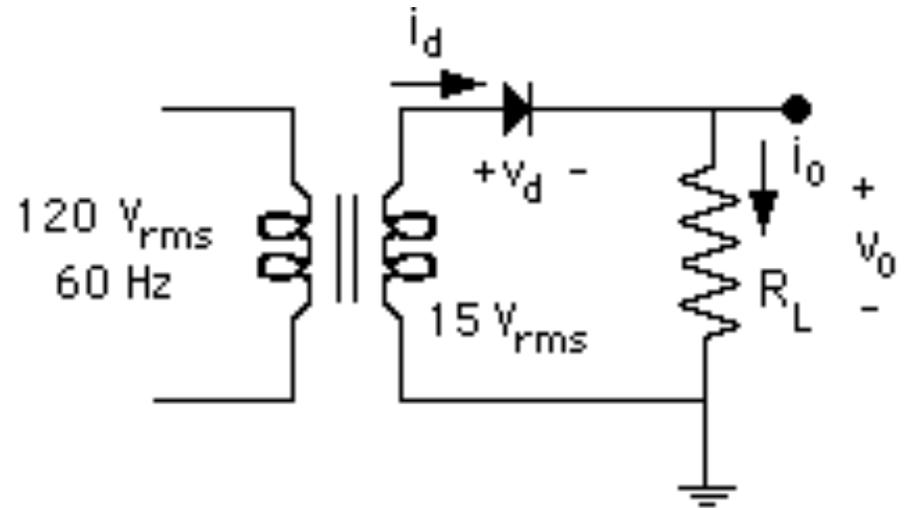
Circuito

Voltaje a la entrada del rectificador:
15 V_{rms} provenientes del secundario
del transformador o 15 V_{rms}
directamente del Variac.

La frecuencia es 60 Hz.

Diodo 1N4004 o número superior

R= 470 Ω; 2 W



ATENCIÓN: PARA ÉSTE Y TODOS LOS DEMÁS EXPERIMENTOS CON VARIAC, SUBIR Y BAJAR EL VOLTAJE DEL VARIAC LENTAMENTE

Preguntas sobre el circuito

Definición de voltaje de rizado y factor de rizado.

Explicación del funcionamiento. Formas de onda en la entrada del rectificador, el voltaje en el diodo, el voltaje en la resistencia de carga y la corriente en el diodo, indicando los tiempos de interés.

Cálculo del valor pico de la corriente por el diodo, la potencia promedio entregada a la carga, la potencia promedio consumida por el diodo y la potencia aparente total manejada por el transformador.

Simulaciones.

Mediciones

* Forma de onda del voltaje de entrada (secundario del transformador o variac) y el voltaje en la carga.

* Forma de onda del voltaje de entrada junto con el voltaje en el diodo.

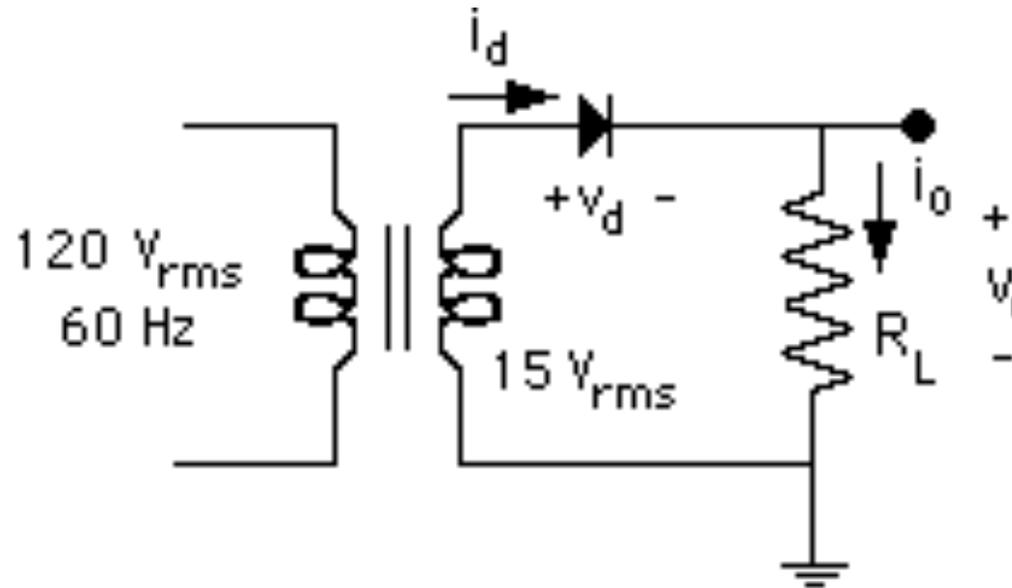
* Forma de onda del voltaje en el diodo junto con la corriente en el diodo (observe que la corriente por el diodo es la misma que circula por la carga).

* Voltaje pico y voltaje rms en la entrada.

* Voltaje pico y voltaje rms en la carga.

* Voltaje y corriente pico en el diodo.

* Tiempo de conducción del diodo.



RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON FILTRO CAPACITIVO

Voltaje a la entrada del
rectificador: 15 Vrms
provenientes del secundario del
transformador o 15 Vrms
directamente del Variac.

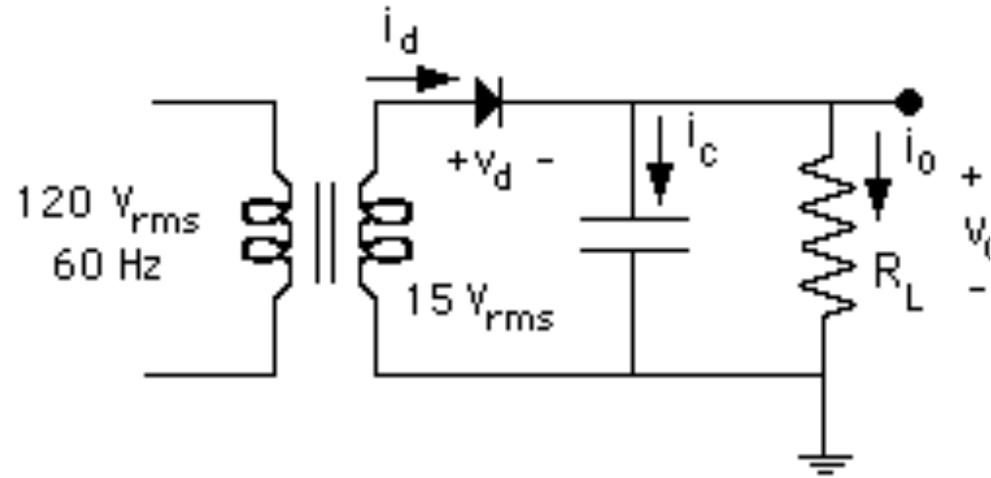
La frecuencia es 60 Hz.

Diodo 1N4004 o número superior

$R = 470 \Omega$; 2 W

$C = 470 \mu\text{F}$

Resistencia para medir corriente en el diodo: 10Ω



Preguntas sobre el circuito

Definición de voltaje de rizado y factor de rizado.

Explicación del funcionamiento. Formas de onda en la entrada del rectificador, el voltaje en el diodo, el voltaje en la resistencia de carga y la corriente en el diodo, indicando los tiempos de interés.

Cálculo del valor pico de la corriente por el diodo, la potencia promedio entregada a la carga, la potencia promedio consumida por el diodo y la potencia aparente total manejada por el transformador.

Simulaciones.

Mediciones

* Forma de onda del voltaje de entrada (secundario del transformador o variac) y el voltaje en la carga.

* Forma de onda del voltaje de entrada junto con la corriente en el diodo.

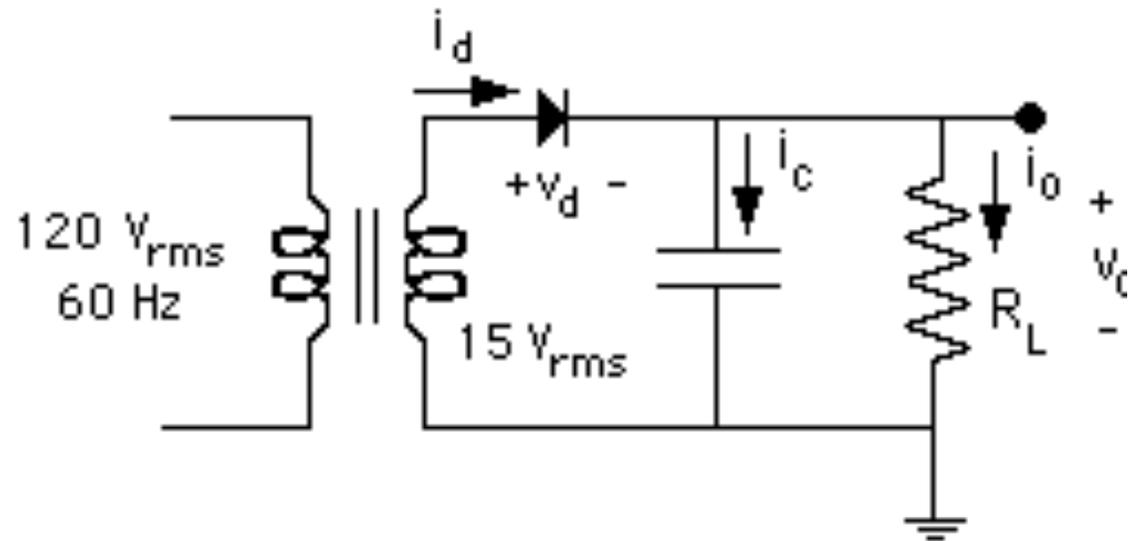
* Forma de onda del voltaje en el diodo junto con la corriente en el diodo (colocar una resistencia de pocos ohmios en serie con el diodo).

* Voltaje pico y voltaje rms en la entrada.

* Voltaje pico y voltaje rms en la carga.

* Voltaje y corriente pico en el diodo.

* Tiempo de conducción del diodo.



RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA DE PRECISIÓN: SUPERDIODO

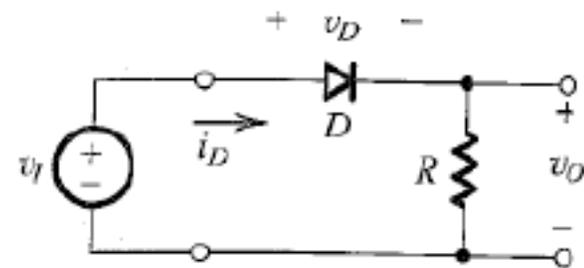
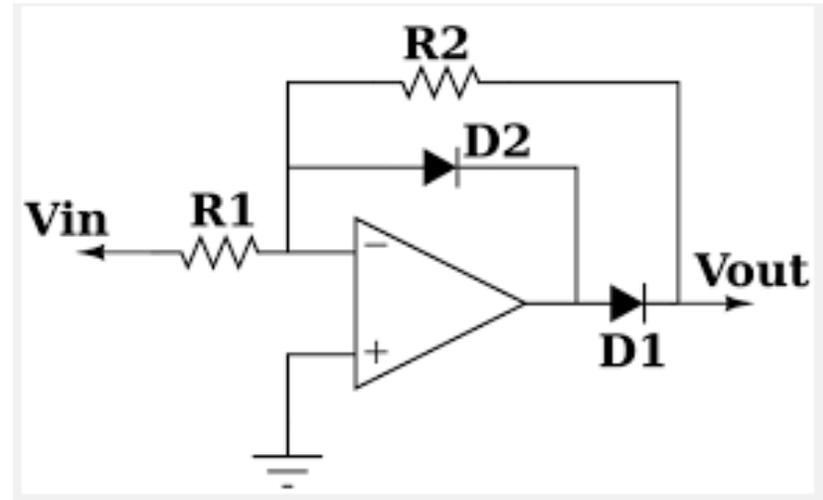
Se van a montar simultáneamente en el protoboard el superdiodo y el rectificador de media onda sin filtro

Operacional 741

Diodo 1N4004 o número superior (2)

$R_1 = R_2 = R_L = 1 \text{ k}\Omega$ (se necesitan cuatro resistencias en total)

Voltajes V_i producidos por el generador de funciones según valores indicados en la guía. Se van a aplicar simultáneamente al superdiodo y al rectificador de media onda.



Mediciones

*Formas de onda del voltaje de entrada y salida de ambos circuitos para los distintos valores indicados en la guía.

* Voltaje pico en la salida, voltaje pico en el diodo y tiempo de conducción del diodo en el superdiodo para los distintos valores indicados en la guía.