

CAPÍTULO

5 REGULADORES DE VOLTAJE

Cuando tenemos una fuente de voltaje con filtro, la señal de salida presenta un factor de rizado grande. Además esta señal varía con las fluctuaciones de la señal de entrada (salida del transformador), por tanto se hace necesario la utilización de una etapa posterior llamada "Regulación de voltaje".

Las características de un regulador de voltaje son:

- Disminuye notablemente el factor de rizado.
- Mantiene constante las fluctuaciones de la señal continua.
- La salida es independiente de la señal de entrada.

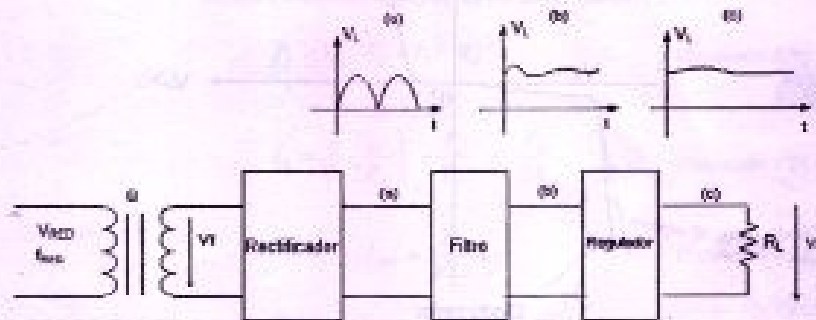


Figura 5.1 Reguladores de Voltaje

5.1. DIODO ZENER

En un diodo zener, los materiales p y n están altamente dopados, obteniendo así valores pequeños del voltaje inverso de ruptura. Este trabaja en la zona de RUPTURA INVERSA.

Diodo Señal: $V_z > 200 V$
Diodo Zener: $1.8 V < V_z < 200 V$

Tabla 5.1

En el mercado se encuentran diodos zener de hasta 200 w.

• NOTACION:

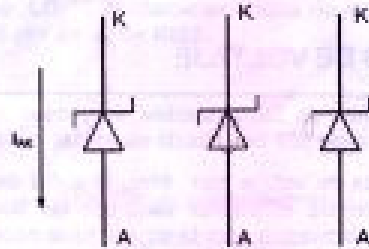


Figura 5.2 Representación de Diodo Zener

Para compararlo se lo pide con el valor del voltaje zener.

• CARACTERÍSTICA COMPARATIVA

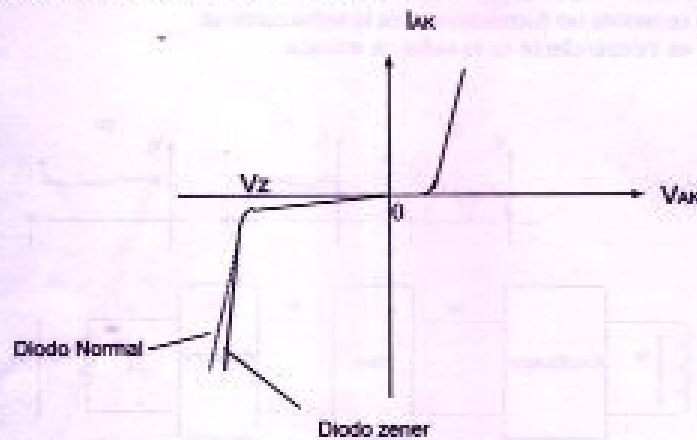


Figura 5.3 Curva Característica Comparativa entre el Diodo Zener y Diodo Normal

5.2. CIRCUITO EQUIVALENTE DEL DIODO ZENER

(En polarización inversa)

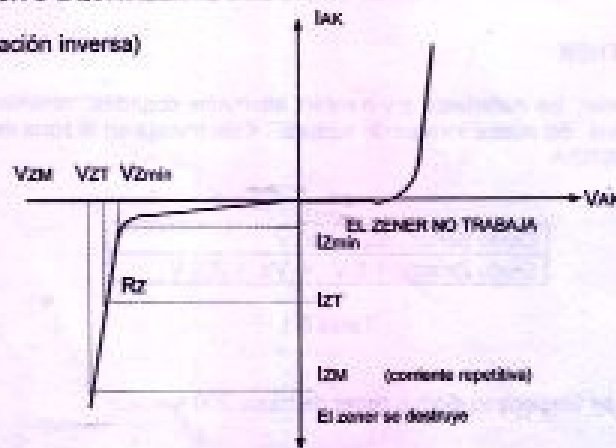


Figura 5.4 Gráfica de un diodo Zener

Para que el zener regule la I_z tiene que ser mayor que la I_{zmin} . Y para que el zener no se destruya (queme) la I_z no debe superar al valor de la I_{zmax} .

• OPERACION.

a) Si $|V_{in}| < |V_z|$

El diodo actúa como un circuito abierto.

b) Si $|V_{in}| > |V_z|$

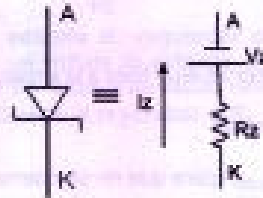


Figura 5.5 Circuito Equivalente del Diodo Zener

$$P_z = V_{zr} I_z + I_z^2 R_z \tag{Ecuación 5.1}$$

$$I_z = \sqrt{\left(\frac{V_{zr}}{2R_z}\right)^2 + \frac{P_z}{R_z}} - \frac{V_{zr}}{2R_z} \tag{Ecuación 5.2}$$

$$I_{zmr} \approx \frac{P_z}{V_{zr}} \tag{Ecuación 5.3}$$

5.3 DIODO ZENER COMO REGULADOR DE VOLTAJE

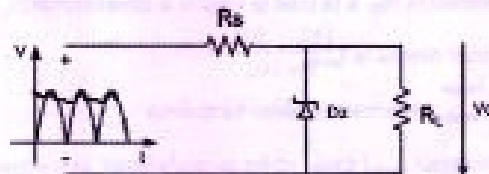


Figura 5.6 Circuito del Diodo Zener como Regulador de Voltaje

La aplicación principal del diodo zener es como regulador de voltaje, el voltaje en la carga permanecerá constante dentro de un intervalo de tiempo de variación de la corriente de carga.

Podemos variar el valor de R_L sin que varíe V_o .

R_s protege al zener, ya que limita la corriente que circula por el zener y por R_L .

Si consideramos variaciones de voltaje de entrada debido a variaciones en la línea a la entrada del transformador, entonces:

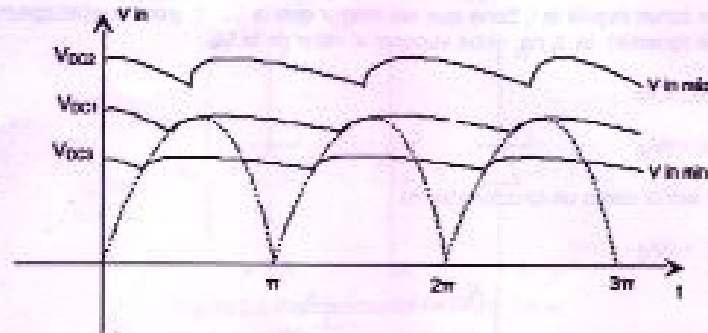


Figura 5.7 Curvas de las Variaciones en la línea a la entrada del Transformador

En resumen debemos cuidar dos cosas:

- a) Que la I_z no sea mayor que la $I_{z\text{máx}}$. (para que no se quemé el zener).

Para esto nos plantearemos las más críticas condiciones:

$$V_{in} = V_{in\text{máx}} \text{ es. decir } V_{DC2}$$

R_s debe ser calculada de tal manera que no circule por el zener la $I_{z\text{máx}}$.

$$R_s = \frac{V_{DC2}}{I} \tag{Ecuación 5.4}$$

$$R_s \geq \frac{V_{in\text{máx}} - V_z}{I_{z\text{máx}} + I_{L\text{máx}}} \tag{Ecuación 5.5}$$

Cuando consideramos que toda la corriente se va por el zener (sin carga), entonces $I_{L\text{máx}} \rightarrow 0$.

Supongamos una resistencia R_{S1} a la cual la vamos a dimensionar:

- $R_{S1} = R_s$: Por el zener circula la $I_{z\text{máx}}$.
- $R_{S1} > R_s$: La $I_z < I_{z\text{máx}}$.
- $R_{S1} < R_s$: La $I_z > I_{z\text{máx}}$, entonces el zener se quema

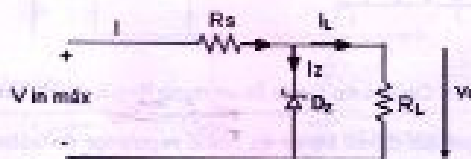


Figura 5.8 Representación de las Corrientes en un Circuito con Diodo Zener

- b) Ahora que la I_z sea mayor que la $I_{z\text{máx}}$ y el voltaje en los terminales del diodo debe ser mayor que el V_z . (para que el zener regule).

Luego las condiciones más críticas son:

$$V_{in} = V_{in\text{mín}}$$

$$I = I_Z + I_L$$

$$I_L = I - I_Z$$

$$I_{L,max} = \frac{V_{in,max} - V_Z}{R_Z} - I_{Z,min} \quad \text{(Ecuación 5.6)}$$

$$R_{L,max} = \frac{V_Z}{I_{L,max}} \quad \text{(Ecuación 5.7)}$$

EJEMPLO:

5.3.1. La tensión a la entrada al regulador presenta un voltaje de entrada máximo de 30 voltios, y un voltaje de entrada mínimo de 20 voltios. El circuito regulador se implementa en base a un diodo zener con un $V_Z = 15$ voltios, $I_{Z,max} = 100$ mA, $I_{Z,min} = 1$ mA. Diseñe el regulador si $R_Z = 5 \Omega$ (Ver figura)

Datos:

- $V_{in,max} = 30$ V
- $V_{in,min} = 20$ V
- $V_Z = 15$ V
- $I_{Z,max} = 100$ mA
- $I_{Z,min} = 1$ mA
- $R_Z = 5 \Omega$

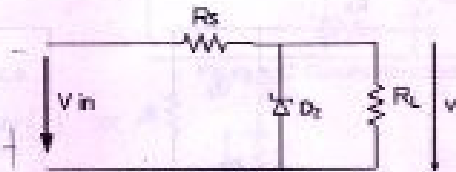


Figura 5.9 Circuito del Ejercicio 5.3.1

$$R_Z \geq \frac{(V_{in,max} - V_Z)}{(I_{Z,max} + I_{L,max})}$$

$I_{L,max} \rightarrow 0$ suponiendo que no nos dan el dato

$$R_Z = \frac{(30 - 15)}{100 \text{ mA}}$$

$$R_Z = 150 \Omega$$

Entonces, la corriente que circula por el zener será $I_{Z,max}$, luego se debe escoger una resistencia $R > R_Z$

a) Sea $R_Z = 180 \Omega$

Calcularemos el rango de los valores de la carga:

$$R_{L,max} = \frac{V_Z}{\frac{V_{in,max} - V_Z}{R_Z} - I_{Z,min}}$$

$$R_{L,max} = \frac{15}{\frac{20 - 15}{180} - 1 \text{ mA}}$$

$$R_{L,max} = 560 \Omega$$

b) Sea $R_S = 560 \Omega$

$$I_{Lmáx} = 7,93 \text{ mA}$$

$$R_{Lmáx} = 1,89 \text{ K}\Omega$$

c) Sea $R_S = 1000 \Omega$

$$I_{Lmáx} = 4 \text{ mA}$$

$$R_{Lmáx} = 3,75 \text{ K}\Omega$$

Se puede verificar que mientras se sigue aumentando el R_S se va reduciendo el rango de los valores de la carga.

• Circuito Equivalente en AC (Rizado)

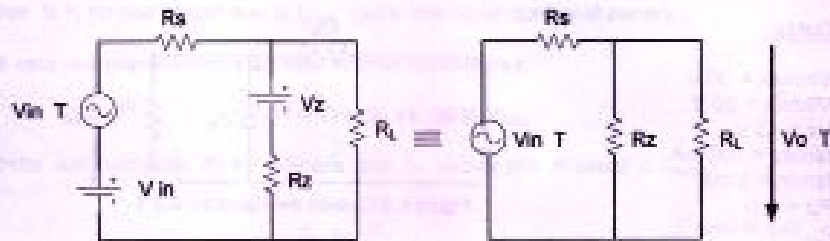


Figura 5.10 Circuitos equivalentes en AC

$V_{in T}$: Voltaje de rizado de entrada

$V_{o T}$: Voltaje de rizado a la salida

$$V_{o T} = \frac{V_{in T} (R_Z \parallel R_L)}{R_S + (R_Z \parallel R_L)}$$

Si $R_Z \ll R_L \Rightarrow R_L \parallel R_Z \approx R_Z$

Si $R_S \gg R_Z \Rightarrow R_S + R_Z \approx R_S$

$$V_{o T} \approx \frac{V_{in T} \cdot R_Z}{R_S} \tag{Ecuación 5.8}$$

La relación de R_Z / R_S es mucho menor que 1, por tanto se tiene que el voltaje de rizado a la salida es muy pequeño con relación al voltaje de rizado en la entrada.

5.4. OTRAS APLICACIONES DEL DIODO ZENER.

Además del circuito regulador de voltaje el diodo zener se lo puede utilizar como recortador de picos o en un circuito para referencia de voltaje, a continuación se indican varios de estos circuitos.

1)

a) $0 < x < \pi$

D en PD \Rightarrow c.c

Si $V_{in} > V_z$, el zener regula $\Rightarrow V_o = V_z$

Si $V_{in} < V_z$, el zener se abre $\Rightarrow V_o = V_{in}$

b) $\pi < x < 2\pi$

D en PI \Rightarrow c.a $\Rightarrow V_o = V_{in}$

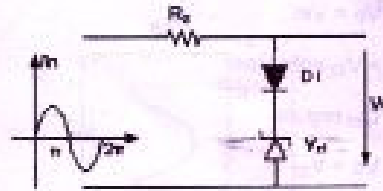


Figura 5.11 Circuito Recortador

2)

a) $0 < x < \pi$

Si $V_{in} < V_{z1} \Rightarrow D_1$ en PD c.c

D_{z1} no regula c.a

D_2 en PI c.a

$V_o = V_{in}$

Si $V_{in} > V_{z1} \Rightarrow D_1$ en PD c.c

D_{z1} regula

D_2 en PI c.a

$V_o = V_{z1}$

b) $\pi < x < 2$

D_1 en PI \Rightarrow c.a

D_2 en PD \Rightarrow c.c

Si $|V_{in}| < |V_{z2}| \Rightarrow D_{z2}$ no regula

$V_o = V_{in}$

Si $|V_{in}| > |V_{z2}| \Rightarrow D_{z2}$ regula

$V_o = V_{z2}$

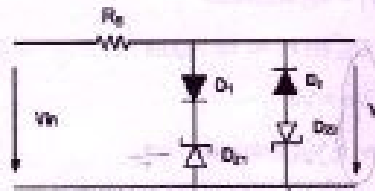


Figura 5.12 Circuito Recortador

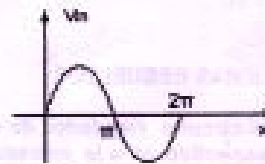


Figura 5.13 Señal Entrada

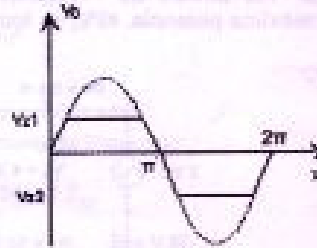


Figura 5.14 Señal de Salida

3)

a) $0 < x < \pi$

D_{z1} en PD \Rightarrow c.c

Si $V_{in} < V_{z2}$ entonces

D_{z2} en PI \Rightarrow no regula

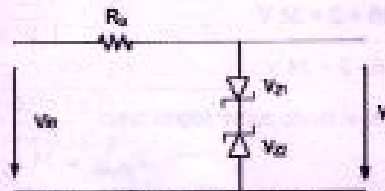


Figura 5.15 Circuito Recortador

$V_o = V_{in}$

Si $V_{in} > V_{Z2}$ entonces

D_{Z2} regula

$V_o = V_{Z2}$

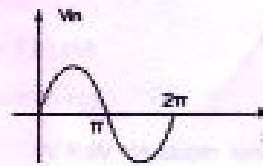


Figura 5.16 Señal de Entrada

b) $\pi < x < 2\pi$

D_{Z2} en PD \Rightarrow c c

Si $|V_{in}| < V_{Z1}$ entonces

D_{Z1} en PI \Rightarrow no regula

$V_o = V_{in}$

Si $|V_{in}| > V_{Z1}$ entonces

D_{Z1} regula

$V_o = -V_{Z1}$

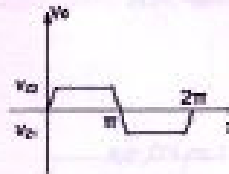


Figura 5.17 Señal de Salida

5.5. PROBLEMAS RESUELTOS:

5.5.1. Para el circuito regulador de la figura estimar la tensión de salida V_{LDC} y el rizado respectivo si a la entrada del regulador se obtiene 2 Vp de rizado sobre 36 voltios de continua. Determinar también la potencia nominal disipada por el zener y estimar la máxima corriente que puede entregar el regulador dentro de los límites de regulación. En que condiciones de carga disipa el diodo la máxima potencia, si V_Z es igual a 8 voltios, la resistencia dinámica es de 10Ω.



Figura 5.18 Circuito del Ejercicio 5.8.1.

$V_{max} = 36 + 2 = 38 \text{ V}$

$V_{min} = 36 - 2 = 34 \text{ V}$

Veamos si el diodo zener regula o no.

$$V_{Z_{min}} = 34 \frac{R_L}{R_Z + R_L}$$

$V_{Z_{min}} = 11.3 \text{ V} > 8 \text{ V}$

$V_{Z_{max}} = 0.25$

Entonces el zener se regula.

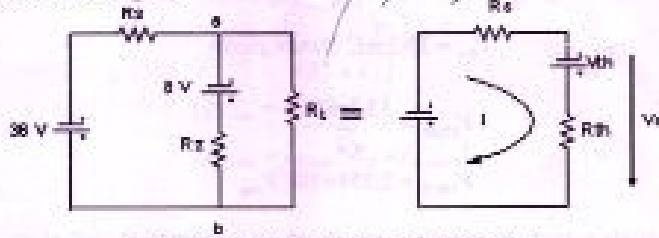


Figura 5.19 Circuito Equivalente de Thevenin

Aplicando el teorema de Thevenin tenemos:

$$Z_{Th} = R_z \parallel R_L$$

$$Z_{Th} = 9.68 \Omega$$

$$V_{Th} = \frac{V_z R_L}{R_L + R_z}$$

$$V_{Th} = 7.74 V$$

$$I(Z_{Th} + R_s) + V_{Th} - 36 V = 0$$

$$I = \frac{(36 - 7.74)}{0.6 K\Omega + 9.68}$$

$$I = 4.635 \times 10^{-2} A$$

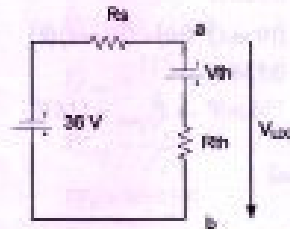


Figura 5.20 Circuito Equivalente de Thevenin

$$V_{Loc} = V_{ab} = -7.74 - I Z_{Th}$$

$$V_{Loc} = -8.19 V$$

El circuito equivalente AC:

$$V_{sr} = \frac{V_{sr} (R_z \parallel R_L)}{R_z + (R_z \parallel R_L)}$$

$$V_{sr} = \frac{2(10)(0.3K)}{\left(0.6K + \frac{(10)(0.3K)}{10 + 0.3K}\right)(10 + 0.3K)}$$

$$V_{sr} = 31.7 mV$$

Considerando: $R_z \ll R_L$

$$R_z \ll R_L$$

$$V_{or} = 33.3 \text{ mV (valor pico)}$$

$$V_{rms} = \frac{33.3 \text{ mV}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{0rms} = 2.354 \times 10^{-2} V_{rms}$$

$$\tau = \frac{V_{0rms}}{V_{0DC}}$$

$$\tau = \frac{2.354 \times 10^{-2}}{8.19}$$

$$\tau = 2.88 \times 10^{-3}$$

Si consideramos que la componente alterna que cae por el diodo zener es despreciable (si no calculamos I_{zmax}) por lo que suponemos que la disipación de potencia en el zener se debe solo a la I_{DC} (fuente continua).

$$P_{DC} = I_{DC}^2 R_z + I_{DC} V_z$$

$$I_{DC} = \frac{V_{0r}}{R_z}$$

$$I_{DC} = 0.019 \text{ A}$$

$$P_{DC} = (19 \text{ mA})^2 (10) + (19 \text{ mA})(8)$$

$$P_{DC} = 0.156 \text{ W}$$

$$P_{DC} = 156 \text{ mW} \rightarrow P_{Dmax} = 1/4 \text{ W}$$

Si no despreciamos el rizado (I_{rms})

$$P_D = I_{rms}^2 R_z + I_{DC}^2 R_z + I_{DC} V_z$$

Cual sería la potencia máxima sobre el diodo si $R_L \rightarrow \infty$ por el zener circula la máxima corriente y tendríamos la máxima potencia en el zener.

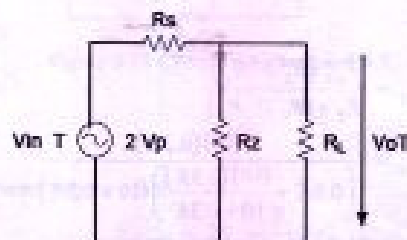


Figura 5.21 Circuito cuando $R_L \rightarrow \infty$

$$38 + I(R_p + R_z) - V_z = 0$$

$$I_{z\max} = \frac{(V_{s\max} - V_z)}{(R_p + R_z)}$$

$$I_{z\max} = 49.68 \text{ mA}$$

$$P_{z\max} = I_{z\max}^2 R_z + I_{z\max} V_z$$

5.5.2. Para la fuente regulada de la figura, calcular el factor de rizado en la carga; las corrientes medias y RMS por los diodos, el voltaje reverse de los diodos, la potencia activa en el zener y la potencia aparente del transformador. ($\mu = 4$), $0 < I_L \leq 80 \text{ mA}$, (rendimiento: $\eta = 75\%$). Considere por los diodos $V_C = 0,7 \text{ V}$; $r_{on} = 0$

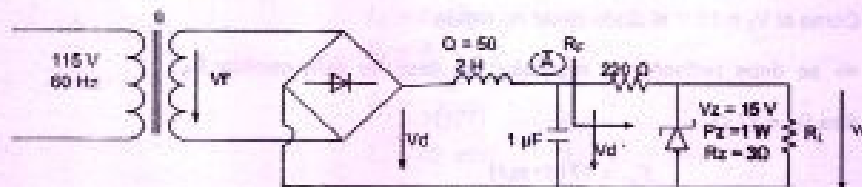


Figura 5.22

$$\mu = V_r / V_z$$

$$V_{r\max} = V_{z\max} / 4$$

$$V_{r\max} = \frac{115}{4} = 28.75 \text{ V}$$

$$V_{r\max} = \frac{V_{r_p}}{\sqrt{2}}$$

$$V_{r_p} = 40.65 \text{ V}$$

Primeramente se debe comprobar si el filtro está bien diseñado, es decir si el zener regula.

Circuito equivalente DC

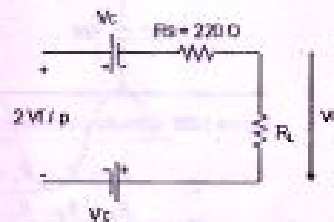


Figura 5.23 Equivalente DC

$$Vf_{DC} = 2Vf_r / 2\pi$$

$$Vf_{DC} = \frac{2 \cdot 40.65}{\pi} = 25.87$$

$$V_{RS} = 220 (80 \text{ mA})$$

$$V_{RS} = 176 \text{ V}$$

$$V_{ZENER} = V_{RS} = 25.87 - 17.6$$

$$V_{ZENER} = 8.27 \text{ V}$$

$$V_d = 24.47 \text{ V} \approx 25 \text{ V}$$

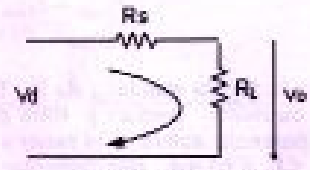


Figura 5.24 Circuito Equivalente Con una Fuente de DC

Como el $V_z = 15 \text{ V}$ el diodo zener no regula

=> se debe rediseñar el regulador, es decir se debe cambiar R_B

Sea $R_B = 47 \Omega$

$$V_{RS} = 47 (80 \text{ mA})$$

$$V_{RS} = 3.76 \text{ V}$$

$$V_{ZENER} = V_d - V_{RS}$$

$$V_{ZENER} = 24.47 - 3.76$$

$$V_{ZENER} = 20.71 > 15 \text{ V} \rightarrow \text{el zener si regula}$$

$$R_{Lmin} = \frac{V_z}{I_{Lmax}}$$

$$R_{Lmin} = \frac{15}{80 \text{ mA}}$$

$$R_{Lmin} = 187.5 \Omega \rightarrow R_{Lmin} = 180 \Omega$$

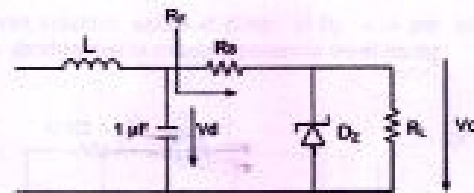


Figura 5.25 Circuito Rediseñado con un $R_B = 47 \Omega$

$$R_p = R_x + R_z \parallel R_L$$

$$R_p \approx R_x + R_z$$

$$R_p = 47 + 3$$

$$R_p = 50 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\omega C}$$

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot 2\pi \cdot 1 \mu F}$$

$$X_C = 1326 \Omega$$

verifico si $X_C \ll R_f$
 $1326 \ll 50$ no se cumple

Por tanto se debe cambiar el condensador.

Sea $C = 500 \mu F \Rightarrow X_C 2,6 \Omega \Rightarrow X_C \ll R_f$

$$2,6 \ll 50$$

$$L_C = R_L / 3\omega$$

$$R_L = R_f$$

$$L_C = \frac{50}{3(377)}$$

$$L_C = 40 \text{ mH}$$

Sea $L_C = 2 \text{ H}$

$$X_L = 2\omega L$$

$$X_L = 1508 \Omega \rightarrow X_L \gg X_C$$

$$1,5K \gg 2,6$$

$$V_{L, \text{max}} = \frac{(4 \cdot V_f \cdot X_C)}{(3\pi \cdot X_L \cdot \sqrt{2})}$$

$$V_{L, \text{max}} = \frac{(4 \cdot V_{f, \text{max}} \cdot X_C)}{(3\pi \cdot X_L)}$$

$$V_{L, \text{max}} = \frac{V_{f, \text{max}}}{(3\pi \cdot \omega^2 \cdot L \cdot C)}$$

$$V_{L, \text{max}} = \frac{28,75}{(3\pi \cdot (2\pi \cdot 60)^2 \cdot 2 \cdot (500 \times 10^{-6}))} = 21,47 \text{ mV} \quad (\text{de retardo})$$

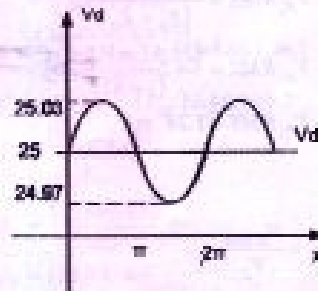


Figura 5.26 Señal del voltaje Vd

$$V_{cr} = V_{zmax} \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{cr} = 30.3 \text{ mV}$$

$$Q = \frac{X_L}{r_c}$$

$$r_c = \frac{X_L}{Q}$$

$$r_c = \frac{[2\pi \cdot 60 \cdot 2]}{50}$$

$$r_c = 15.1$$

Comprobamos si el zener regula

$$R_{Lmin} \rightarrow \infty$$

$$R_{Lmin} = 180 \Omega$$

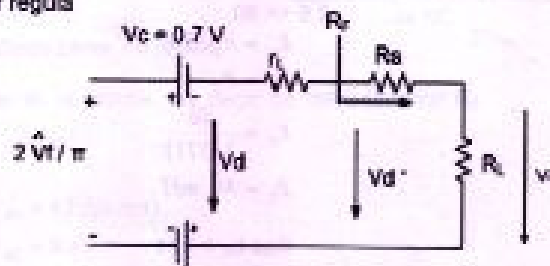


Figura 5.27 Circuito para comprobar si el Diodo Zener regula

$$V_d' = \frac{(V_d R_L)}{(R_L + r_Z)}$$

$$V_d' = \frac{(24.47 \cdot 50)}{50 + 15.1}$$

$$V_d' = 18.97 \text{ V} \approx 19 \text{ V} \rightarrow \text{el diodo zener si regula}$$

$$V_{m,RMS} = \frac{V_{zmax}(R_L \parallel R_Z)}{R_Z + (R_L \parallel R_Z)}$$

$$V_{m,RMS} = \frac{(V_{zmax} \cdot R_Z)}{(R_L + R_Z)}$$

$$V_{m,RMS} = \frac{(21.47 \text{ mV} \cdot 3)}{(3 + 47)}$$

$$V_{m,RMS} = 1.28 \text{ mV}$$

Factor de rizado en la carga

$$r_c = \frac{V_{zmax}}{V_Z}$$

$$r_c = \frac{1.28 \text{ mV}}{15} = 8.4 \times 10^{-5} \rightarrow 0$$

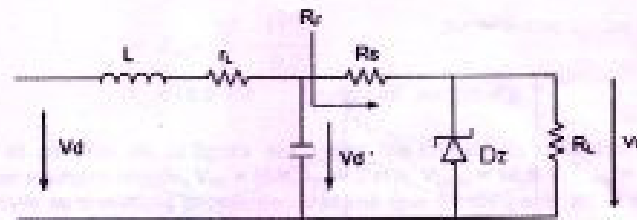


Figura 5.28 Circuito equivalente

$$I_d = \frac{V_d}{(R_s + r_s)}$$

$$I_d = \frac{V_d'}{R_r}$$

$$I_d = \frac{19}{50} = 0.38 \text{ A}$$

$$I_o = \frac{I_d}{2} = 190 \text{ mA}$$

Cálculo de la Potencia activa en los diodos:

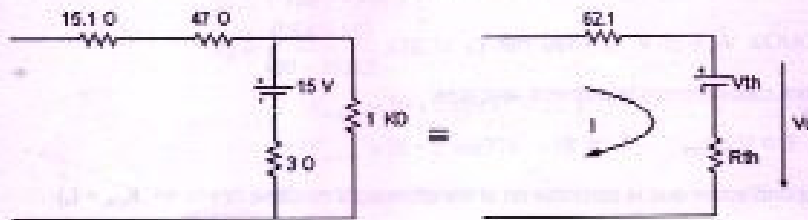


Figura 5.29 Circuito Equivalente de Thevenin

$$V_{th} = \frac{15 \cdot (1K)}{(1K + 3 \Omega)} = 14.995 \text{ V}$$

$$R_{th} = \frac{1K \cdot (3 \Omega)}{(1K + 3 \Omega)} = 2.99 \text{ K}\Omega$$

$$I = \frac{(24.47 - 14.995)}{(62.1 + 2.99K)} = 146.1 \text{ mA}$$

$$V_a = V_{th} + I \cdot (R_{th}) = 15.393 \text{ V}$$

$$I_z = \frac{(V_a - V_z)}{R_z}$$

$$I_z = \frac{(15.39 - 15)}{3 \Omega}$$

$$I_z = 131.18 \text{ mA}$$

$$\rightarrow P_D = I_z \cdot V_z + I_z^2 \cdot R_z = 2.019 \text{ W}$$

Cálculo del voltaje pico inverso:

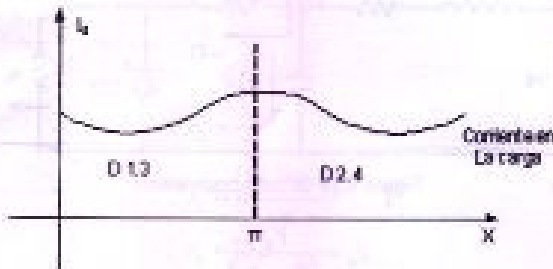


Figura 5.30 Corriente en la Carga

$$VPI = k_s V_{f_{max}} = k_s (V_f)$$

k_s = factor de seguridad

$$VPI = 1.2 (1.2 \cdot V_f)$$

$$VPI = 1.2 (1.2 \sqrt{2} \cdot V_{f_{rms}})$$

$$VPI = 50 \text{ V}$$

DIODOS: $V_{PI} = 50 \text{ V}$, $I_0 = 190 \text{ mA}$

Ahora calcularemos la potencia aparente;

$$S = V_{rms} I_{rms}$$

(Supondremos que la corriente en el transformador no tiene rizado $\Rightarrow I_{rms} = I_0$)

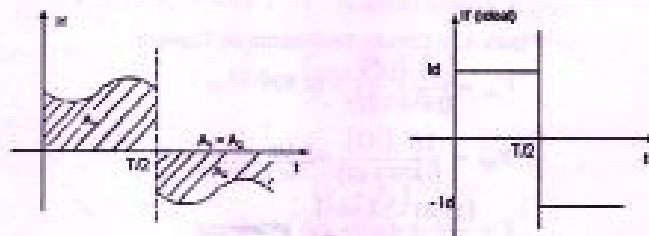


Figura 5.31 Curvas de la Corriente en el Transformador

Luego, para el secundario tenemos:

$$S' = V_{f_{rms}} I_{f_{rms}}$$

$$S' = V_{f_{rms}} I_0$$

$$S' = 380 \text{ mA (29)}$$

$$S' = 11.02 \text{ VA}$$

$$\rightarrow S_m = \frac{S_f}{n} = \frac{11.02}{0.75}$$

$$S_m = 14.6 \text{ VA} \quad (\text{potencial nominal})$$

5.5.3. En el circuito de la figura encontrar los límites de variación de R_L para que el zener siempre regule, $V_{DC} = 15 \text{ V}$, $I_{DC} = 2 \text{ mA}$, $V_{Z\text{máx}} = 15.6 \text{ V}$, $I_{Z\text{máx}} = 60 \text{ mA}$. Luego calcule la potencia promedio máxima que se disipará en la resistencia de 68Ω . Considere $V_{in} = 20 + 2\text{sen}x \text{ (V)}$.

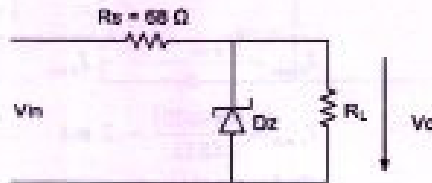


Figura 5.32

$$R_z = \frac{(V_{Z\text{máx}} - V_{Z\text{mín}})}{(I_{Z\text{máx}} - I_{Z\text{mín}})}$$

$$R_z = \frac{(15.6 - 15)}{(60 - 2) \text{ mA}} = 10.34 \Omega$$

$$V_{in\text{máx}} = 20 + 2 \text{ sen}90^\circ = 22 \text{ V}$$

$$V_{in\text{mín}} = 20 + 2 \text{ sen}270^\circ = 18 \text{ V}$$

a)

$$R_z = \frac{(V_{in\text{máx}} - V_z')}{(I_{Z\text{máx}} + I_{L\text{mín}})}$$

$$\rightarrow I_{L\text{mín}} = (V_{in\text{máx}} - V_z') / R_z - I_{Z\text{máx}}$$

$$V_z' = V_z + I_{Z\text{máx}} \cdot R_z$$

$$V_z' = 15 + 60 \text{ mA} \cdot 10.34 \Omega = 15.62 \text{ V}$$

$$I_{L_{max}} = \frac{(22 - 15.62)}{68 \Omega} = 60 \text{ mA}$$

$$I_{L_{max}} = 0.03382 \text{ A}$$

$$\rightarrow R_{L_{max}} = \frac{V_x}{I_{L_{max}}}$$

$$R_{L_{max}} = \frac{15.62 \text{ V}}{0.03382 \text{ A}} = 461.81 \Omega$$

b)

$$I_{L_{max}} = \frac{(V_{max} - V_x)}{R_x} = I_{L_{min}}$$

$$I_{L_{min}} = \frac{(18 - 15)}{68 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$I_{L_{min}} = 0.04211 \text{ A}$$

$$\rightarrow R_{L_{min}} = \frac{V_x}{I_{L_{min}}}$$

$$R_{L_{min}} = \frac{15 \text{ V}}{0.04211 \text{ A}} = 356.2 \Omega$$

- Cálculo de la Potencia máxima en R_G .

$$I_{ms} = \frac{(V_m - V_x)}{R_x}$$

$$I_{ms} = \frac{(20 + 2 \text{ sen } x - 15)}{68 \Omega}$$

$$I_{ms} = \frac{(5 + 2 \text{ sen } x)}{68 \Omega}$$

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (I_{ms})^2 R_G dx$$

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{25 + 20 \text{ Sen } X + 4 \text{ Sen}^2 X}{68^2} 68 dx$$

$$P = \frac{1}{136\pi} \int_0^{2\pi} (25 + 20 \text{ Sen } X + 2 - 2 \text{ Cos } 2X) dx$$

$$P = \frac{1}{136\pi} \int_0^{2\pi} 27 dx + \int_0^{2\pi} (20 \text{ Sen } X - 2 \text{ Cos } 2X) dx$$

$$P = \frac{1}{136\pi} [27(2\pi)]$$

$$P = 0.397$$

5.6. PROBLEMAS PROPUESTOS:

5.6.1. En el circuito de la figura encontrar el voltaje de salida (AC + DC), los diodos son ideales con excepción del diodo zener cuya característica en el tercer cuadrante es la figura 5.32 ; considerar al transformador ideal.

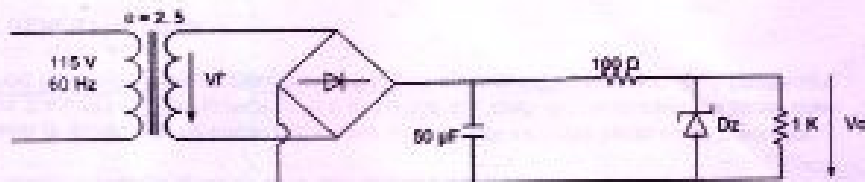


Figura 5.33

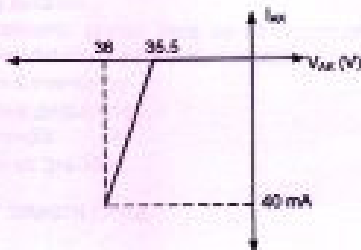


Figura 5.34

5.6.2. Se tiene una fuente regulada aplicada a la salida de un filtro C con rectificador de onda completa con toma central, las fluctuaciones a la entrada de la línea son del orden de $110 V_{rms} \pm 15\%$, la relación de transformación del transformador es 5:1, el rizado de la señal no regulada es del 10%. El zener utilizado en la fuente, tiene:

$I_{zmin} = 4 \text{ mA}$, $I_{zmax} = 180 \text{ mA}$, $V_z = 8 \text{ V}$, $R_z = 5 \Omega$ y la corriente para la carga es de $I_{Lc} = 100 \text{ mA}$.

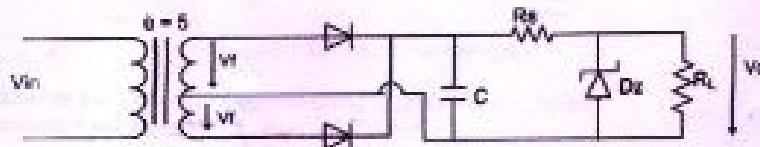


Figura 5.35