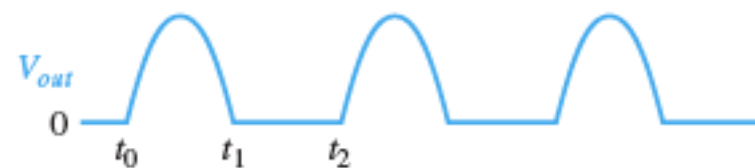
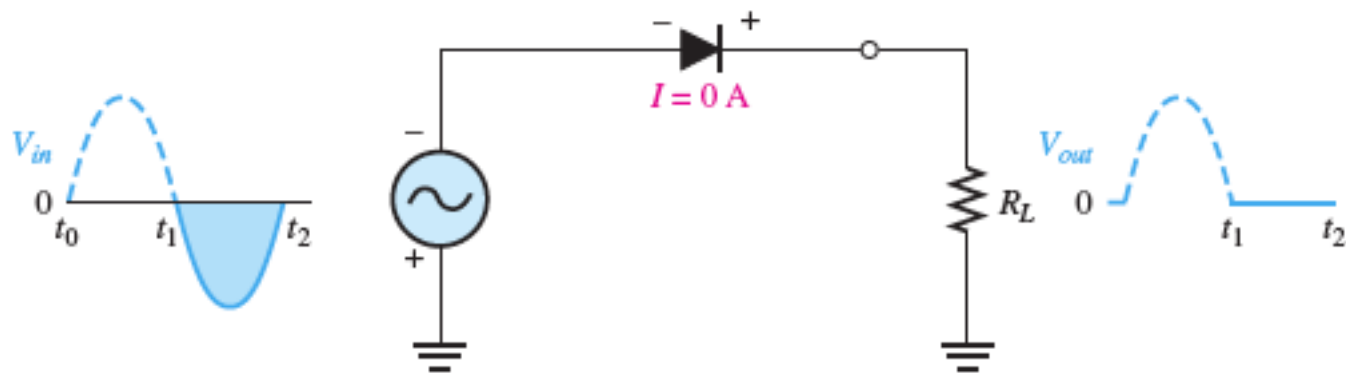
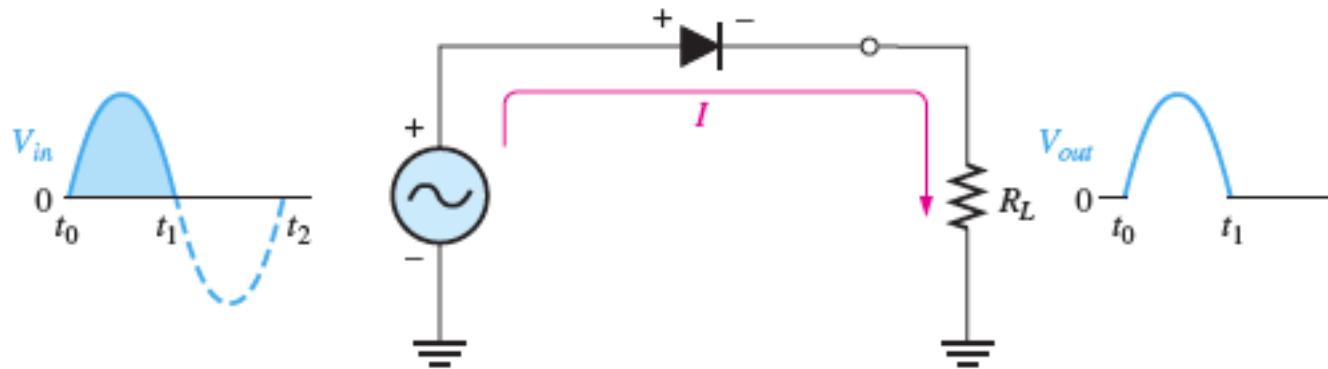


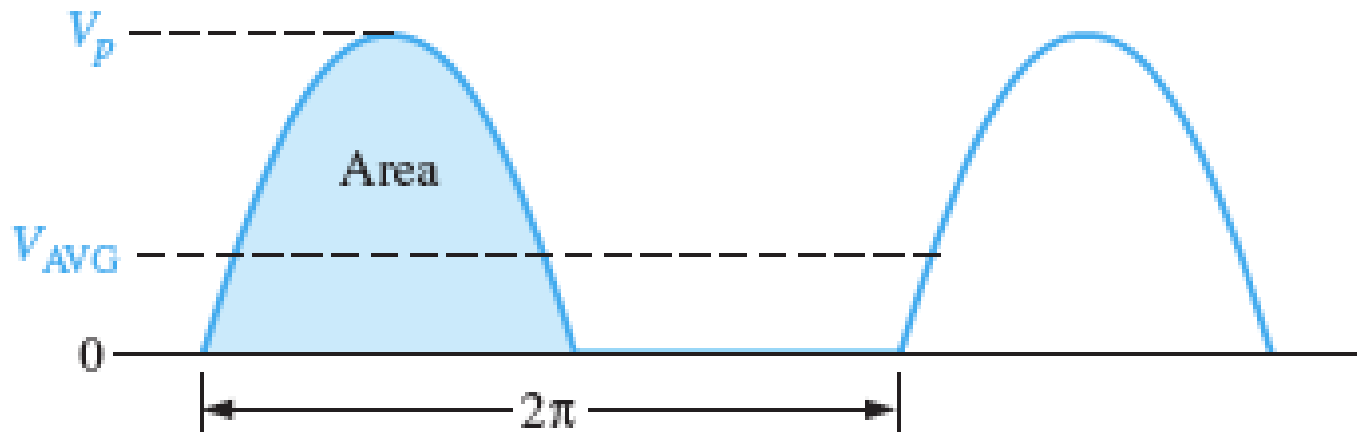
RECTIFICADORES DE MEDIA ONDA



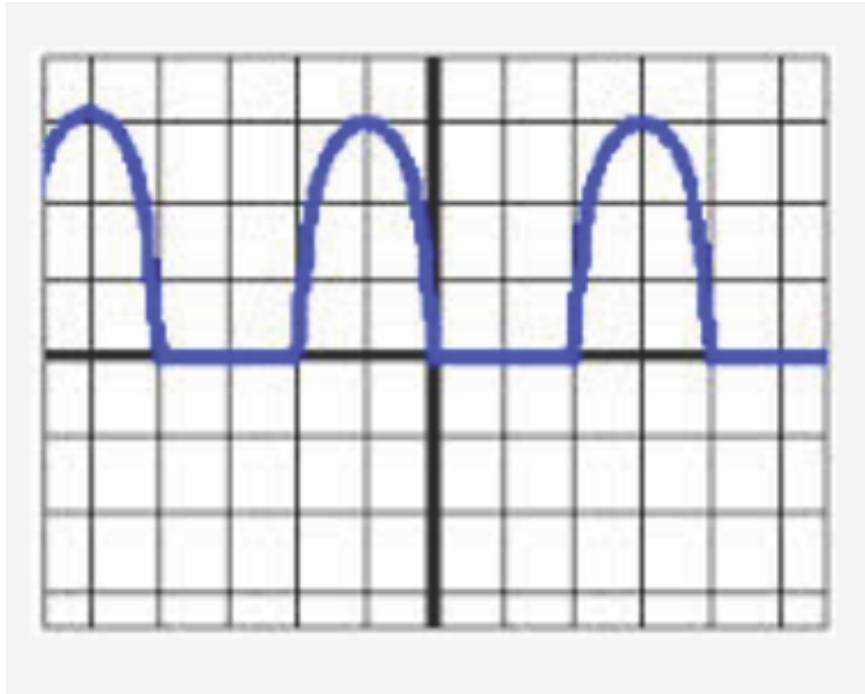
VOLTAJE PROMEDIO DE UNA SEÑAL RECTIFICADA DE MEDIA ONDA

El voltaje promedio de una señal periódica es el área bajo la curva en un ciclo, dividida entre el período de la señal (ciclo completo de una señal sinusoidal: 2π). Para la salida del rectificador de media onda es:

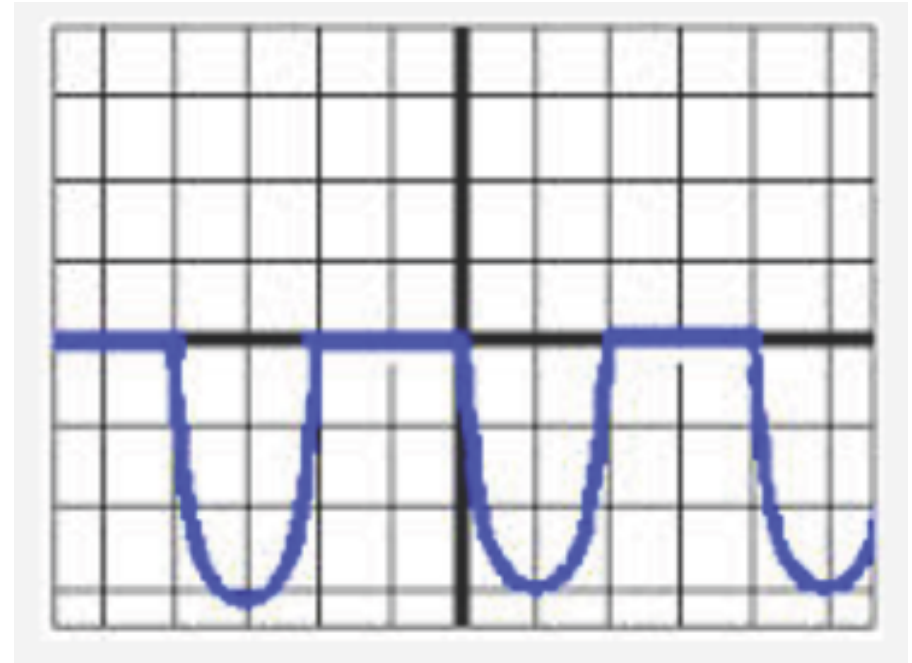
$$V_{prom} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} (V_p \text{sen} \theta d\theta) = \frac{V_p}{2\pi} (-\cos \theta)_0^{\pi} = \frac{V_p}{\pi}$$



VOLTAJE EN LA CARGA Y EN EL DIODO

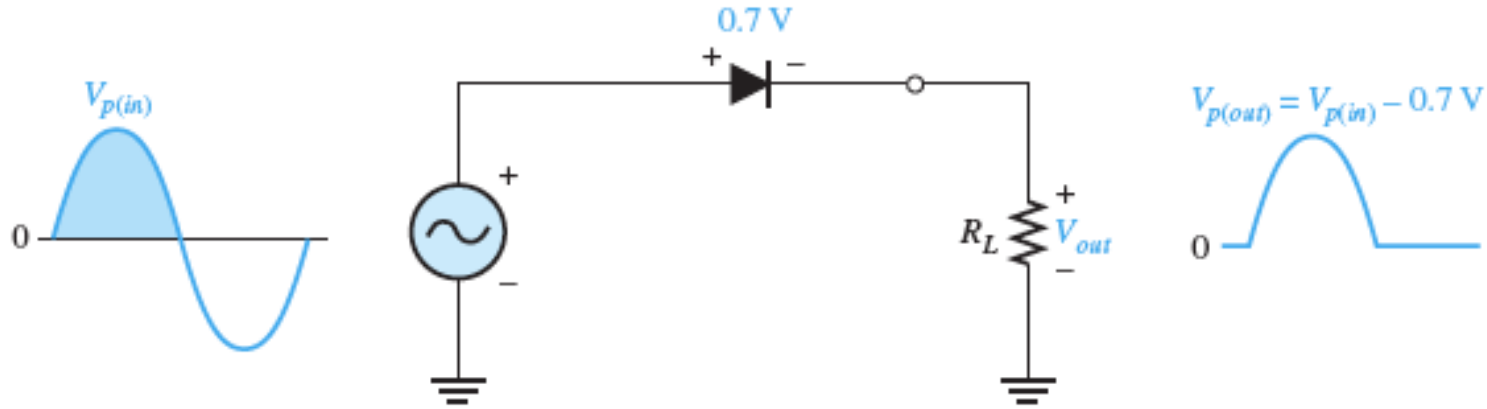


Voltaje en la carga



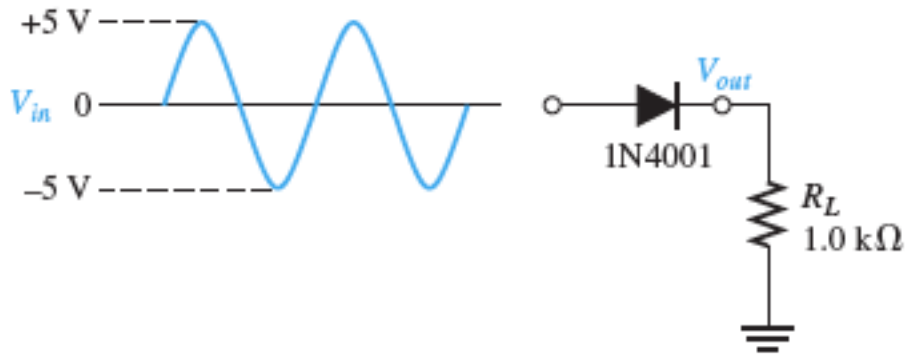
Voltaje en el diodo

EFFECTO DE LA BARRERA DE POTENCIAL EN LA SALIDA DEL RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA

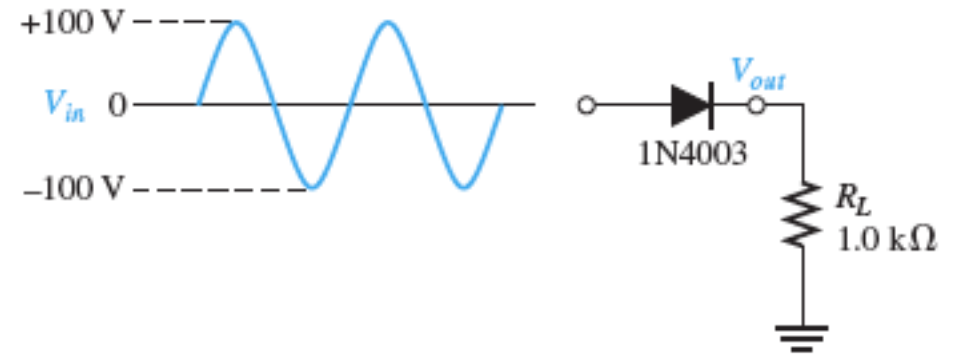


$$V_P = 4,3\text{V}$$

$$V_P = 99,3\text{V}$$



(a)



(b)

VOLTAJE PICO INVERSO (PIV)

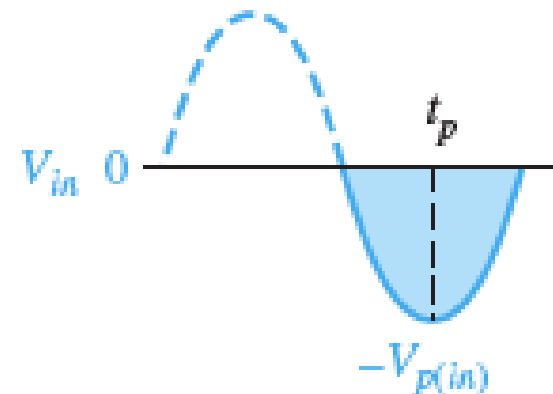
* El Voltaje Pico Inverso (PIV) de un diodo es el voltaje que tiene que soportar entre sus terminales cuando no está conduciendo.

* Tiene que ser inferior al voltaje de ruptura (Breakdown) especificado por el fabricante, ya que en caso contrario el diodo se puede dañar.

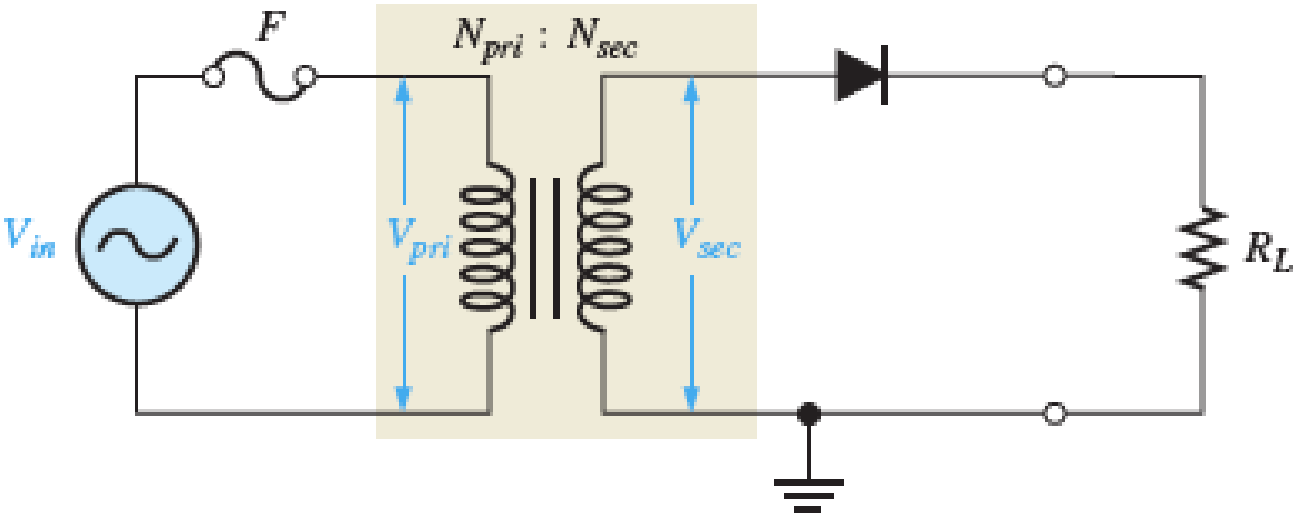
* El voltaje de ruptura especificado por el fabricante debe ser por lo menos 20% mayor que el PIV.

* Para el rectificador de media onda,

$$\text{PIV} = V_p(\text{in})$$



RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON TRANSFORMADOR



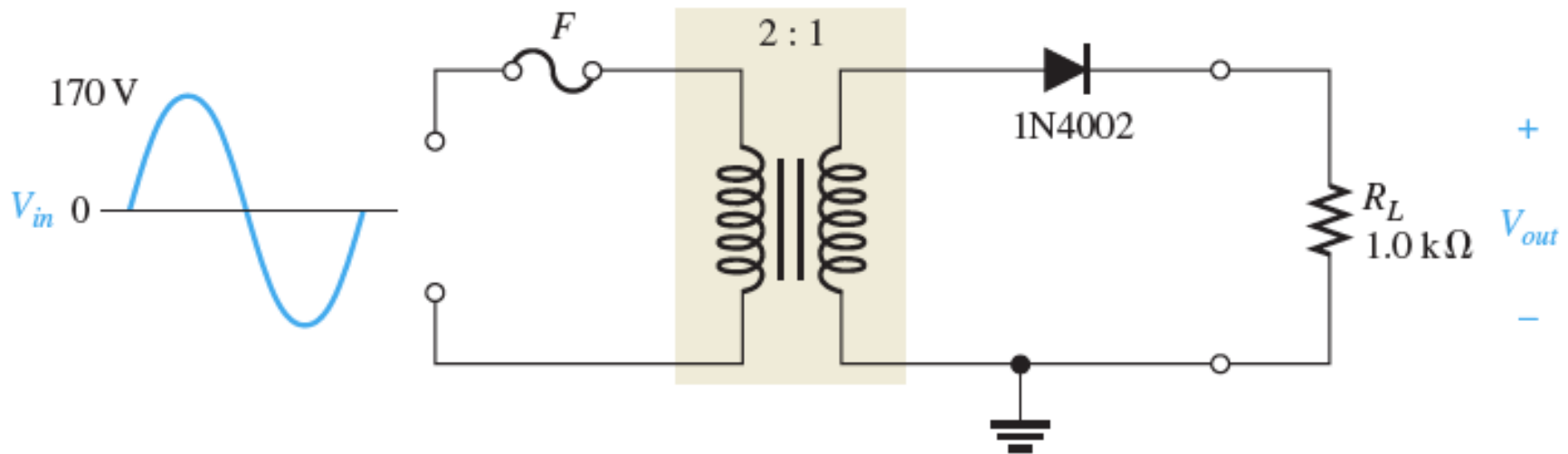
$$V_{sec} = nV_{pri}$$

$$V_{RL} = V_{psec} - 0,7V$$

$$PIV = V_{psec}$$

PROBLEMA 1

a) Determine el valor pico del voltaje de salida del rectificador si la relación del transformador es 2:1



$$V_{p(pri)} = V_{p(in)} = 170 \text{ V}$$

$$V_{p(sec)} = nV_{p(pri)} = 0.5(170 \text{ V}) = 85 \text{ V}$$

$$V_{p(out)} = V_{p(sec)} - 0.7 \text{ V} = 85 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = \mathbf{84.3 \text{ V}}$$

b) Determine el valor pico del voltaje de salida del rectificador si la relación del transformador es 1:2 y el valor pico del voltaje de entrada es 312V. Calcule el valor promedio del voltaje de salida y el PIV del diodo

$$V_{psec} = 312V \times 2 = 624 V$$

$$V_{pout} = 624V - 0,7V = 623,3V$$

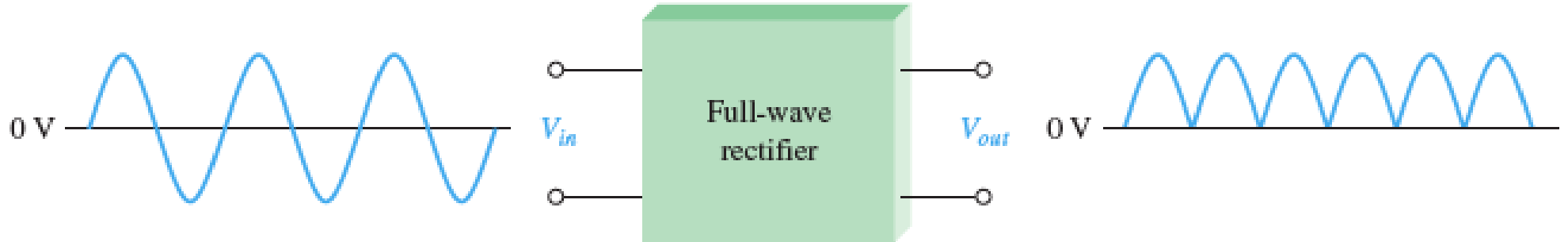
$$V_{prom} = V_p / \pi = 198,40V$$

$$\mathbf{PIV = 624 V}$$

El diodo que está en el circuito, 1N4002, no soporta este voltaje inverso. El fabricante especifica 100V. Habría que cambiarlo por un 1N4006 (800V) o un 1N4007 (1000V)

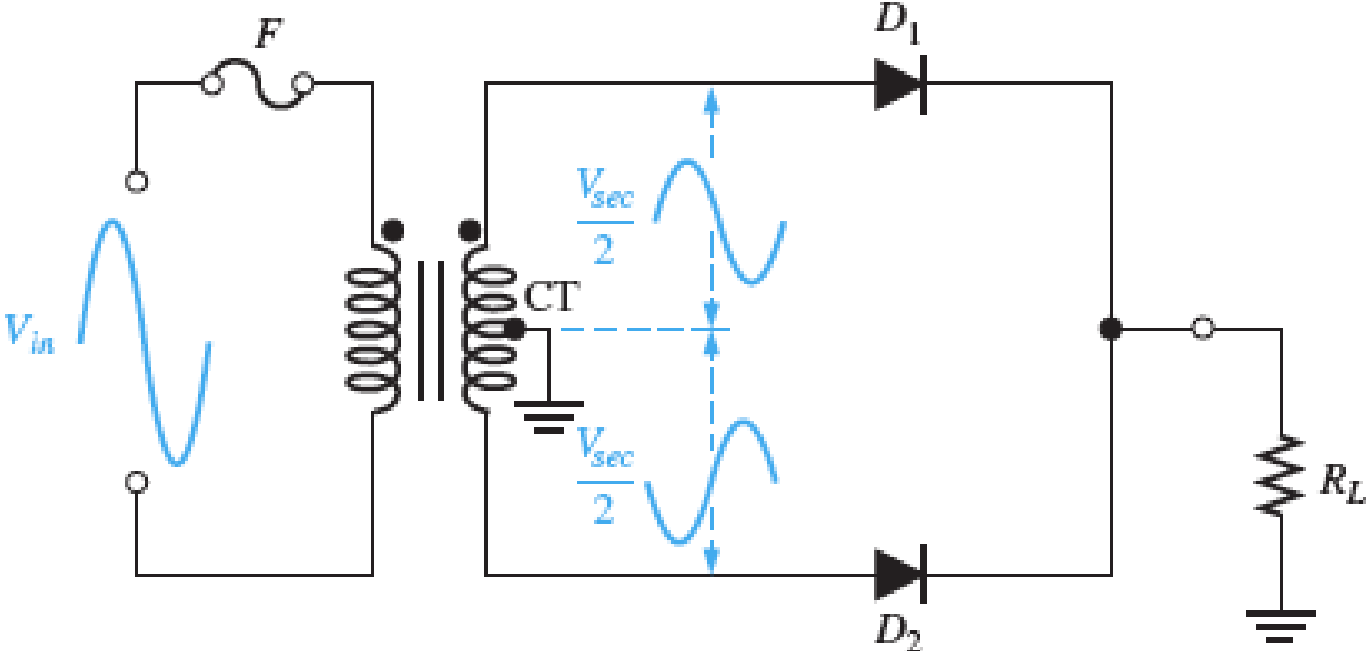
c) ¿Cuál es la forma de onda del voltaje de salida si el diodo se conecta en posición inversa?

RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA

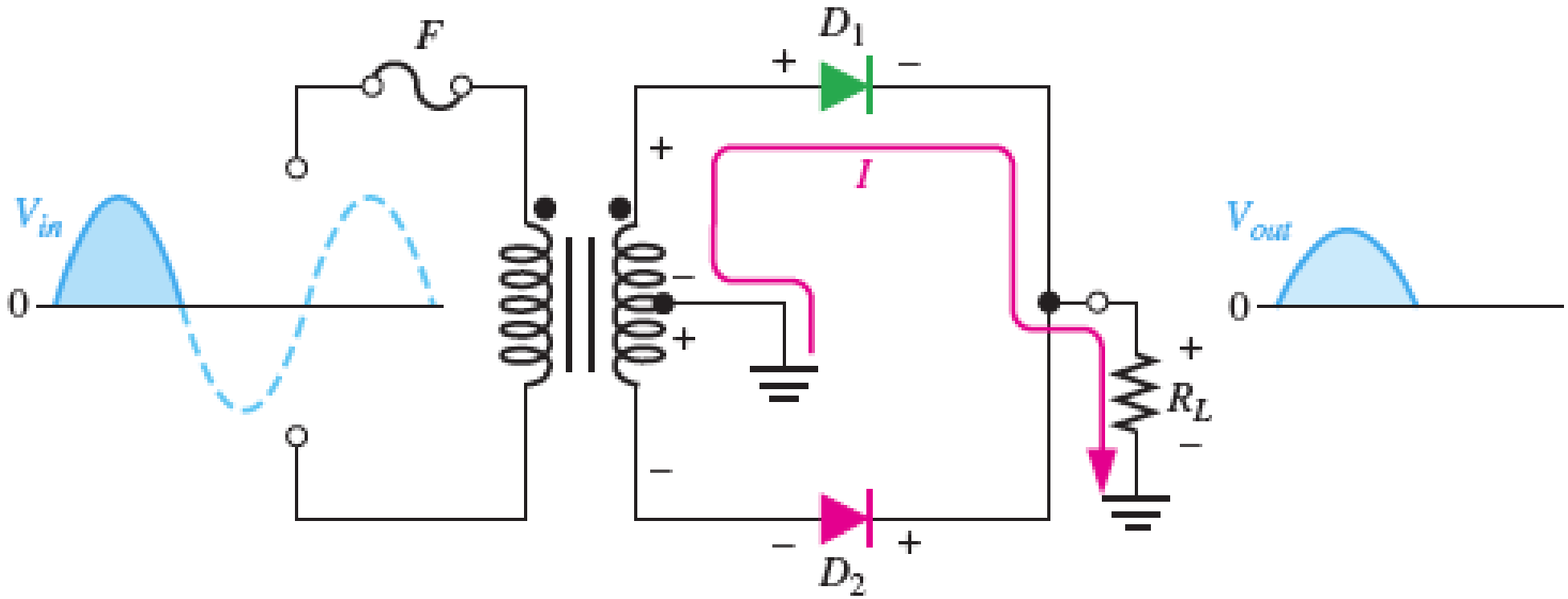


$$V_{prom} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} (V_p \sin \theta d\theta) = \frac{V_p}{\pi} (-\cos \theta)_0^{\pi} = \frac{2V_p}{\pi}$$

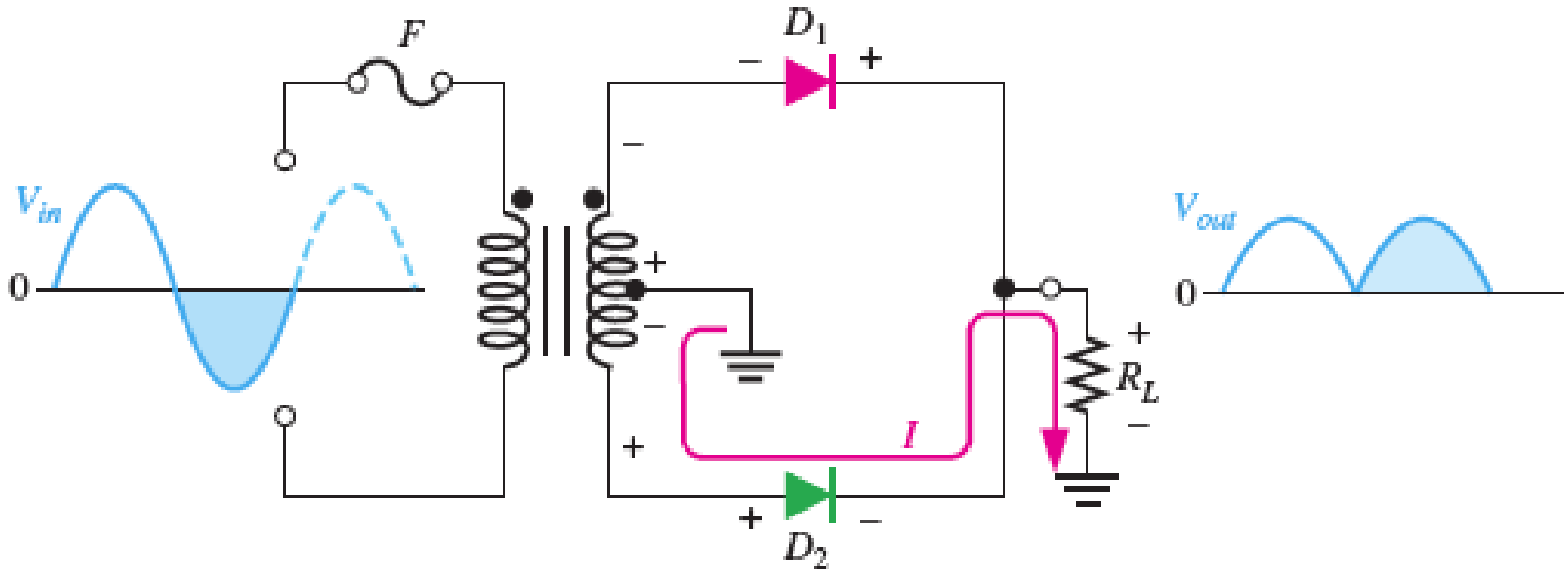
RECTIFICADORES DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL



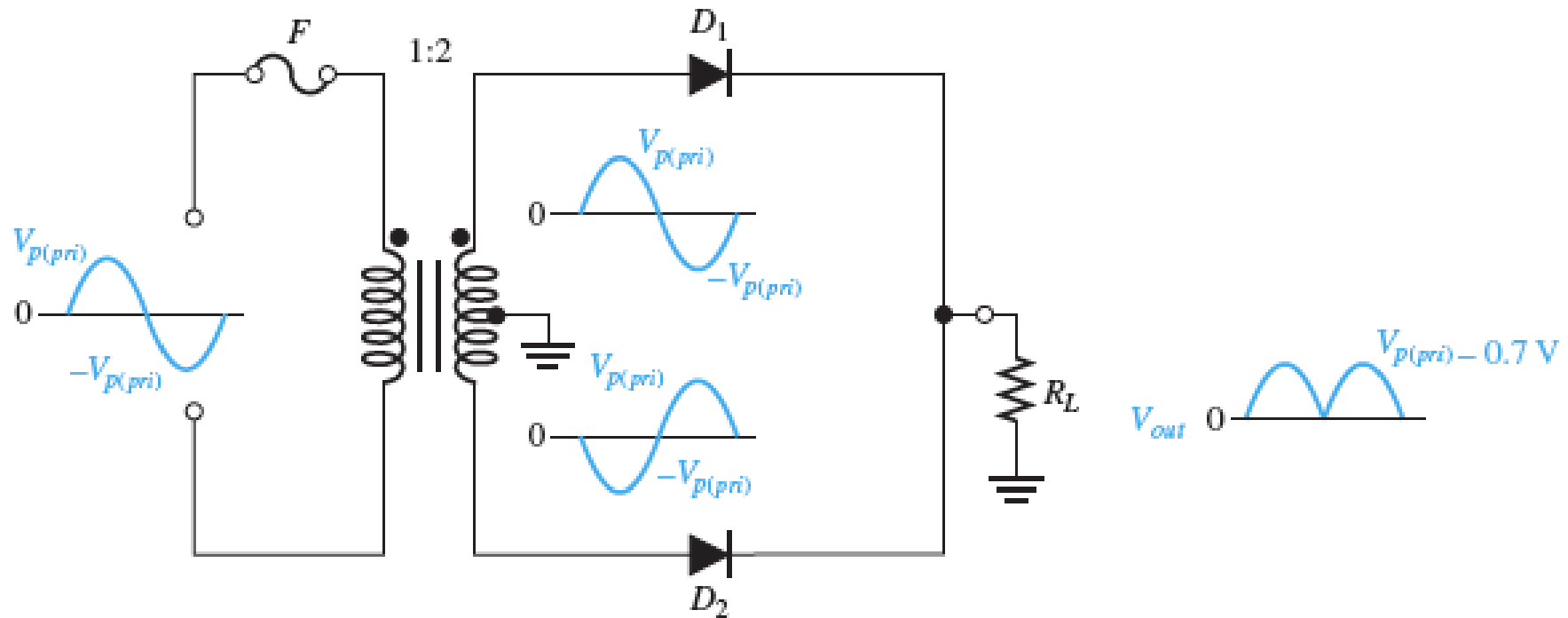
FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL DURANTE EL SEMICICLO POSITIVO



FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL DURANTE EL SEMICICLO NEGATIVO

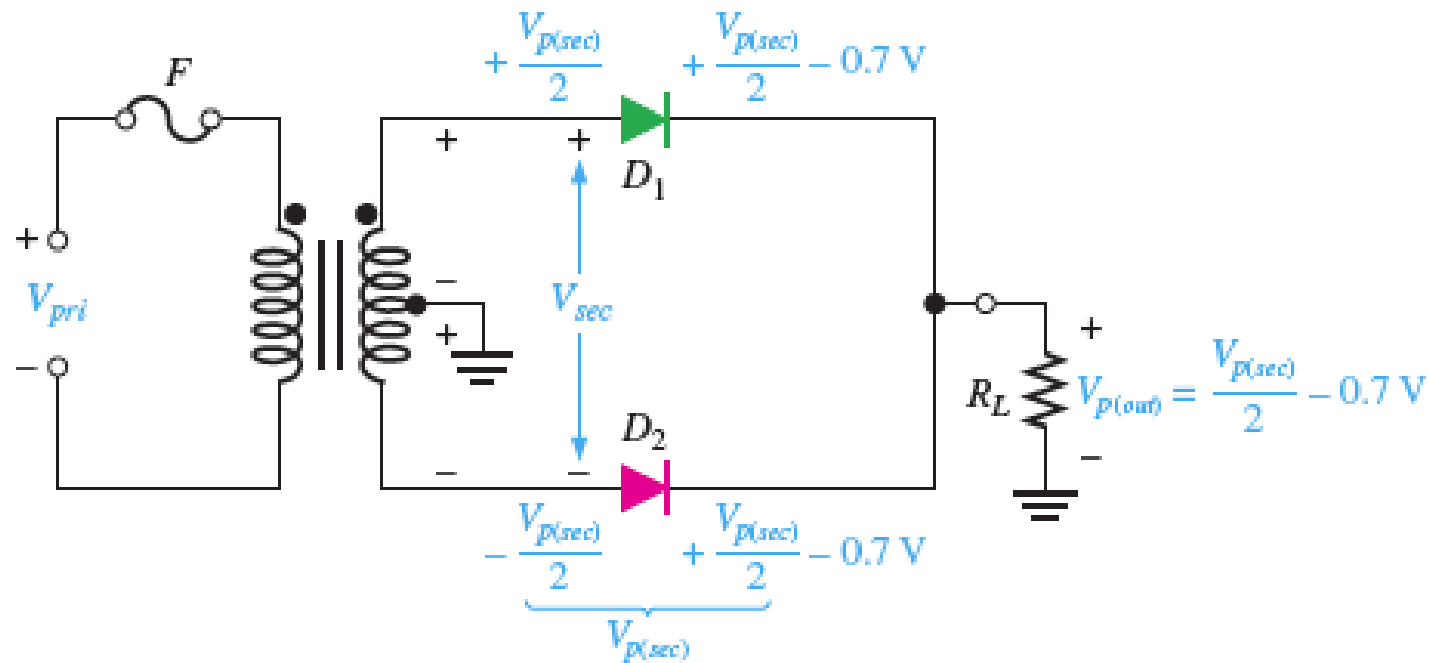


RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL CON UNA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 1:2



$$V_{RL} = V_{Ppri} - 0,7V$$

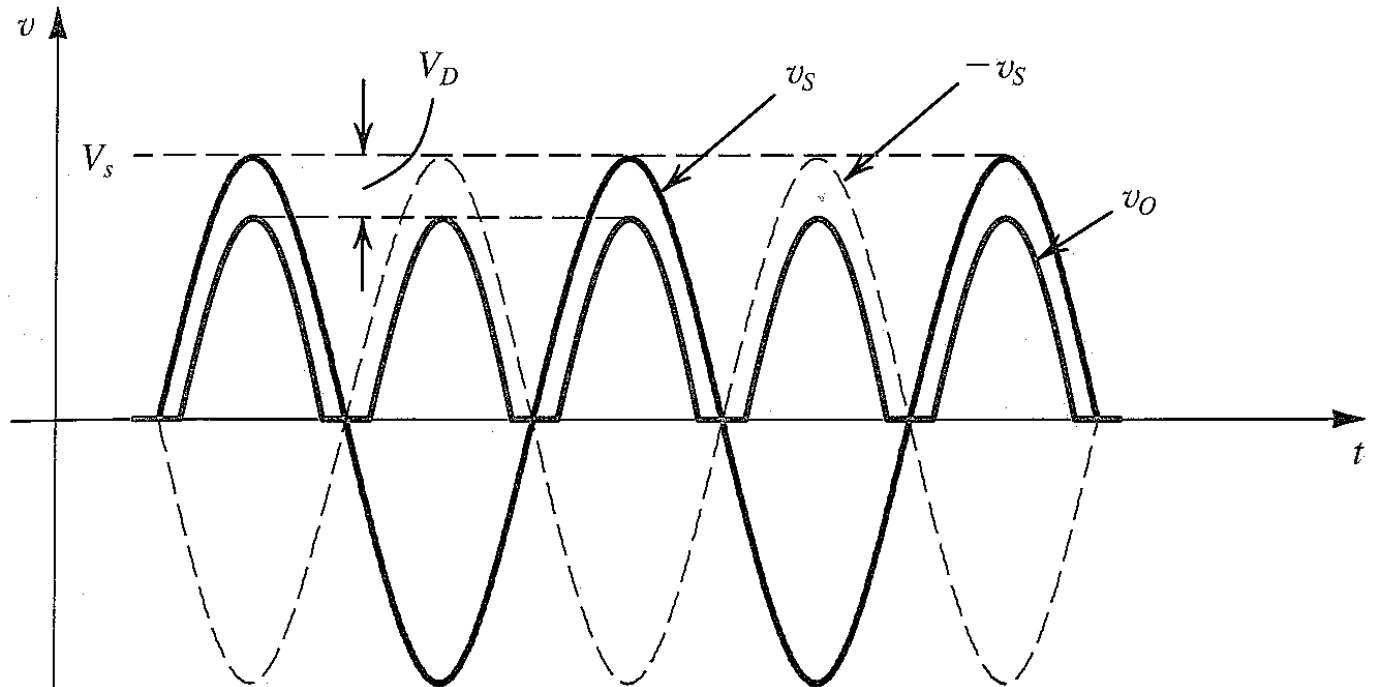
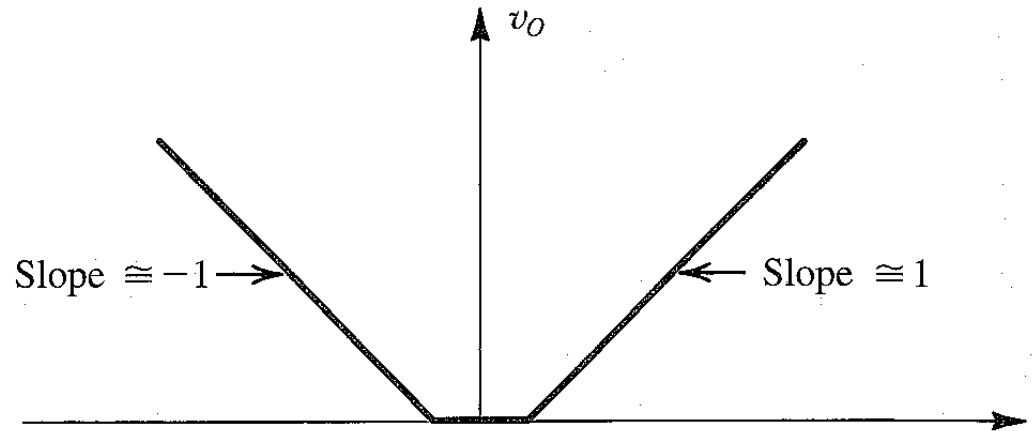
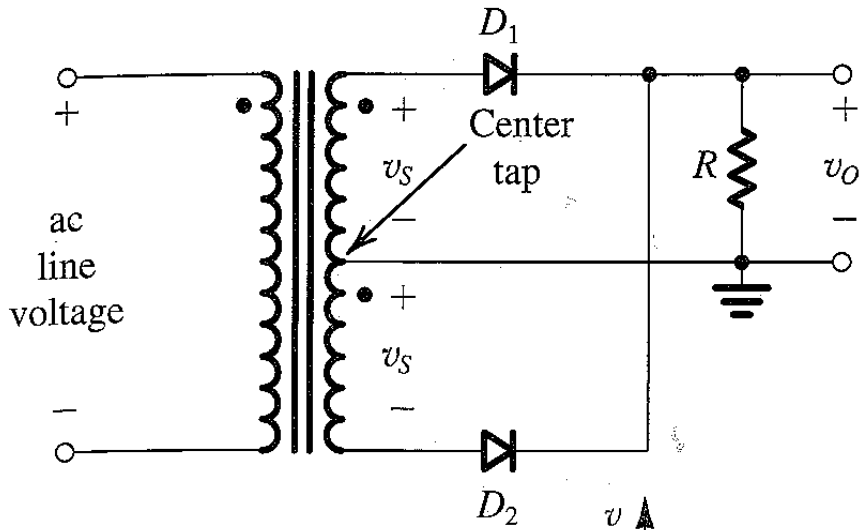
VOLTAJE PICO INVERSO EN UN RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL CON UNA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN 1:2



$$V_{D2} = (-V_{Psec}/2) - [(V_{Psec}/2) - 0,7V] = (-V_{Psec} + 0,7V)$$

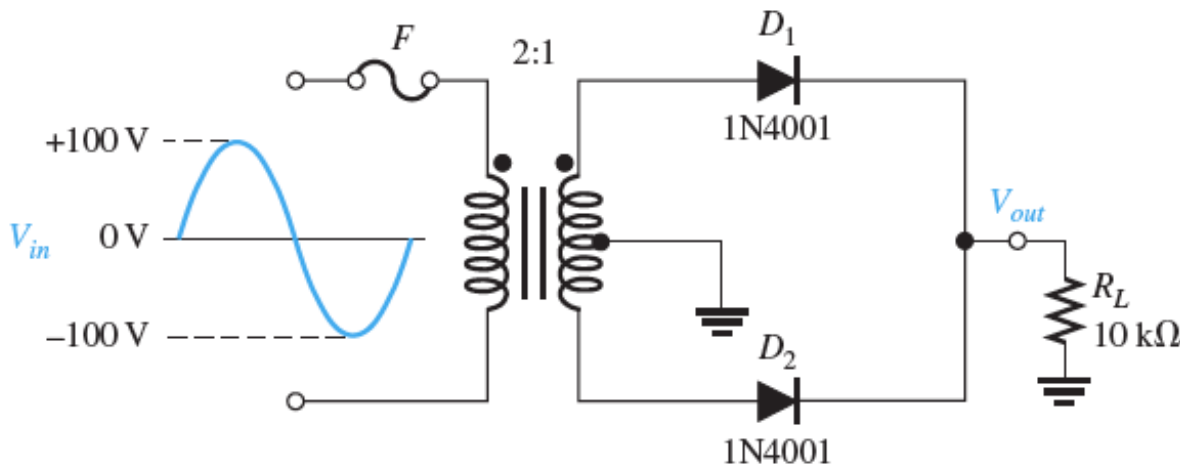
$$PIV = V_{Psec} - 0,7V$$

RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TOMA CENTRAL CON EL DIODO REAL



PROBLEMA 2

a) Dibuje la forma de onda del voltaje de salida del rectificador si la relación del transformador es 2:1 y calcule el PIV

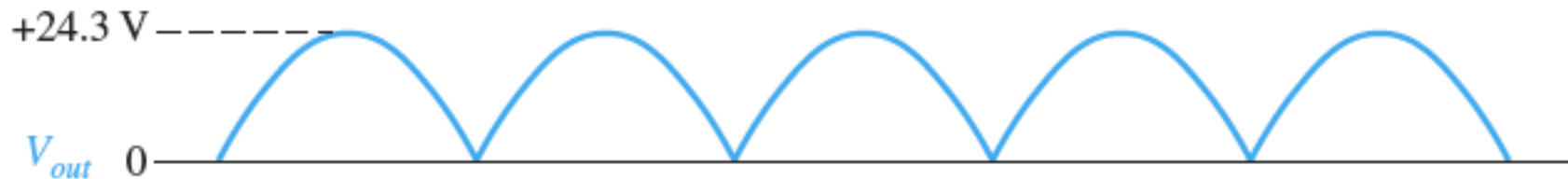


$$V_{sec} = 0,5 \times 100V = 50V$$

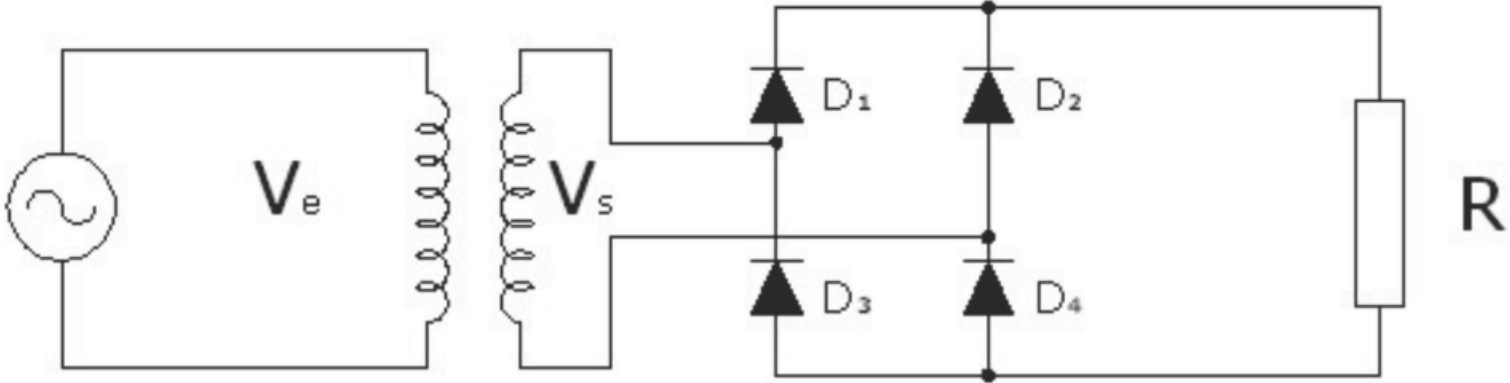
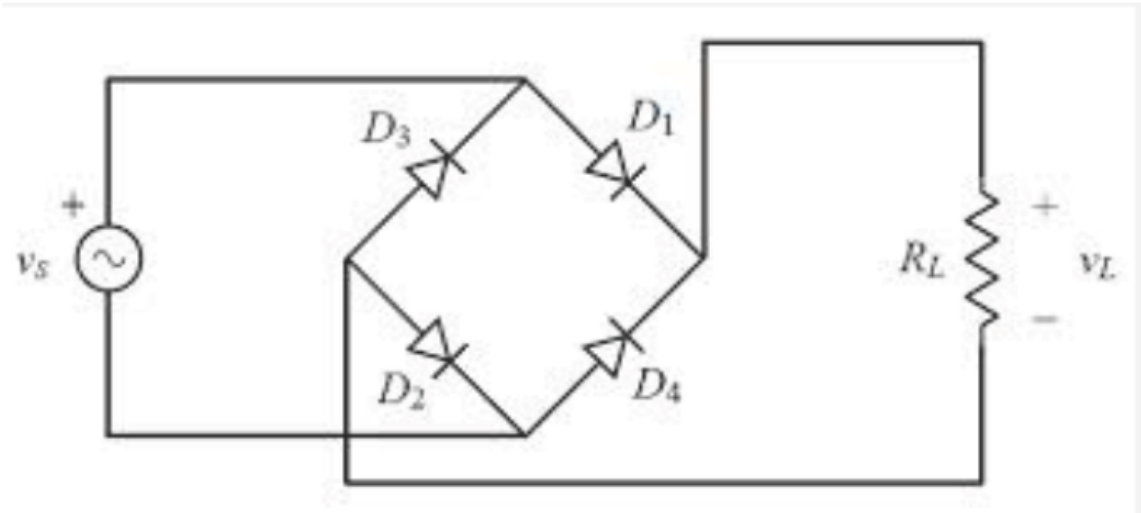
$$V_{out} = (V_{sec}/2) - 0,7V = 24,3V$$

$$PIV = V_{sec} - 0,7V = 49,3V$$

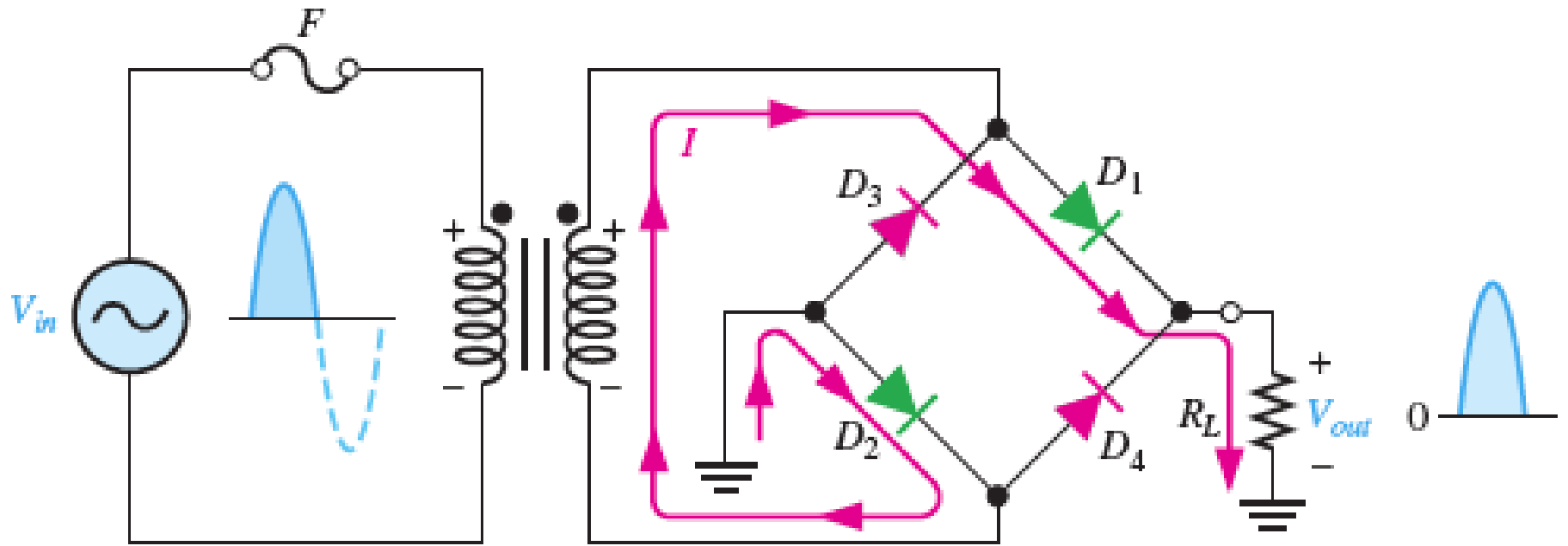
NOTA: El 1N4001 tiene un voltaje pico reverso de 50V. Hay que usar por lo menos un 1N4002 (100V)



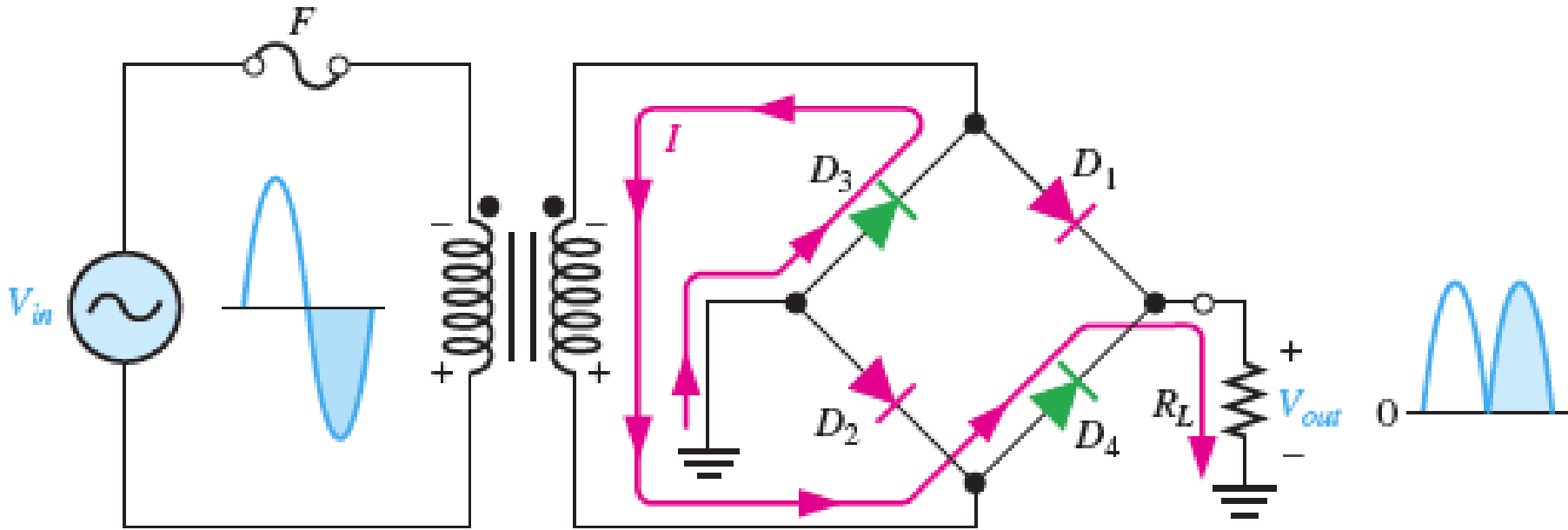
RECTIFICADOR ONDA COMPLETA TIPO PUENTE



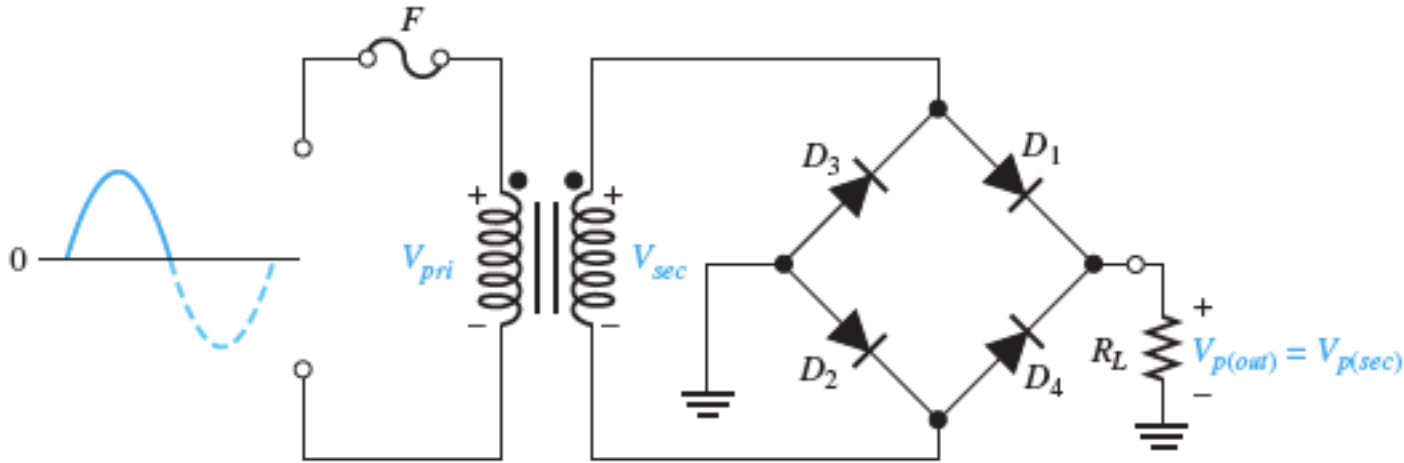
FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE DURANTE EL SEMICICLO POSITIVO



FUNCIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE DURANTE EL SEMICICLO NEGATIVO



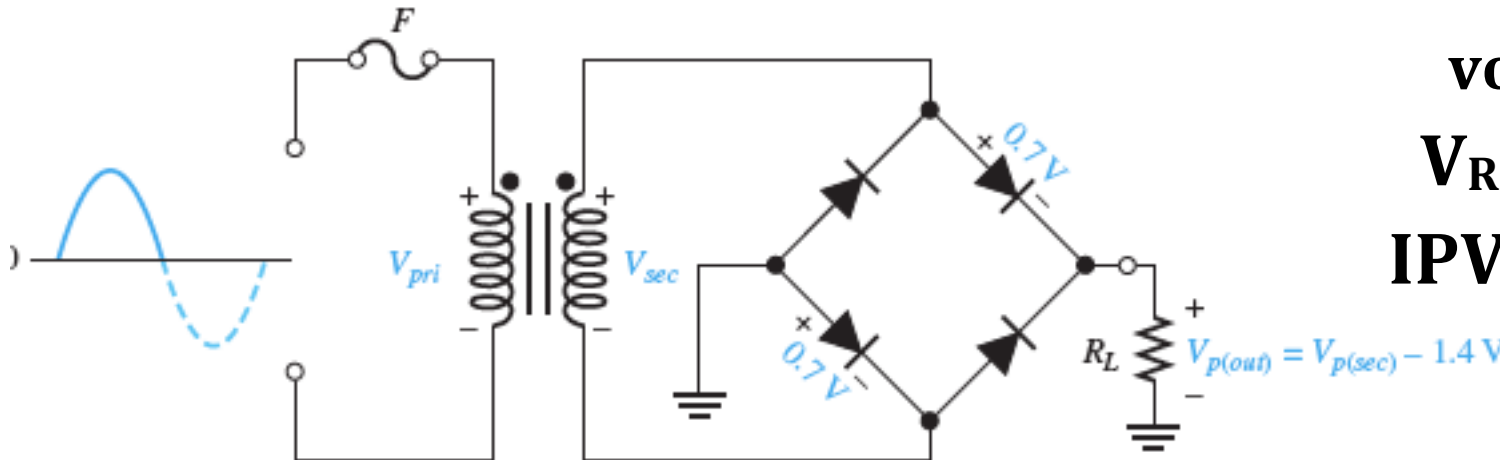
VOLTAJE EN LA RESISTENCIA R_L DEL RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE



**Modelo
ideal**

$$V_{RL} = V_{Psec}$$

$$IPV = V_{Psec}$$



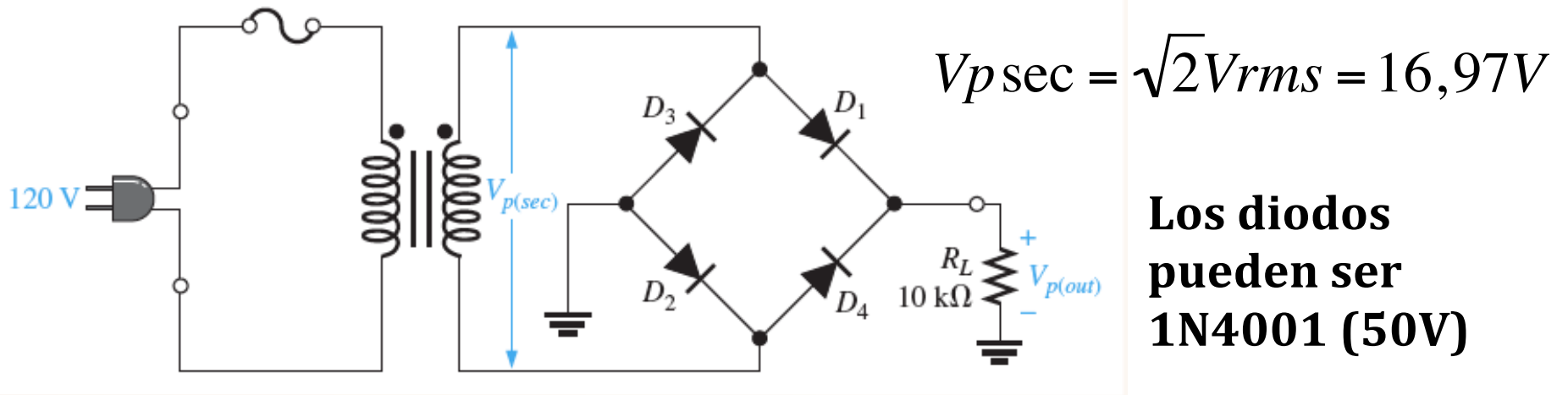
**Modelo
voltaje constante**

$$V_{RL} = V_{Psec} - 1,4V$$

$$IPV = V_{Psec} - 0,7V$$

PROBLEMA 3

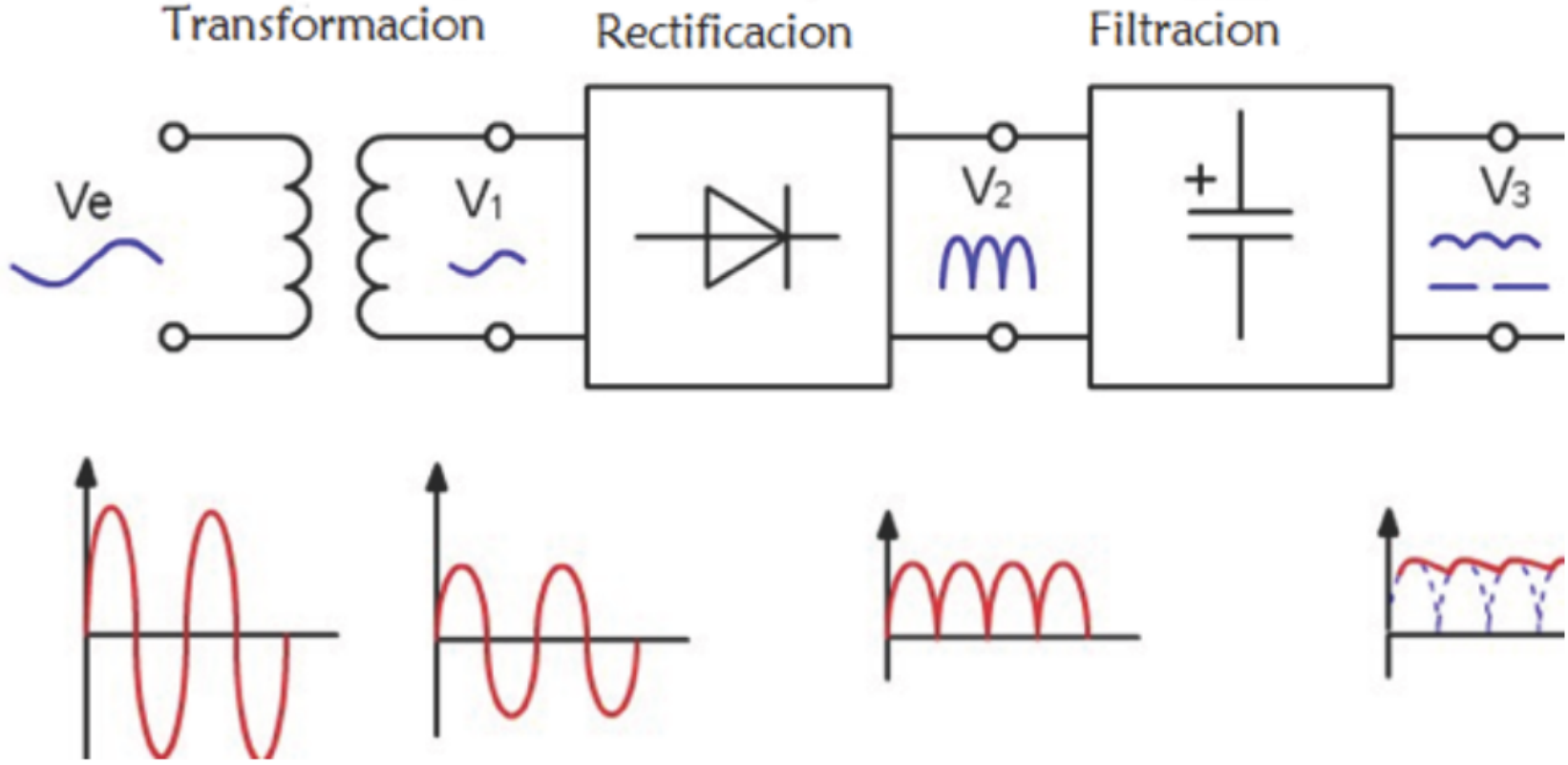
Si la relación del transformador es 10 a 1 y la entrada es la señal de 120Vrms, determine el voltaje pico de salida e indique el mínimo valor de voltaje reverso que deben soportar los diodos.



$$V_{p\text{out}} = 16,97V - 1,4V = 15,57V \quad PIV = V_{p\text{sec}} - 0,7 = 16,27V$$

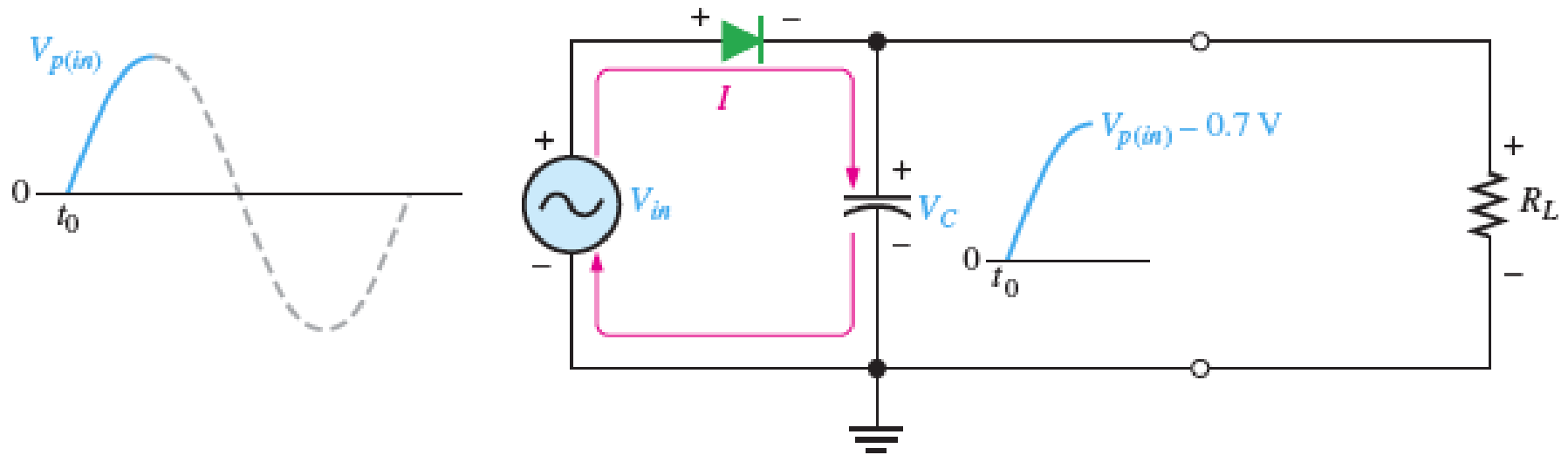
$$\text{Voltaje reverso mínimo} = 1,2 \times 16,27V = 19,52V$$

CIRCUITOS RECTIFICADORES CON FILTRO



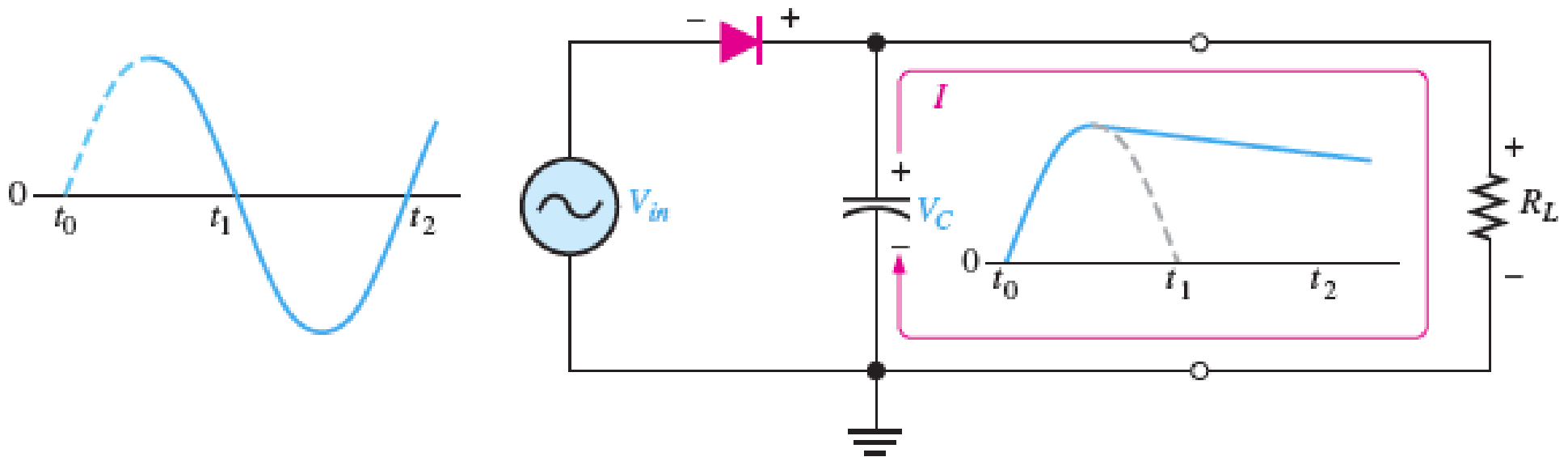
PRINCIPIO DEL FILTRADO CAPACITIVO

Durante el primer cuarto de ciclo el voltaje en el condensador aumenta hasta alcanzar el valor pico de la señal



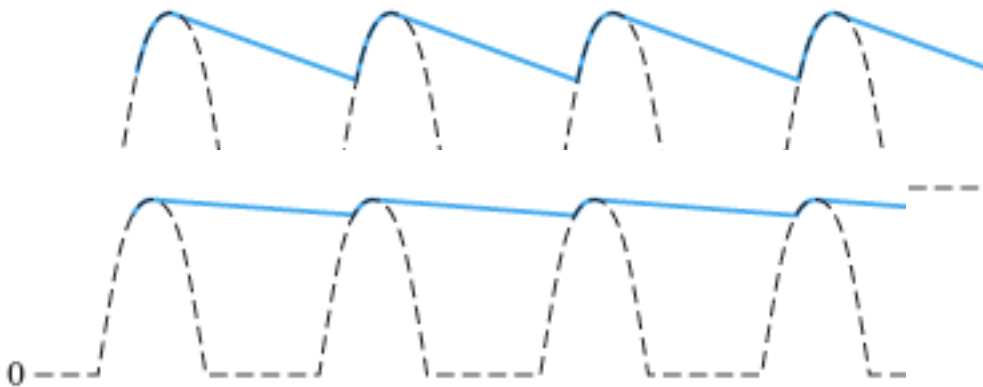
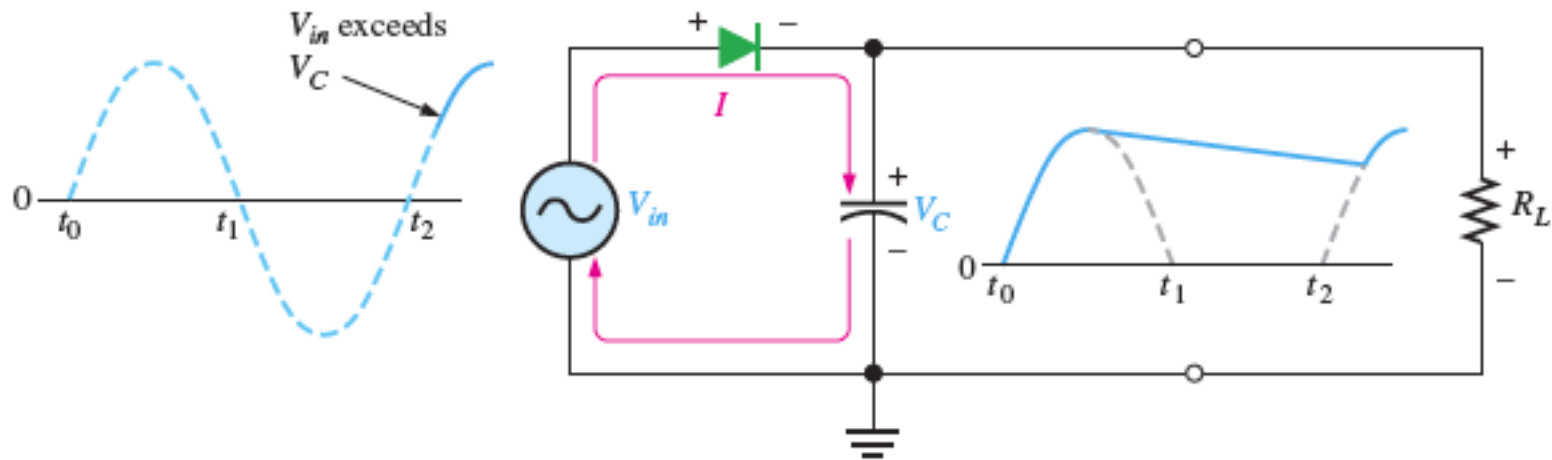
PRINCIPIO DEL FILTRADO CAPACITIVO

- * Cuando el voltaje de entrada comienza a bajar, el diodo deja de conducir.
- * El condensador se descarga a través de la resistencia R_L .
- * Esto sigue ocurriendo hasta que el voltaje de entrada alcanza el valor de voltaje al cual está cargado el condensador.
- * La descarga es tan lenta que puede considerarse lineal.



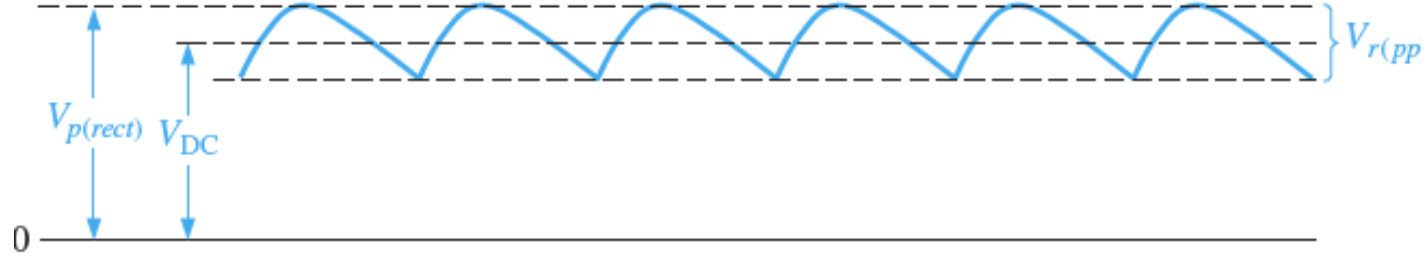
PRINCIPIO DEL FILTRADO CAPACITIVO

El resultado es una señal con voltaje de rizado



La señal presenta mas o menos rizado dependiendo del valor del condensador

VOLTAJE DE RIZADO
FACTOR DE RIZADO



Voltaje de rizado $V_{r(pp)}$: Es la diferencia entre el voltaje máximo y el voltaje mínimo en el condensador. En la fórmula aproximada $f=60$ Hz media onda y $f = 120$ Hz onda completa

$$V_{r(pp)} \cong \left(\frac{1}{fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

Voltaje DC V_{DC} : Algunos autores definen el voltaje DC de salida como el voltaje promedio en la carga.

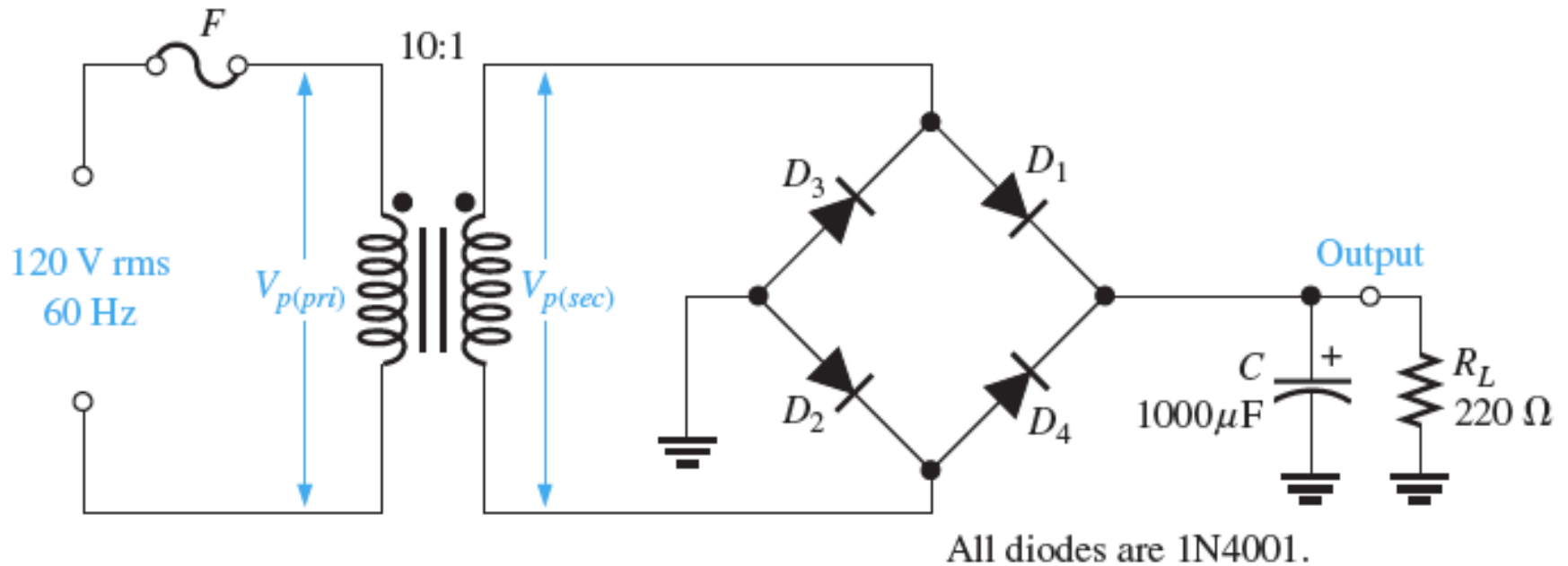
$$V_{DC} \cong \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)}$$

Factor de rizado: Es un indicador de la efectividad del filtro. Algunos autores lo definen como

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

PROBLEMA 4

Determine el factor de rizado para el rectificador de media onda con filtro mostrado en la figura.



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

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

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

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

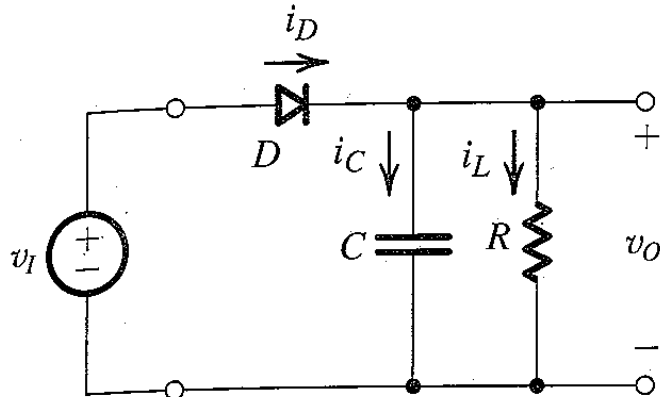
$$V_{DC} = \left(1 - \frac{1}{2fR_L C} \right) V_{p(rect)} = \left(1 - \frac{1}{(240 \text{ Hz})(220 \ \Omega)(1000 \ \mu\text{F})} \right) 15.6 \text{ V} = 15.3 \text{ V}$$

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

El porcentaje de rizado es 3,9%

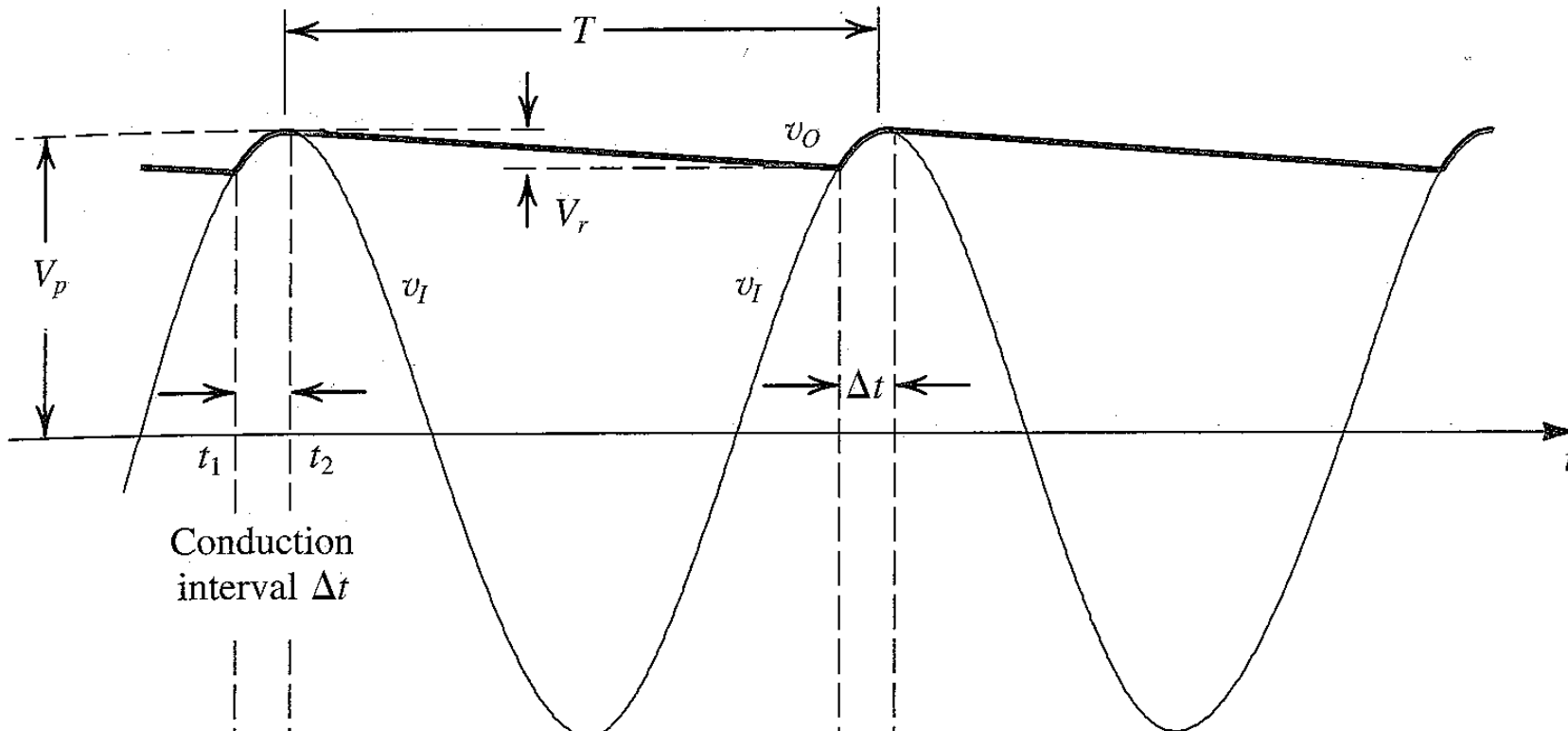
Los diodos 1N4001 (50V) soportan el voltaje pico reverso.

ANALISIS DETALLADO DE LAS FORMAS DE ONDA DE UN RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA CON FILTRO CAPACITIVO

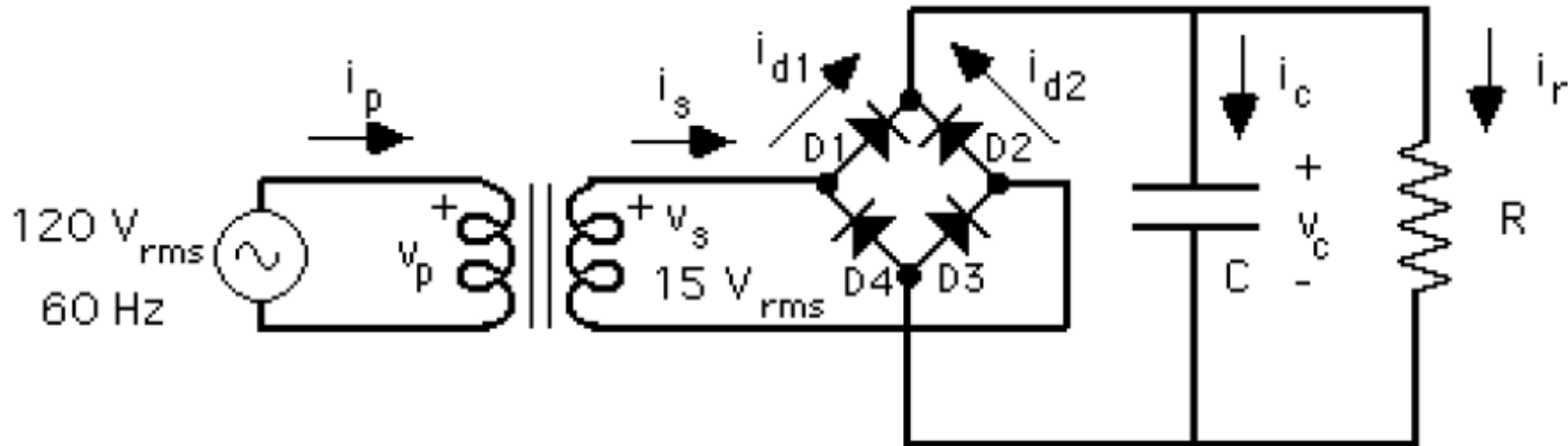


El diodo conduce en el intervalo Δt , llamado también t_c

El condensador se descarga el resto del período T de la señal alterna.



RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON FILTRO CAPACITIVO



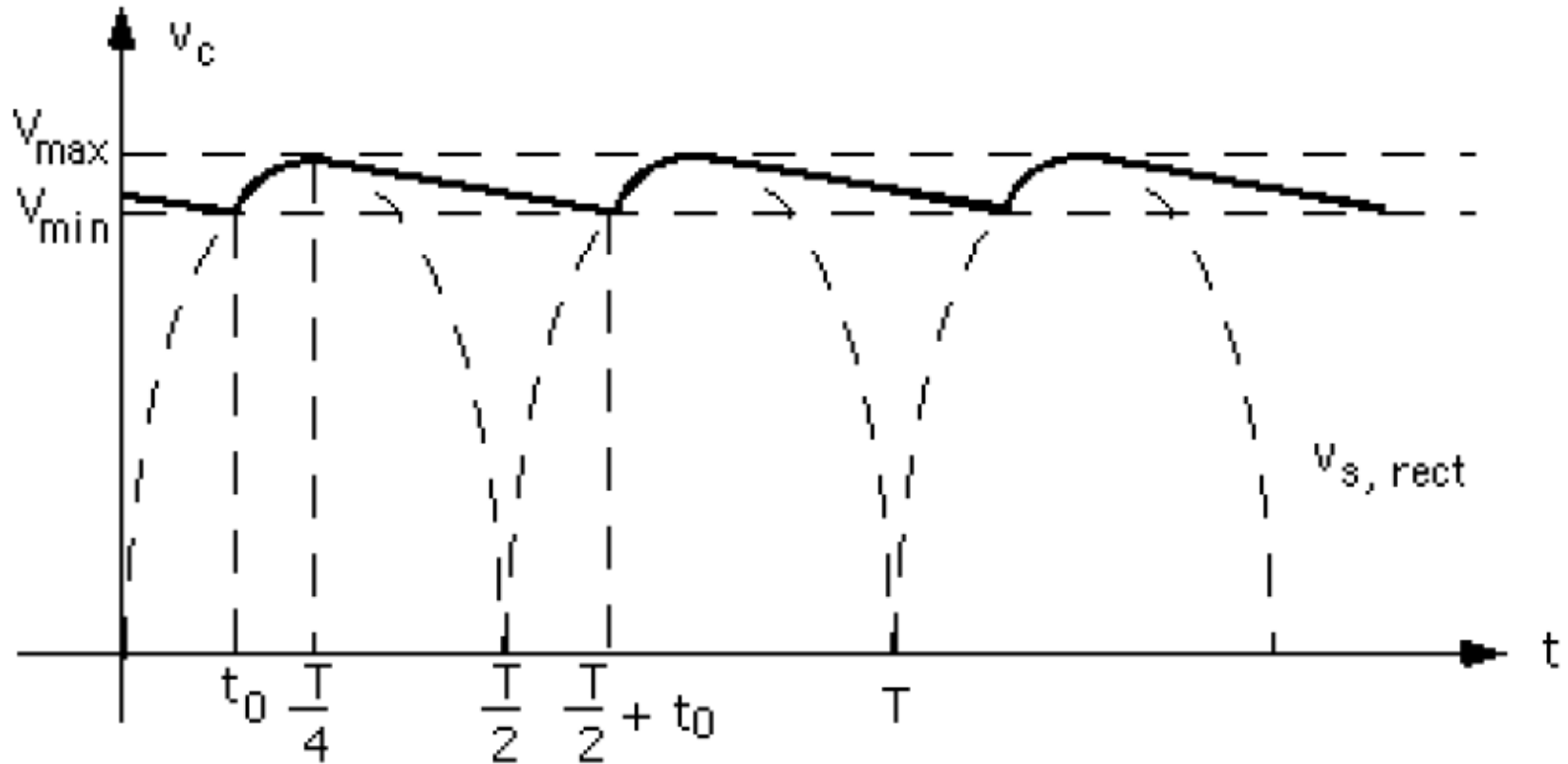
Relación del transformador $n = V_p/V_s$

Voltaje máximo en la carga $V_{max} = V_s - 1,4V$

Corriente máxima en la carga $I_{max} = V_{max}/R$

Corriente en los diodos: $i_d = i_c + i_r$

FORMAS DE ONDA EN LA CARGA R



$$V_{\min} = V_{\max} \text{ sen } \omega t_0$$

$$V_r = V_{\max} - V_{\min} = V_{\max} (1 - \text{sen } \omega t_0)$$

ANÁLISIS CUANDO LOS DIODOS CONDUCEN

En todo condensador $i_c = C \frac{dv}{dt}$

Si los diodos son ideales $v_c = V_{\max} \text{ sen } \omega t$

Corriente en el condensador $i_c = C \omega V_{\max} \text{ cos } \omega t$

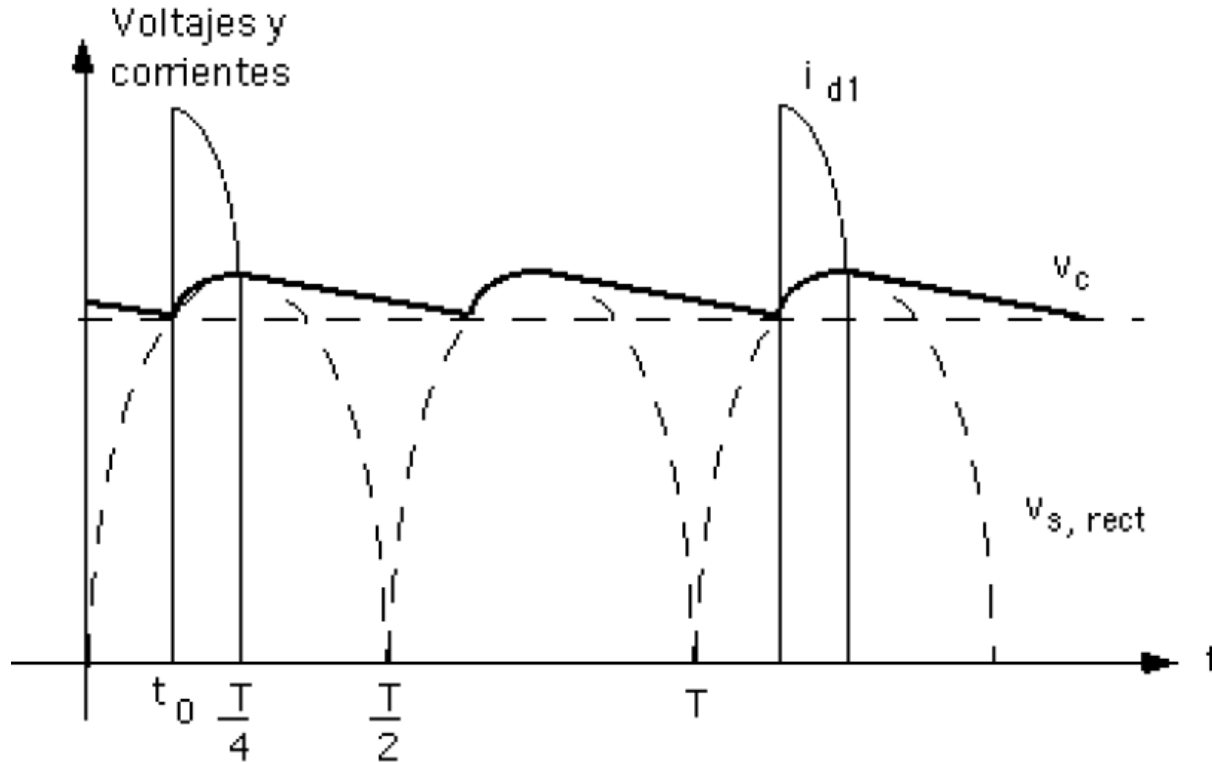
La corriente en los diodos y en el secundario del transformador es la suma de la corriente en el condensador mas en la resistencia:

$$i_d = i_c + i_r = C \omega V_{\max} \text{ cos } \omega t + i_r$$

La corriente en la resistencia varía mucho más lentamente que en el condensador por lo que suponemos que se mantiene constante:

$$I_{r \max} = \frac{V_{\max}}{R} \quad i_d = i_c + i_r = C \omega V_{\max} \text{ cos } \omega t + I_{r \max}$$

FORMAS DE ONDA DE LA CORRIENTE EN LOS DIODOS CICLO POSITIVO



**Tiempo de
conducción de
los diodos**

$$\Delta t = t_c = \frac{T}{4} - t_0$$

**Tiempo de no conducción
(se descarga el condensador)**

$$t_{\text{condensador}} = \frac{T}{4} + t_0 \approx \frac{T}{2}$$

FORMAS DE ONDA DE LA CORRIENTE EN LOS DIODOS CICLO NEGATIVO

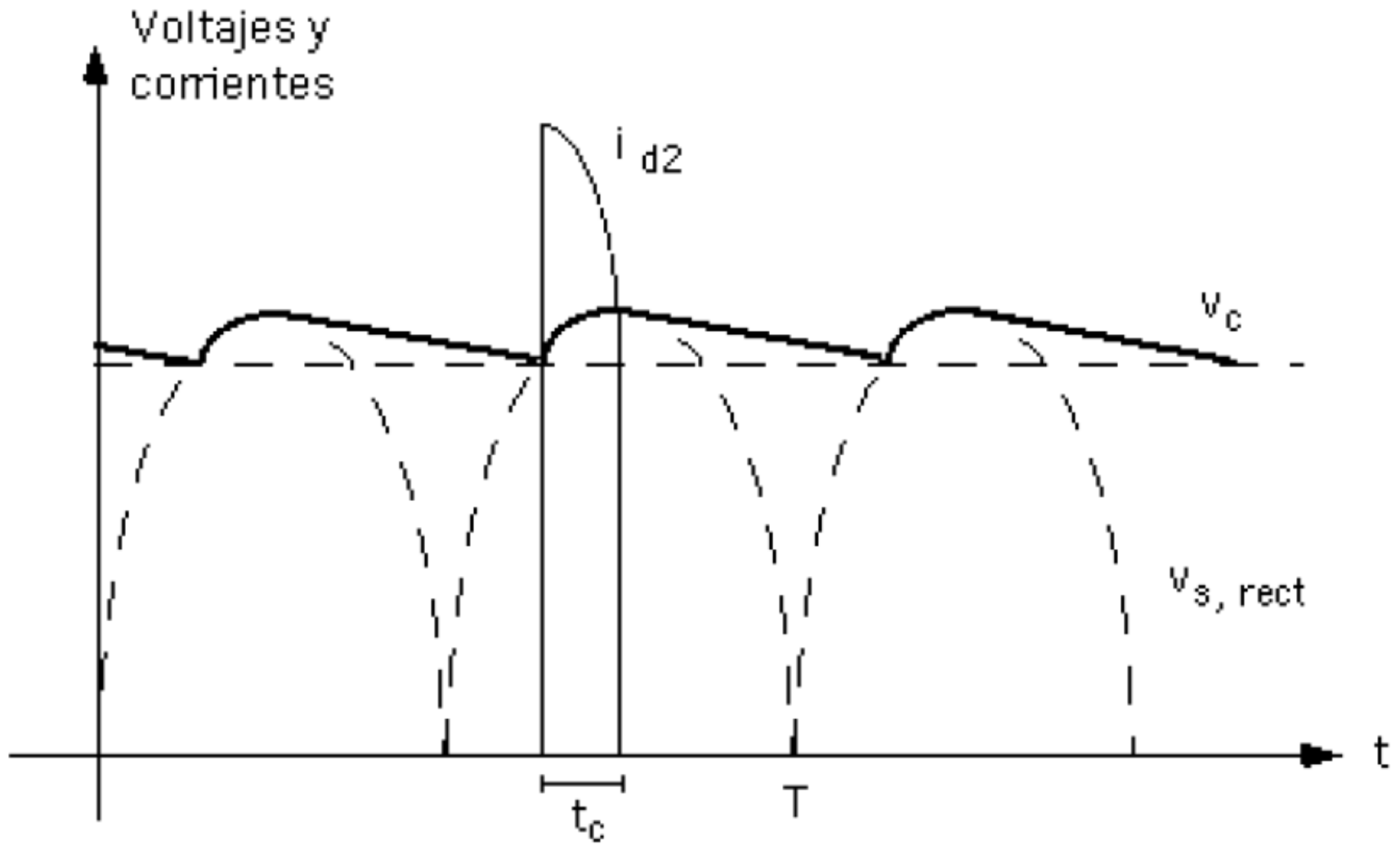
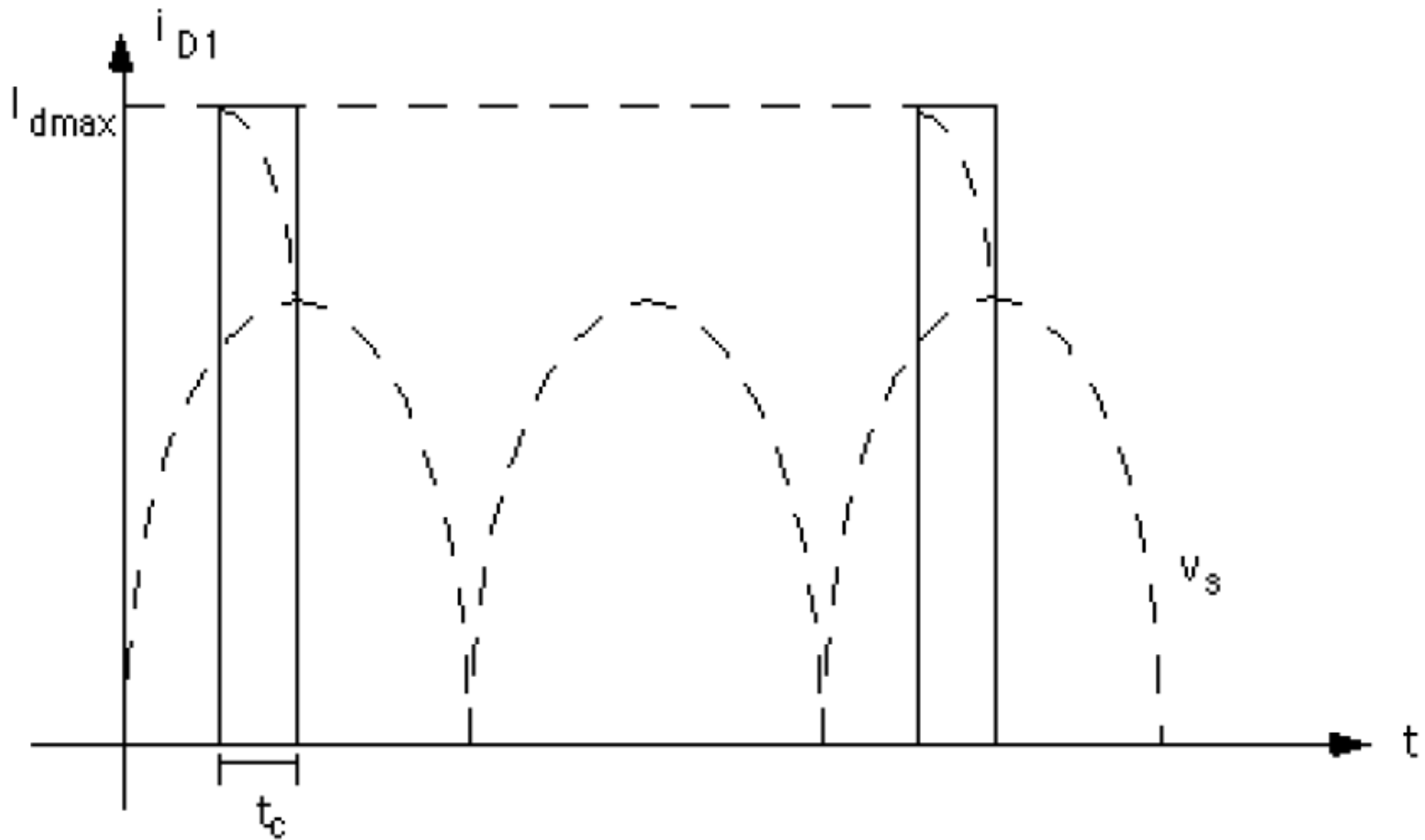
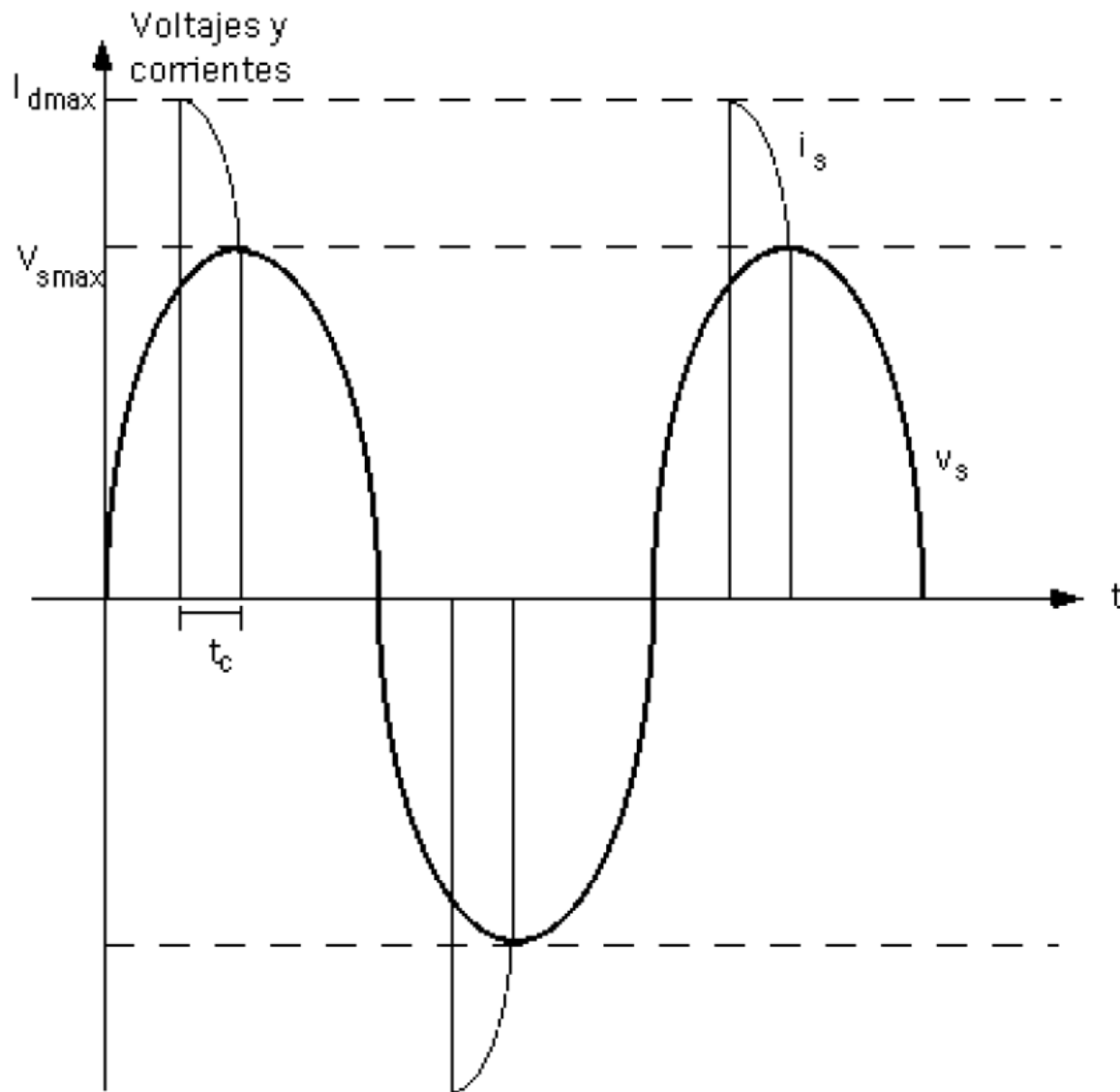


DIAGRAMA SIMPLIFICADO PARA LA CORRIENTE POR LOS DIODOS CICLO POSITIVO



$$I_{d \max} = C \omega V_{\max} \cos \omega t_0 + I_{r \max}$$

FORMA DE ONDA DEL VOLTAJE Y LA CORRIENTE EN EL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR



CORRIENTE Y POTENCIA PROMEDIO EN LOS DIODOS

Ecuación de valor promedio:

$$I_{d\text{prom}} = \frac{1}{T} \int_0^t i(t) dt$$

Aplicando la expresión:

$$I_{d\text{prom}} = \frac{I_{d\text{max}} t_c}{T}$$

Ecuación potencia promedio:

$$P_{d\text{prom}} = \frac{1}{T} \int_0^t i(t)v(t) dt$$

Aplicando la expresión:
(aquí tenemos que suponer un V_d constante, distinto de cero)

$$P_{d\text{prom}} = \frac{I_{d\text{max}} V_d t_c}{T}$$

ANÁLISIS CUANDO LOS DIODOS NO CONDUCEN

Consideramos que la corriente en la carga permanece prácticamente constante, por lo que la descarga del condensador es lineal.

$$I_{r\max} = C \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Variación de voltaje: Voltaje de rizado $\Delta V = V_r = V_{\max} - V_{\min}$

Del diagrama se observa que $\Delta t = t_{\text{condensador}} = \frac{T}{4} + t_0 \approx \frac{T}{2}$

Por lo tanto:

$$I_{r\max} = C \frac{\Delta V}{\Delta t} = C \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\frac{T}{4} + t_0} \approx C \frac{V_r}{\frac{T}{2}} = 2fCV_r$$

$$V_r = \frac{I_{r\max}}{2fC} = \frac{V_{\max}}{2fRC} \quad \text{siendo } f = 60\text{Hz}$$

RESUMEN DE LAS FÓRMULAS PARA ANALIZAR UN RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA CON FILTRO CAPACITIVO

Relación del transformador $n = V_p/V_s$

Voltaje máximo en la carga $V_{\max} = V_s - 1,4V$

Corriente máxima en la carga $I_{r \max} = I_R = \frac{V_{\max}}{R}$

Voltaje mínimo en el condensador $V_{\min} = V_{\max} \text{ sen } \omega t_0$

Voltaje de rizado $V_r = V_{\max} - V_{\min} = V_{\max} (1 - \text{sen } \omega t_0)$

Tiempo de conducción de los diodos: $\Delta t = t_c = \frac{T}{4} - t_0$

Corriente máxima por los diodos: $I_{d \max} = C\omega V_{\max} \cos \omega t_0 + I_{r \max}$

Corriente promedio por los diodos

$$I_{d \text{prom}} = \frac{I_{d \max} t_c}{T}$$

Potencia promedio en los diodos

$$P_{d \text{prom}} = \frac{I_{d \max} V_d t_c}{T}$$

Corriente máxima en la carga
para onda completa

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max} - V_{\min}}{\frac{T}{4} + t_0} = C \frac{V_r}{\frac{T}{4} + t_0}$$

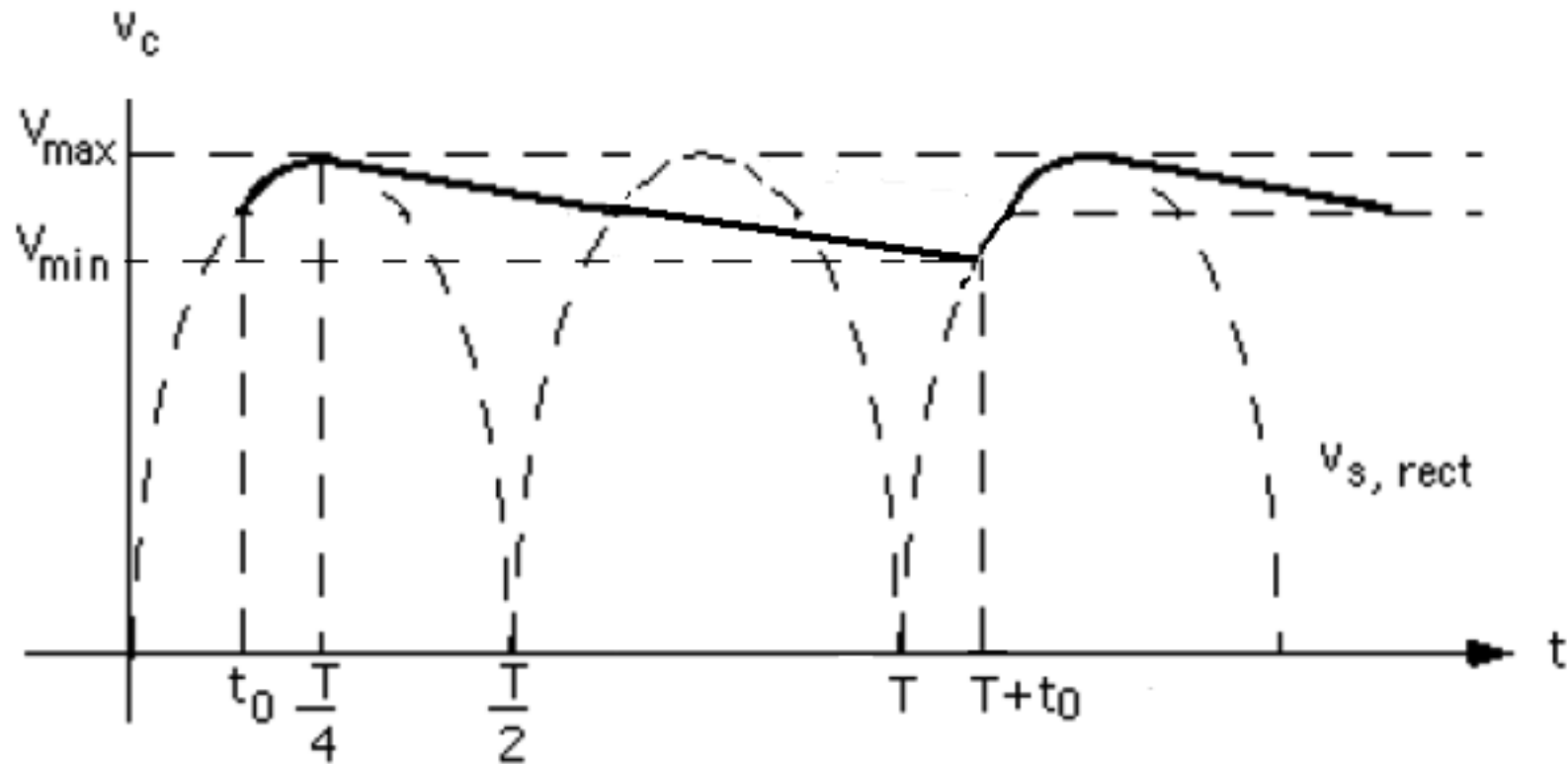
Voltaje de rizado
para onda completa

$$V_r = \frac{I_{r \max} \left(\frac{T}{4} + t_0 \right)}{C}$$

Valor del condensador onda completa

$$C = \frac{I_{r \max} \left(\frac{T}{4} + t_0 \right)}{V_r}$$

METODO APLICADO AL RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA



Para los valores que se tengan de V_{\max} y V_{\min} la única diferencia con el caso del rectificador de onda completa es el tiempo en el que no conduce el diodo, el cual ahora es:

$$\Delta t = \frac{T}{2} + \frac{T}{4} + t_0 = \frac{3T}{4} + t_0$$

Por lo tanto, la ecuación para la corriente de carga máxima es:

$$I_{r \max} = C \frac{V_{\max}(1 - \operatorname{sen} \omega t_0)}{\frac{3T}{4} + t_0}$$

El voltaje de rizado es

$$V_r = \frac{I_{r \max} \left(\frac{3T}{4} + t_0 \right)}{C}$$

Y el valor del condensador es

$$C = \frac{I_{r \max} \left(\frac{3T}{4} + t_0 \right)}{V_r}$$

Las expresiones para la corriente máxima, la corriente promedio y la potencia promedio en cada diodo son las mismas.

FÓRMULAS SIMPLIFICADAS

Fórmula simplificada $I_{r \max}$ para onda completa $I_{r \max} = 2CfV_r$ siendo $f = 60\text{Hz}$

Fórmula simplificada V_r para onda completa $V_r = \frac{V_{\max}}{2fRC}$ siendo $f = 60\text{Hz}$

Fórmula simplificada condensador para onda completa $C = \frac{V_{\max}}{2fRV_r}$ siendo $f = 60\text{Hz}$

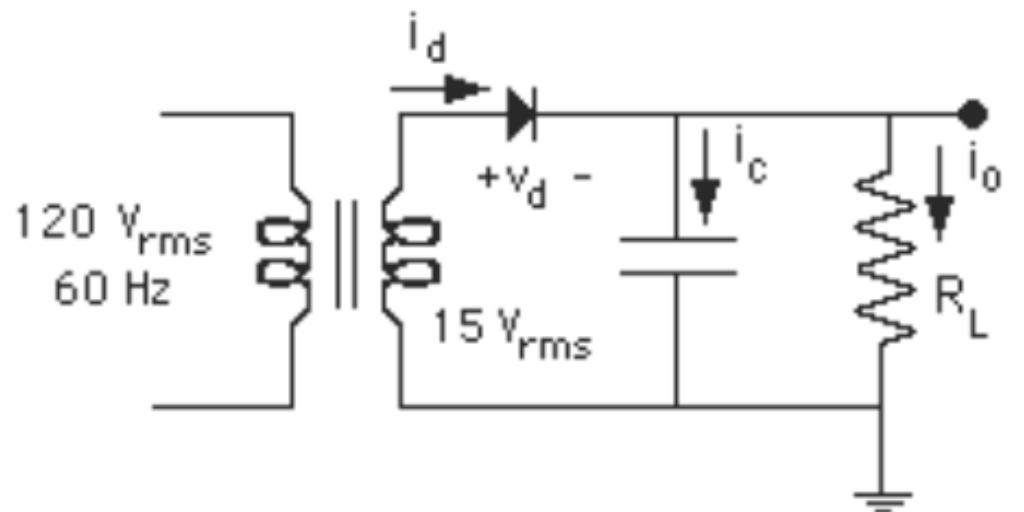
Fórmula simplificada $I_{r \max}$ para media onda $I_{r \max} = CfV_r$ siendo $f = 60\text{Hz}$

Fórmula simplificada V_r para media onda $V_r = \frac{V_{\max}}{fRC}$ siendo $f = 60\text{Hz}$

Fórmula simplificada condensador para media onda $C = \frac{V_{\max}}{fRV_r}$ siendo $f = 60\text{Hz}$

PROBLEMA 5

En el rectificador de media onda con filtro capacitivo mostrado en la figura, se conecta una resistencia de 300Ω . El diodo tiene un voltaje de conducción de $0,7V$. Determine el valor del condensador para obtener un factor de rizado de 15% . Determine el voltaje pico en el primario del transformador, el voltaje pico en el secundario del transformador, el voltaje pico en la carga, la corriente pico y la corriente promedio en el diodo (y por lo tanto también en el secundario del transformador), el voltaje inverso que soporta el diodo, el tiempo de conducción del diodo, y la potencia promedio en el diodo, la corriente rms y la potencia aparente en el secundario del transformador.



$$V_{p \max} = \sqrt{2} \times 120 V_{rms} = 169,71 V$$

$$V_{s \max} = \sqrt{2} \times 15 V_{rms} = 21,21 V$$

$$V_{c \max} = V_{r \max} = 21,21 V - 0,7 V = 20,51 V$$

$$I_{r \max} = \frac{20,51 V}{300 \Omega} = 68,37 mA$$

$$r = 0,15 = \frac{V_r}{V_{c \max}} \Rightarrow V_r = 0,15 \times 20,51 V = 3,08 V$$

Fórmula aproximada $C = \frac{V_{\max}}{f R V_r}$ siendo $f = 60 Hz$

$$C = \frac{V_{\max}}{f R V_r} = \frac{20,51 V}{60 Hz \times 300 \Omega \times 3,08 V} = 370 \mu F$$

Para los otros parámetros solicitados hay que calcular to

$$V_{C \max} = 20,51V \quad V_r = 3,08V$$

$$V_{C \min} = 20,51V - 3,08V = 17,43V$$

$$V_{C \min} = V_{C \max} \text{sen} \omega t_o \Rightarrow \text{sen} \omega t_o = \frac{V_{C \min}}{V_{C \max}} = \frac{17,43V}{20,51V} = 0,85$$

$$\omega t_o = \text{arcsen} \left(\frac{V_{C \min}}{V_{C \max}} \right) = \text{arcsen}(0,85) = 1,02 \text{ calculadora en radianes}$$

$$t_o = \frac{1,02}{2\pi 60 \text{Hz}} = 2,69 \text{ms}$$

$$\mathbf{t_o = 2,69 \text{ ms}}$$

Este valor debe dar siempre menor de T/4, es decir 4,17 ms

Conocido to podemos calcular el condensador con la fórmula sin aproximaciones

$$C = \frac{I_{r \max} \left(\frac{3T}{4} + t_o \right)}{V_r} = \frac{68,37mA \left(\frac{3 \times 16,66}{4} + 2,69 \right) ms}{3,08V} = 337,2 \mu F$$

El valor del condensador da menor que con el método aproximado

Corriente pico en el diodo y en el secundario del transformador

$$I_{d \max} = C \omega V_{\max} \cos \omega t_o + I_{r \max}$$

$$I_{d \max} = (370 \mu F) \times (2\pi 60 Hz) \times (20,51V) \cos(2\pi 60 Hz \times 2,69 ms) + 68,37 mA$$

$$I_{d \max} = 1,51A + 68,37 mA = 1,58A$$

La corriente pico en el diodo es muy superior a la máxima corriente de la carga. El diodo debe tener la capacidad de manejar estos picos de corriente. Los diodos de la serie 1N4001 pueden soportar hasta 30 A pico.

Tiempo de conducción del diodo

$$\Delta t = t_c = \frac{T}{4} - t_0 = 4,17ms - 2,69ms = 1,48ms$$

Corriente promedio en el diodo y en el secundario del transformador

$$I_{dprom} = \frac{I_{dmax} t_c}{T} = \frac{1,58A \times 1,48ms}{16,66ms} = 140,4mA$$

Potencia promedio en el diodo

$$P_{dprom} = \frac{I_{dmax} V_d t_c}{T} = \frac{1,58A \times 0,7 \times 1,48ms}{16,66ms} = 98,25mW$$

Voltaje inverso que soporta el diodo

PIV = $V_{psec} = 21,21V$. El diodo 1N4001 es adecuado

Corriente rms en el secundario transformador

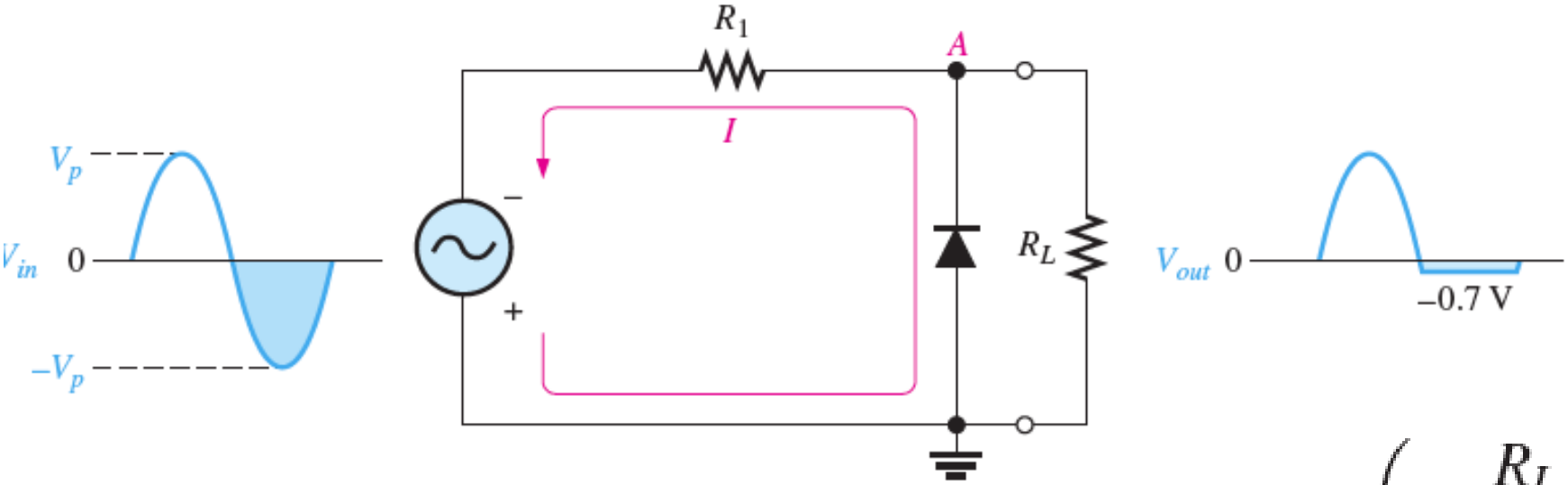
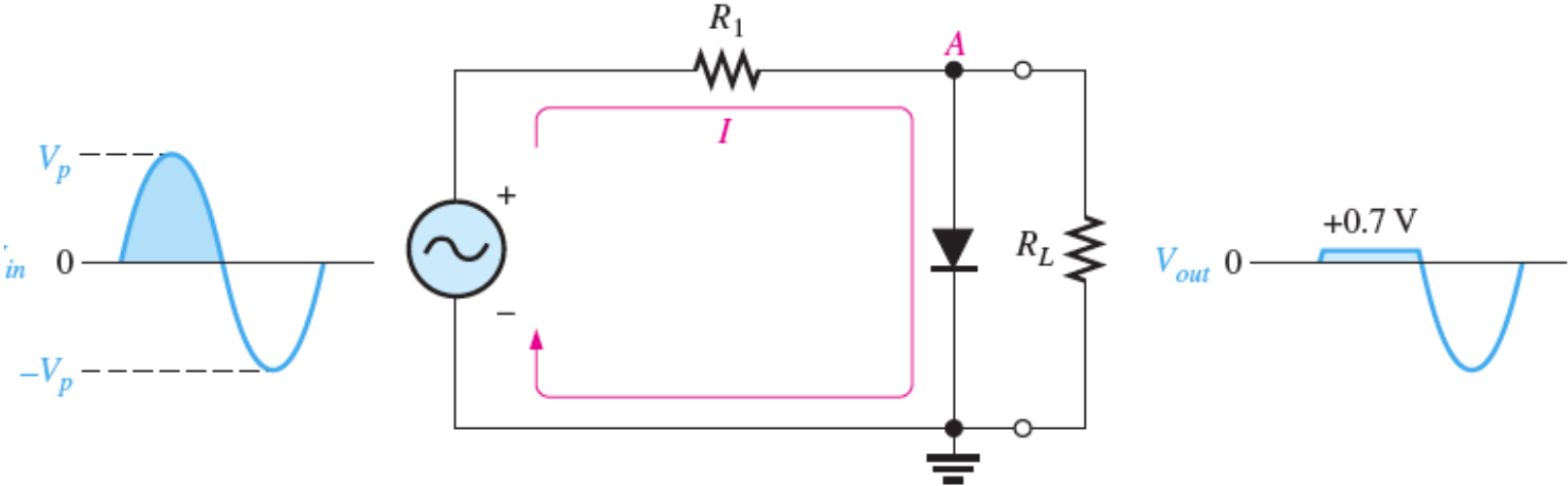
Es monopolar

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{(I_{d \max})^2 t_c}{T}} = \sqrt{\frac{(1,58 A)^2 1,48 ms}{16,66 ms}} = 0,47 A$$

Potencia aparente en el secundario transformador

$$P_{aparente_{sec}} = V_{rms_{sec}} I_{rms_{sec}} = 15 V \times 0,47 A = 7,06 VA$$

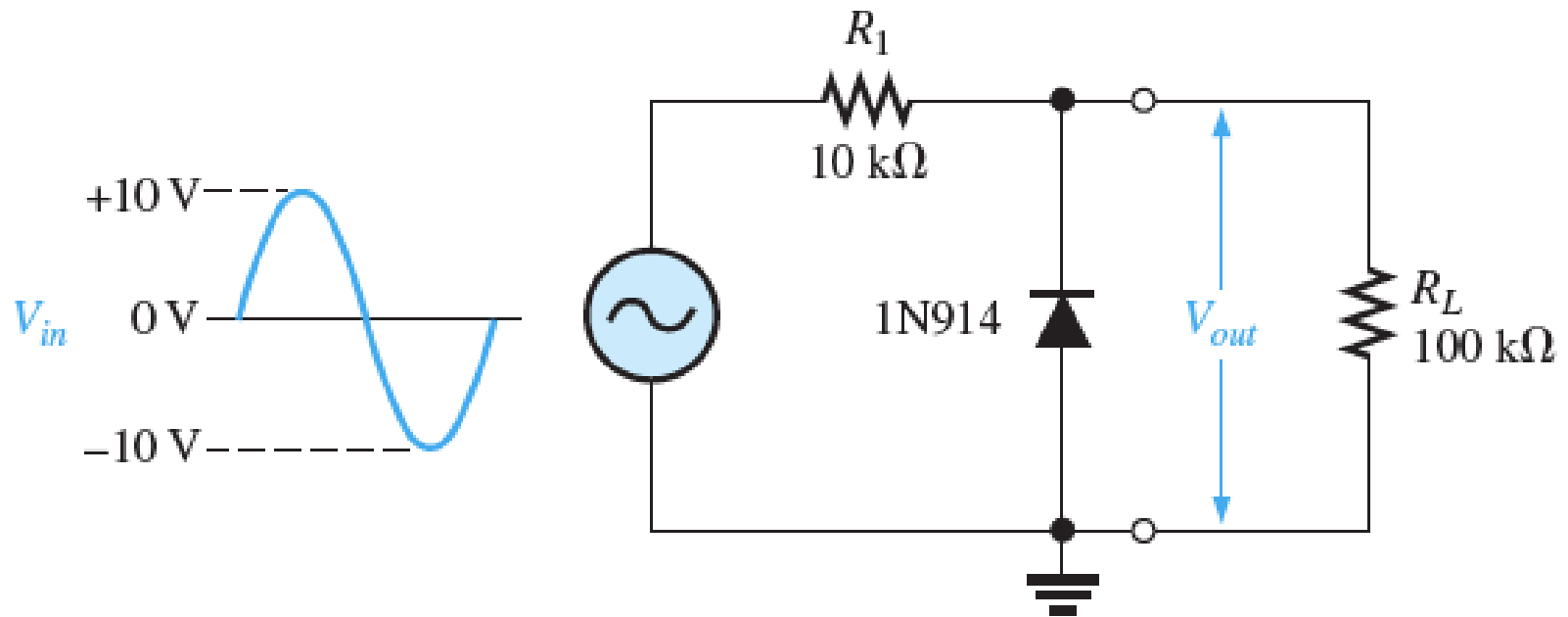
CIRCUITOS LIMITADORES CON DIODOS



$$V_{out} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{in}$$

PROBLEMA 6

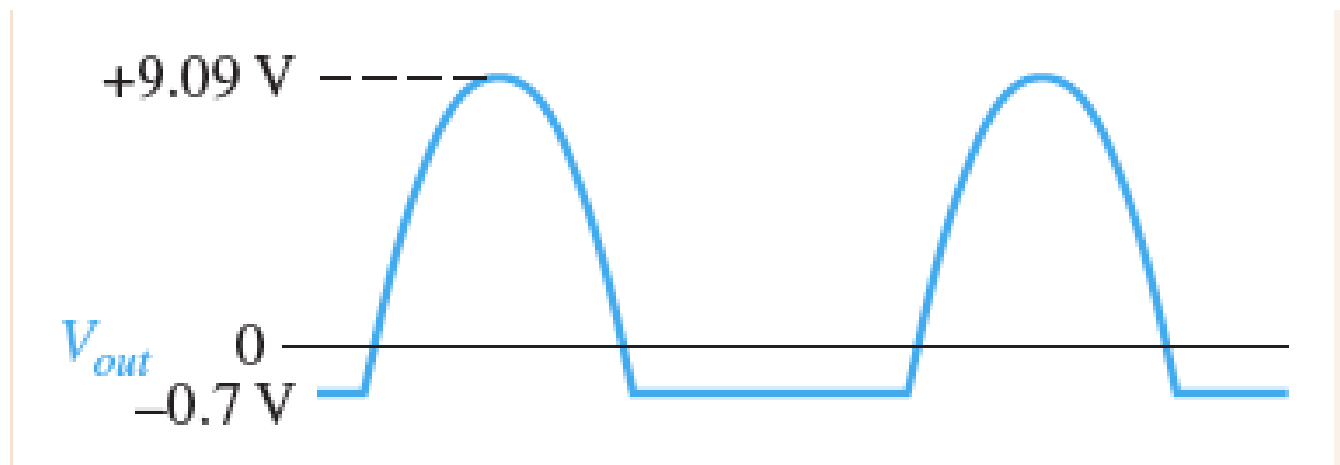
Dibuje la forma de onda de salida del circuito mostrado en la figura



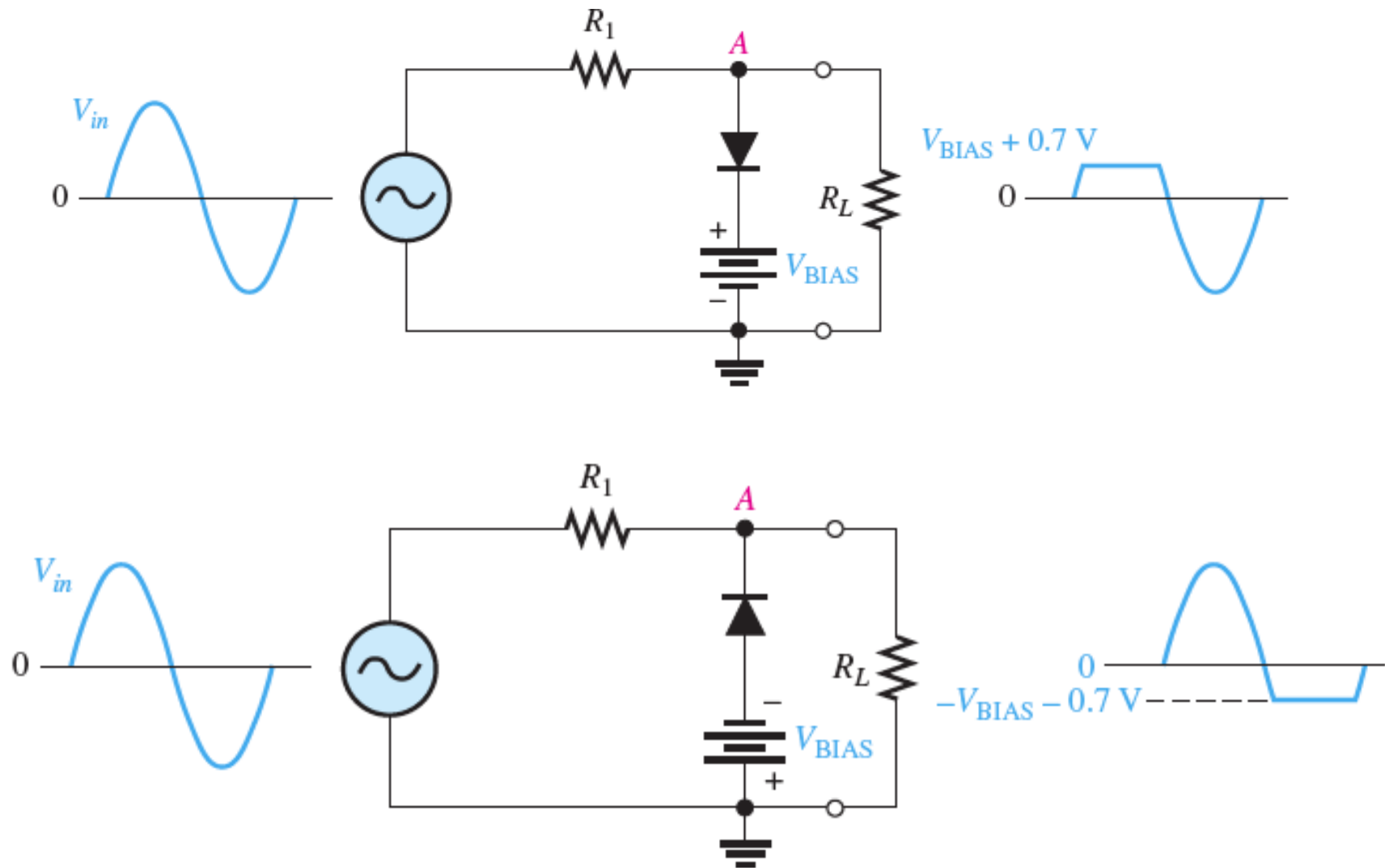
En el semiciclo positivo el diodo está polarizado en inverso. El voltaje de salida tiene la misma forma de onda que el de entrada y su valor está definido por el divisor de voltaje entre R_1 y R_L .

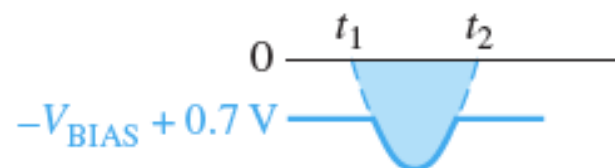
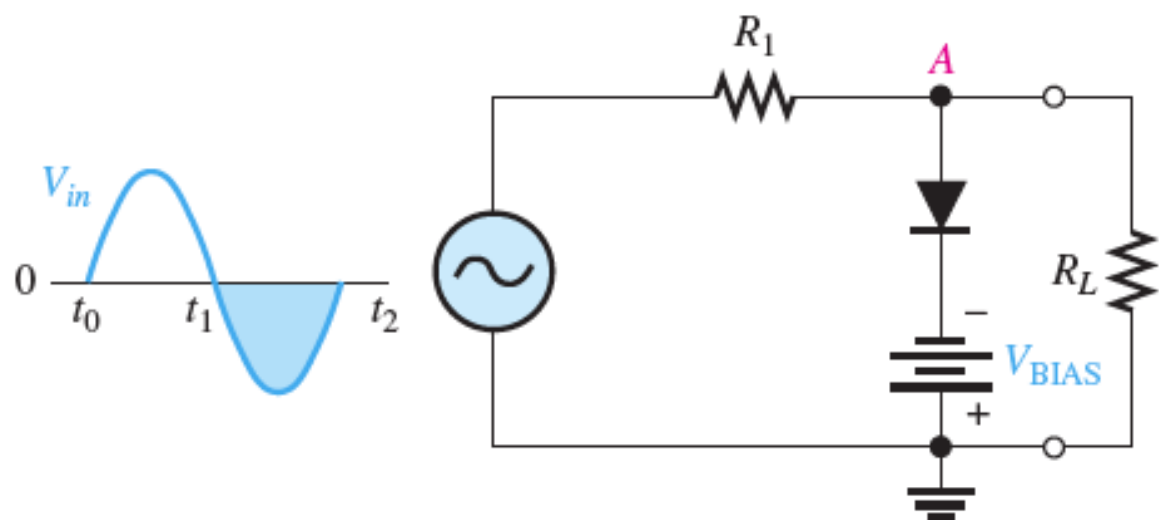
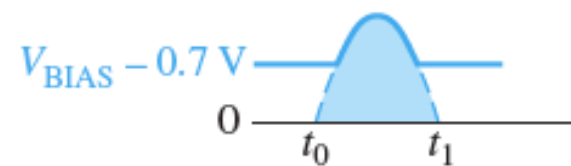
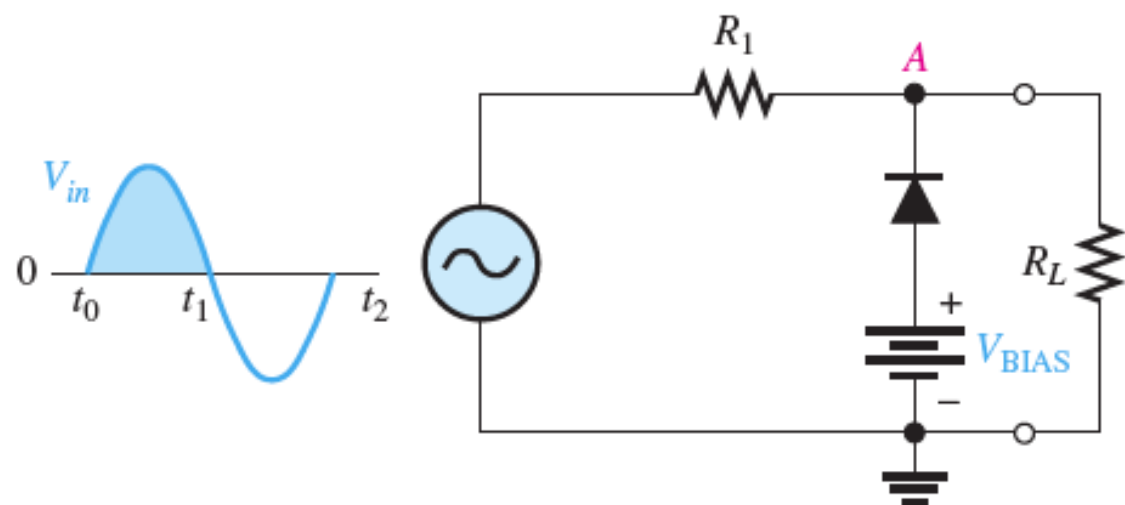
$$V_{p(out)} = \left(\frac{R_L}{R_1 + R_L} \right) V_{p(in)} = \left(\frac{100 \text{ k}\Omega}{110 \text{ k}\Omega} \right) 10 \text{ V} = 9.09 \text{ V}$$

En el semiciclo negativo el diodo empieza a conducir cuando la entrada es $-0,7\text{V}$ y fija el voltaje de salida en este valor.



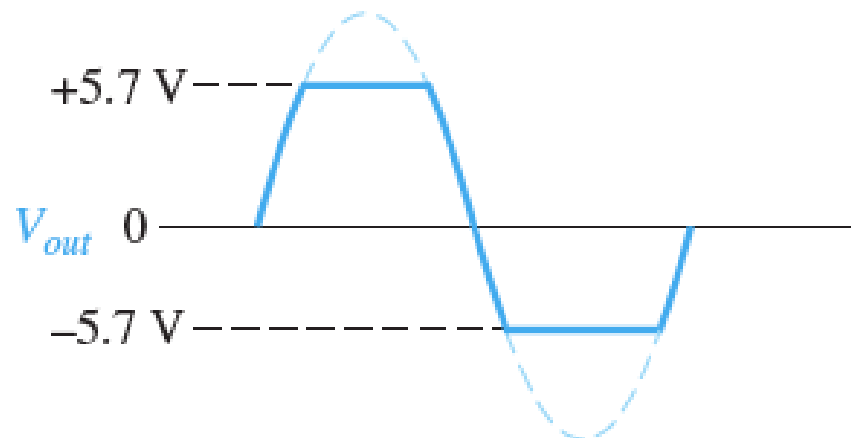
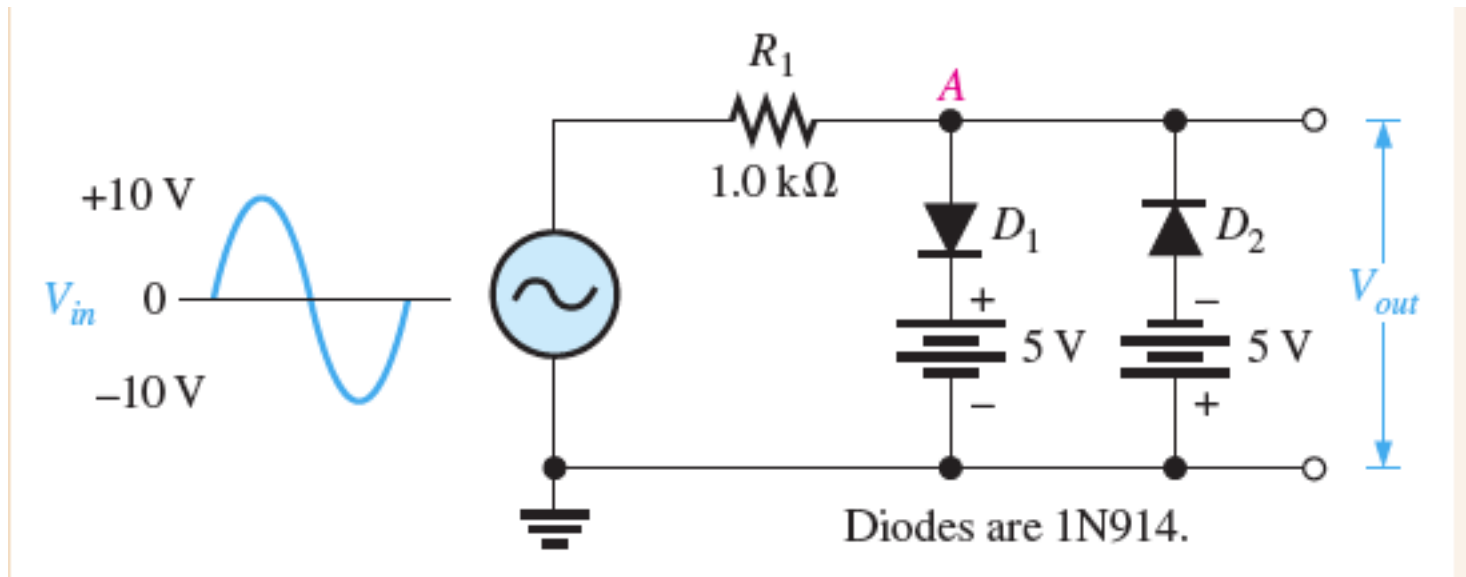
CIRCUITOS LIMITADORES CON AJUSTE DE NIVEL



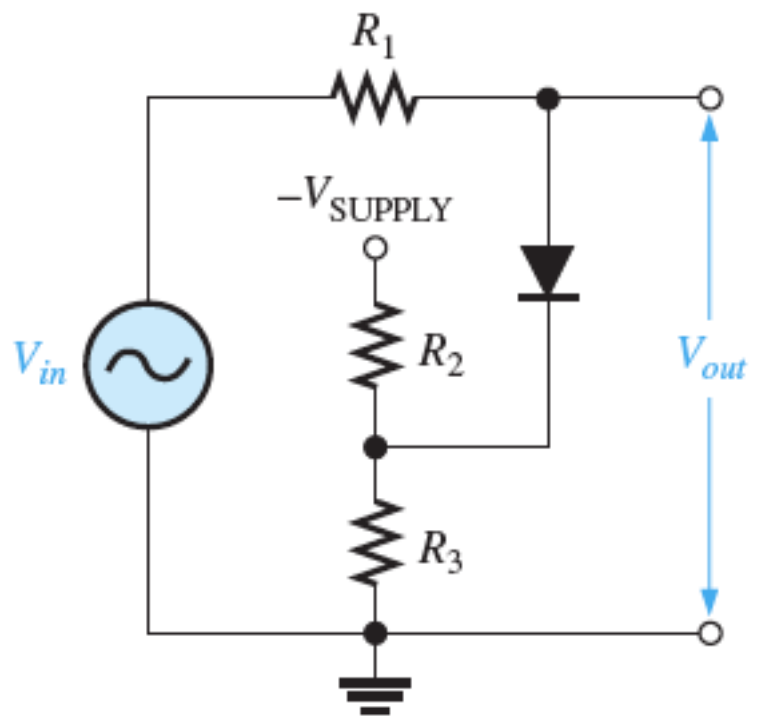


PROBLEMA 7

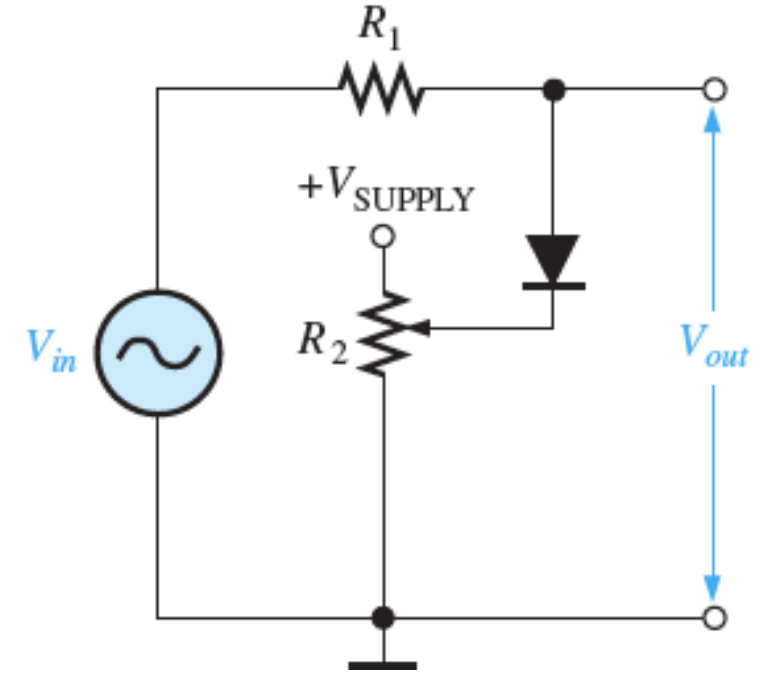
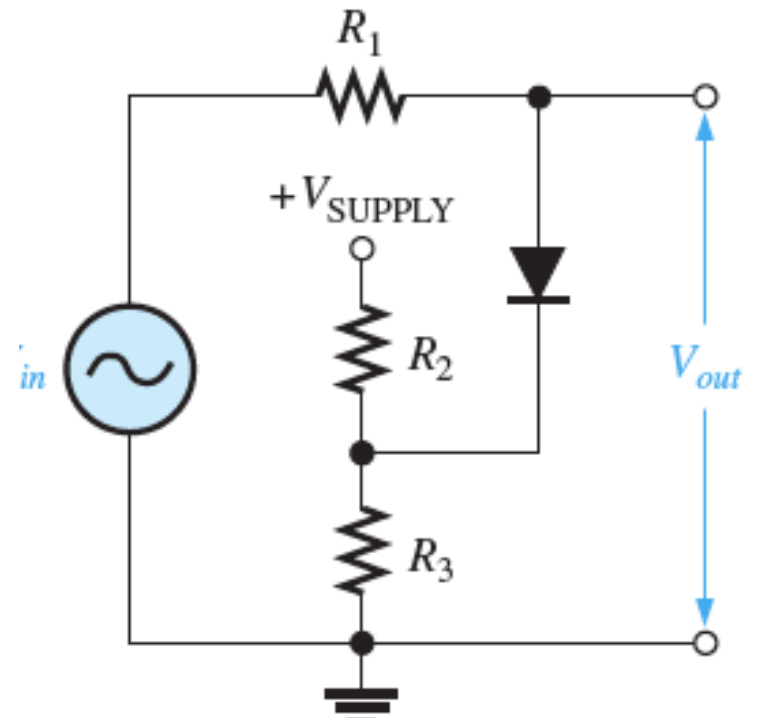
Dibuje la forma de onda del voltaje de salida del circuito



CIRCUITOS LIMITADORES CON AJUSTE MEDIANTE DIVISOR DE VOLTAJE

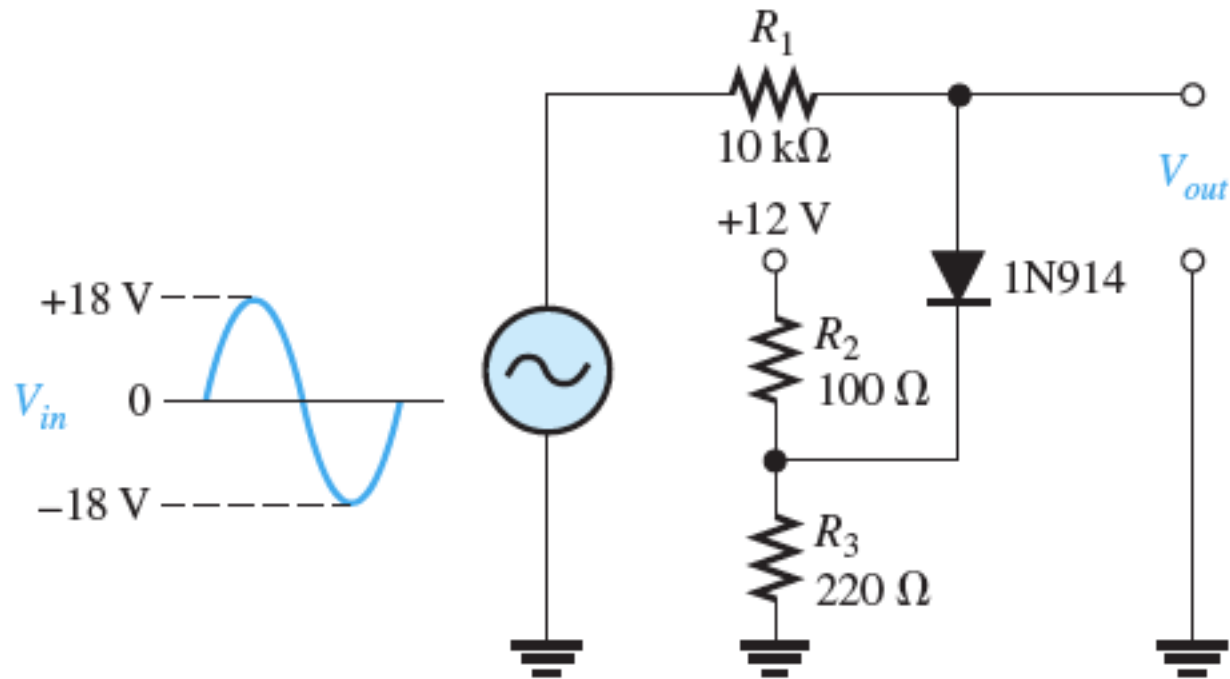


$$V_{\text{BIAS}} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) V_{\text{SUPPLY}}$$



PROBLEMA 8

Dibuje la forma de onda del voltaje de salida del circuito

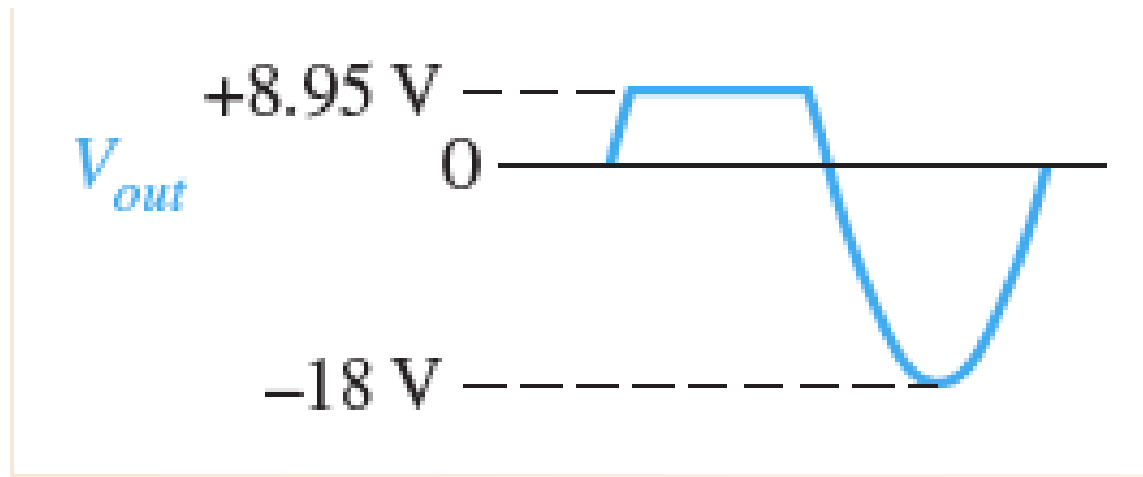


Este circuito es un limitador positivo.

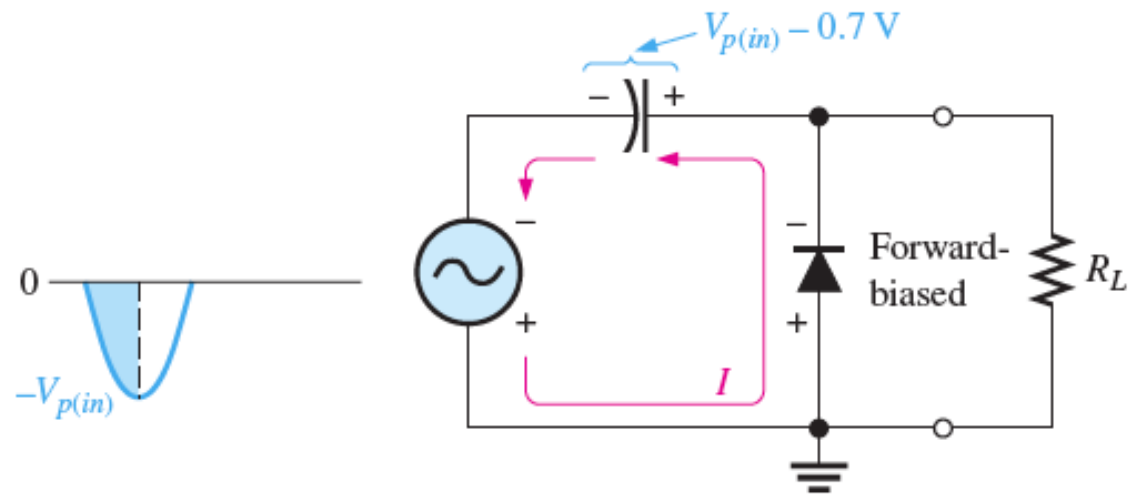
El voltaje límite está dado por:

$$V_{\text{BIAS}} = \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) V_{\text{SUPPLY}} = \left(\frac{220 \Omega}{100 \Omega + 220 \Omega} \right) 12 \text{ V} = 8.25 \text{ V}$$

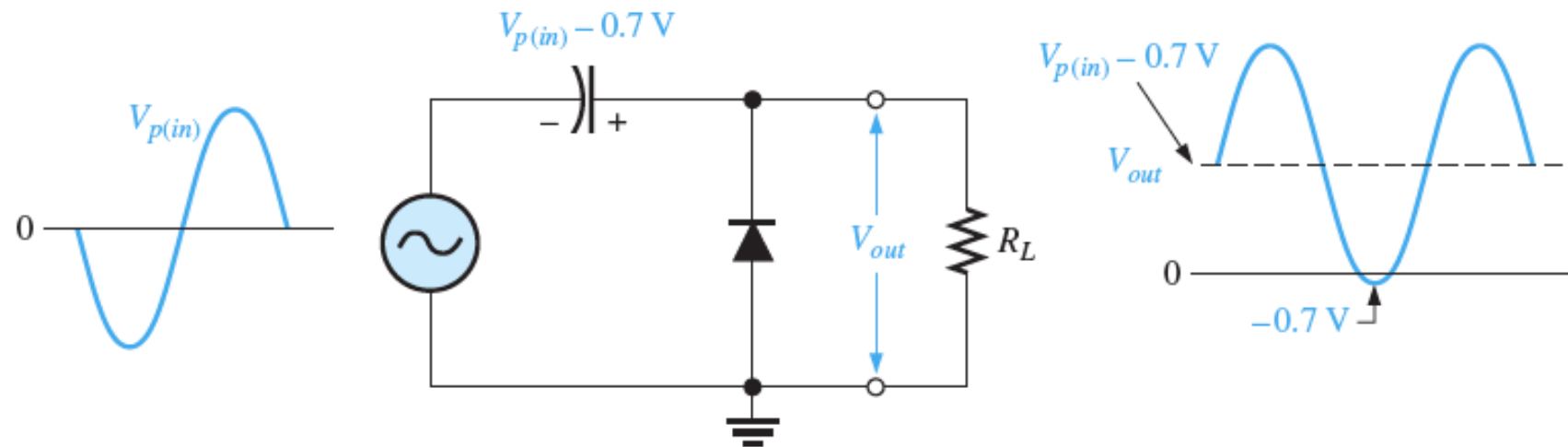
Forma de onda de salida:



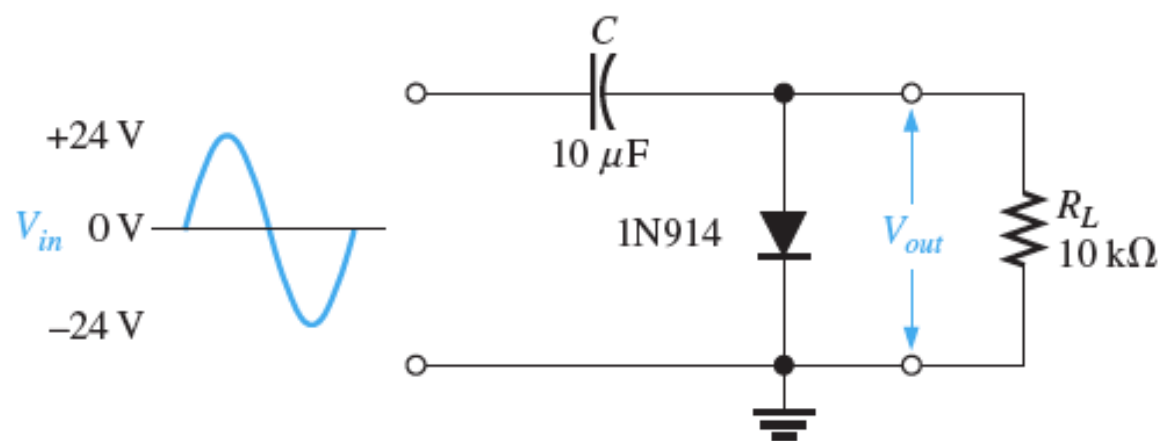
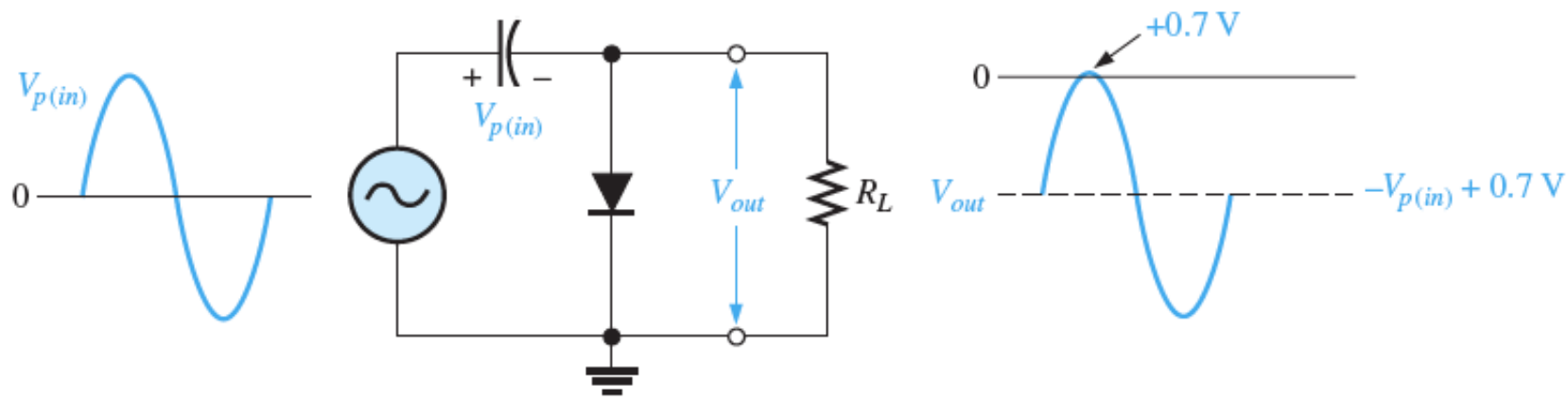
CIRCUITOS CAMBIADORES DE NIVEL (CLAMPERS)



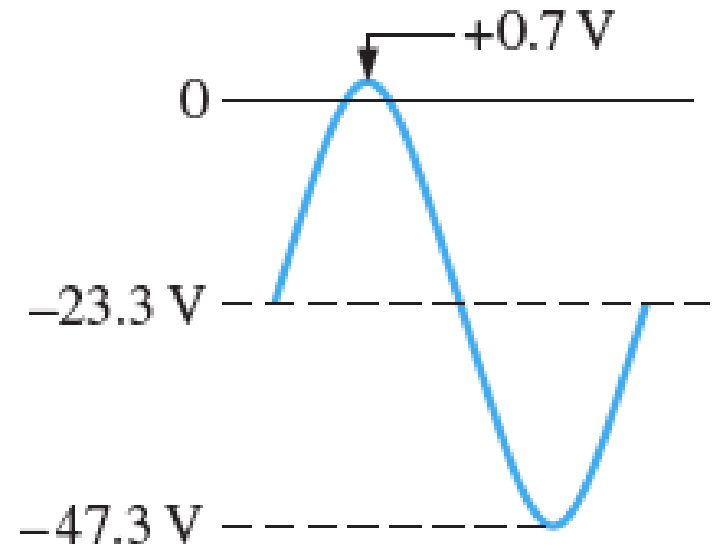
(a)



(b)

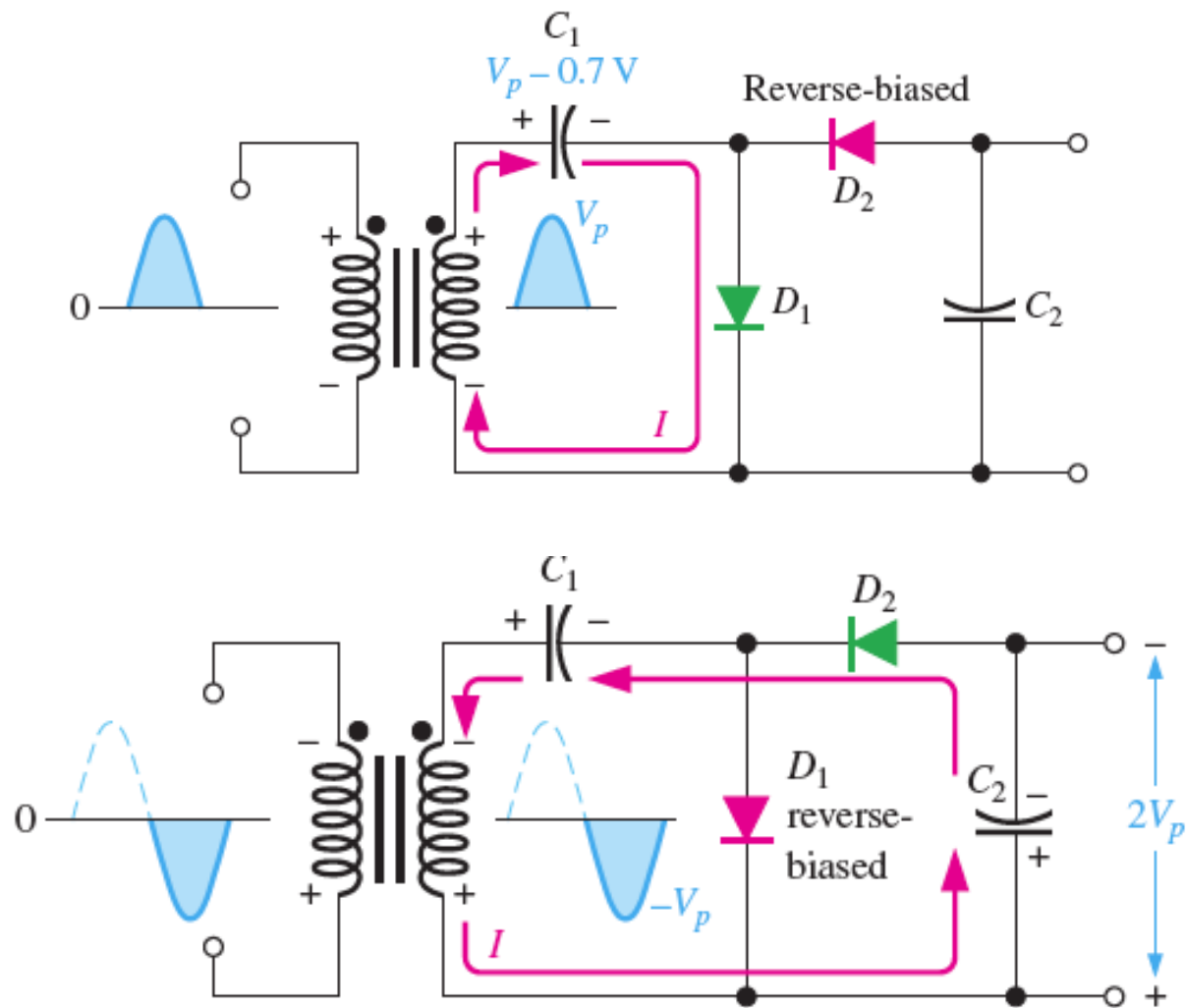


$$V_{DC} \cong -(V_{p(in)} - 0.7 \text{ V}) = -(24 \text{ V} - 0.7 \text{ V}) = -23.3 \text{ V}$$



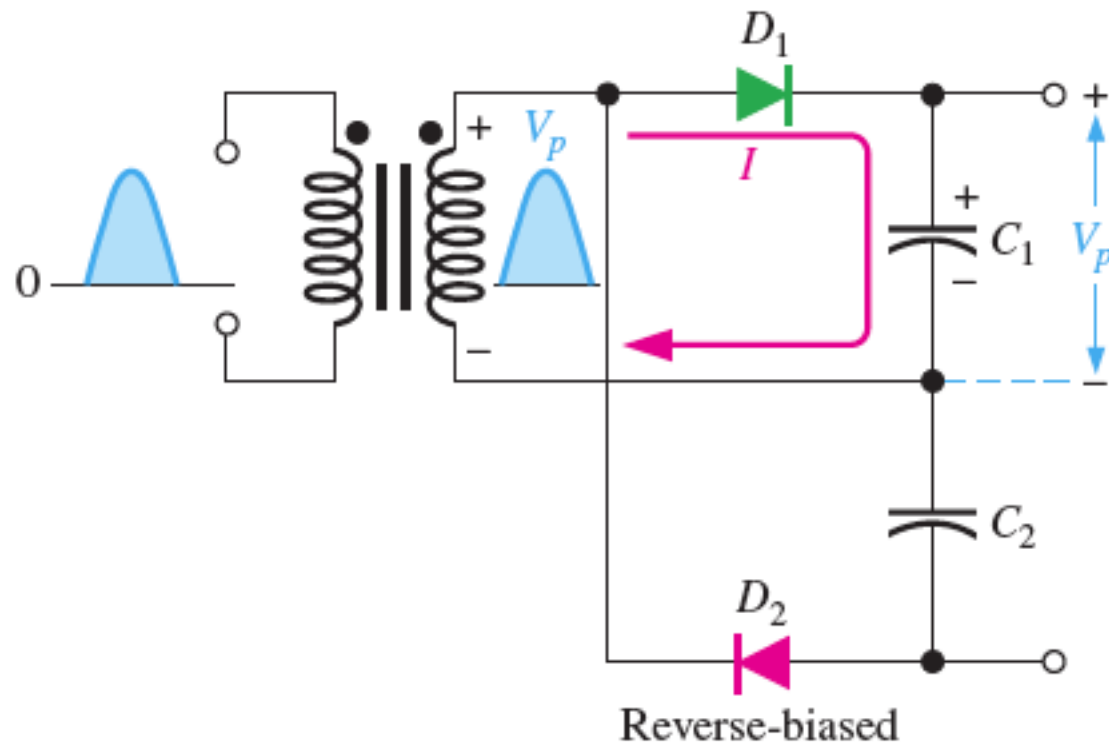
CIRCUITOS MULTIPLICADORES DE VOLTAJE

Doblador de voltaje



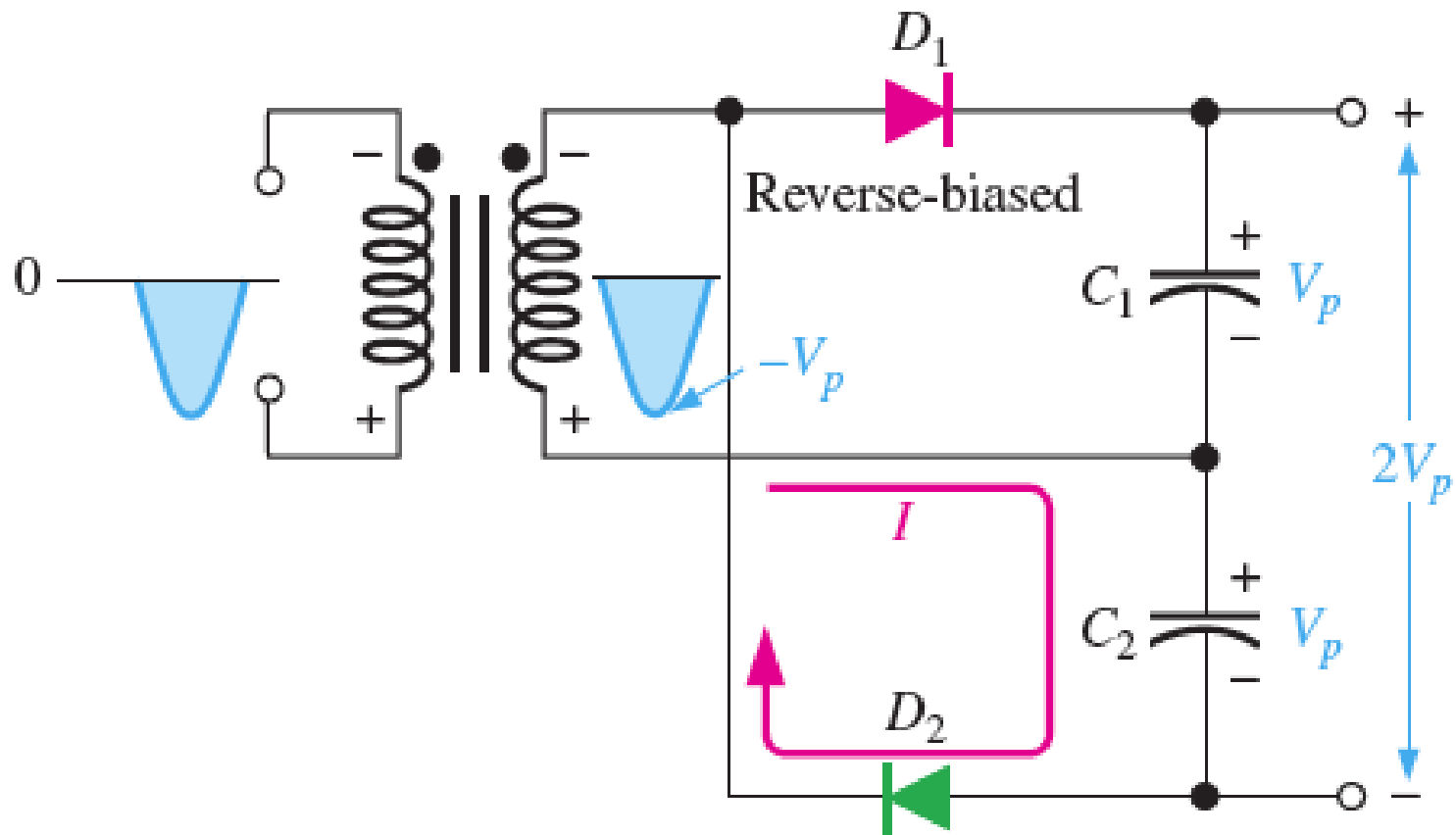
Doblador de voltaje onda completa

Semiciclo positivo

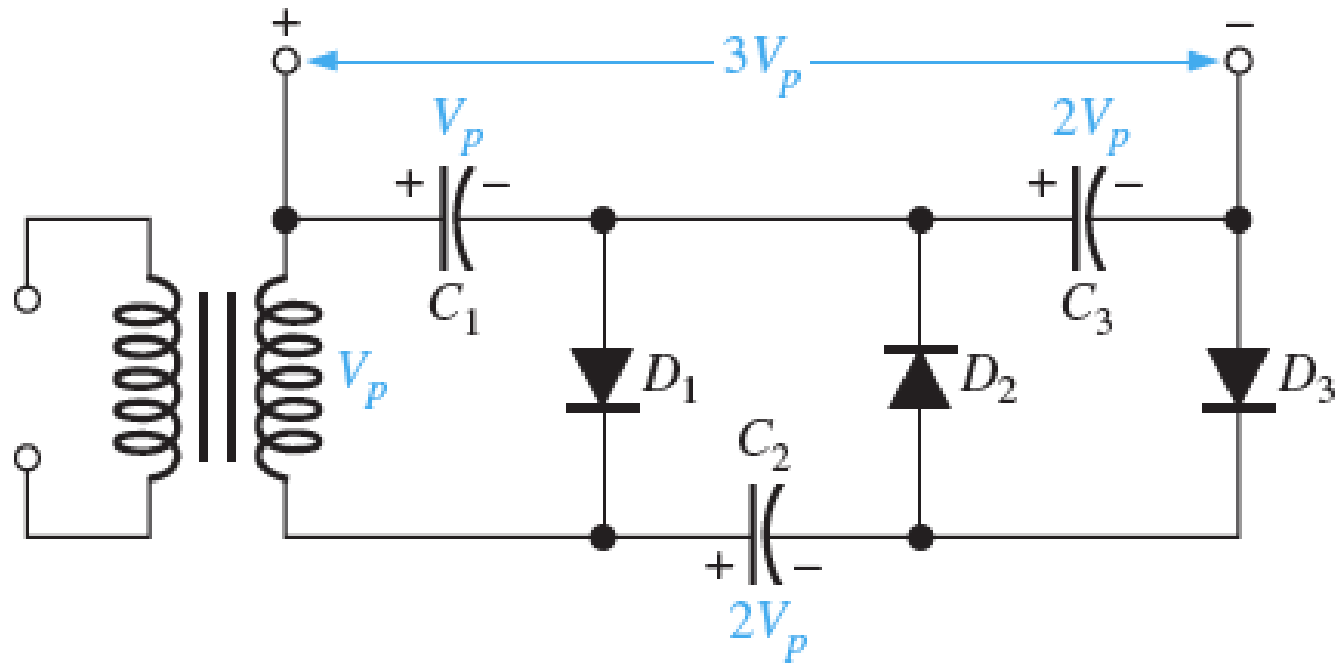


Doblador de voltaje onda completa

Semiciclo negativo

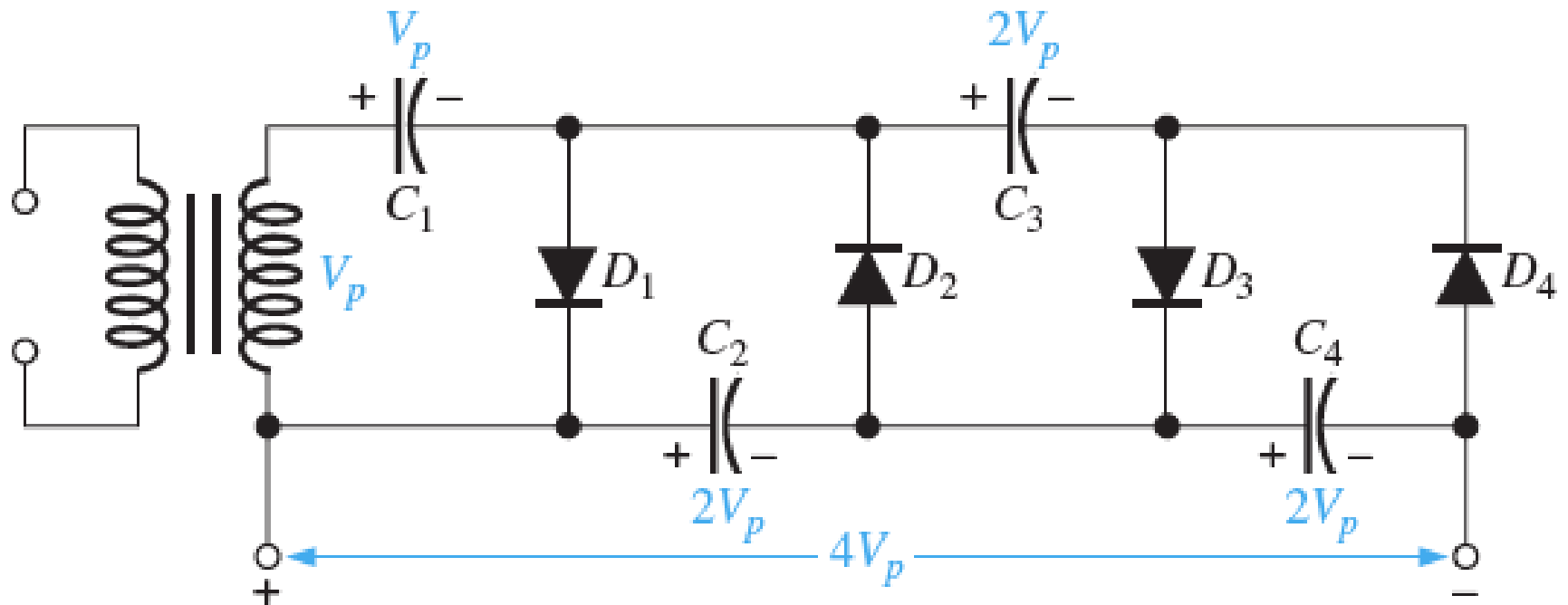


Triplicador de voltaje



$$PIV = 2V_p$$

Cuadruplicador de voltaje



$$PIV = 2V_p$$