

Circuitos con diodos. Diodos Zener

En este capítulo se tratará de introducir y asentar conceptos de circuitos con diodos semiconductores.

Iniciaremos esta introducción con circuitos recortadores con diodos semiconductores, para seguir con las disposiciones básicas para la realización de una fuente de alimentación regulada, incluyendo desde el transformador de entrada hasta la carga a alimentar.

Se verán con detenimiento los bloques de rectificación de tensión, filtrado por condensador y estabilización de la tensión de salida.

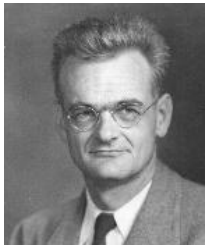
Contenido

- 3.1 Reseña histórica
- 3.2 Conceptos básicos
- 3.3 Circuitos con diodos. Recortadores
- 3.4 Rectificador de media onda
- 3.5 Rectificador de onda completa
- 3.6 Filtrado por condensador
- 3.7 Diodo zener. Características y aproximaciones
- 3.8 Circuito estabilizador con diodo zener
- 3.9 Ejercicios tipo
- 3.10 Problemas propuestos
- 3.11 Bibliografía

3.1 Reseña histórica



William Bradford Shockley (1910-1989). Físico estadounidense, premiado con el Nobel y coinventor del transistor. Nació en Londres de padres estadounidenses. Trabajó en los laboratorios de la Compañía Telefónica Bell desde 1936 hasta 1956, año en que fue nombrado director de la Shockley Transistor Corporation en Palo Alto, California. Sus investigaciones sobre los semiconductores le llevaron al desarrollo del **transistor** en 1948. Por esta investigación compartió en 1956 el Premio Nobel de Física con sus asociados John Bardeen y Walter H. Brattain. La **ecuación del diodo** o ecuación de Shockley lleva su nombre en su honor.



Clarence Melvin Zener (1905-1993). Físico estadounidense que descubrió el efecto que lleva su nombre en los **diodos semiconductores**. Con amplios conocimientos de matemáticas, escribió sobre una gran variedad de materias, entre ellas la superconductividad, la metalurgia, etc. Tras doctorarse en Física en la Universidad de Harvard en 1930, enseñó en varias universidades del país y trabajó durante un breve periodo en Westinghouse.

3.2 Conceptos básicos

El *valor medio* de la corriente que circula por un componente electrónico se define como el área de un ciclo de la curva dividido por el período de la señal.

$$I_{\text{medio}} = I_{cc} = \frac{I}{2\pi} \int_0^{2\pi} i \, d\alpha \quad (3.1)$$

El *valor eficaz* o *RMS* (Root Mean Square) de la corriente que circula por un componente electrónico se define como la raíz cuadrada del cuadrado del área de un ciclo de la curva dividido por el período de la señal.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{I}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 \, d\alpha} \quad (3.2)$$

El *factor de forma*, F_F , se define como la relación entre la tensión en valor eficaz y la tensión en valor medio de una señal.

$$F_F = \frac{V_{ef}}{V_{medio}} = \frac{V_{ef}}{V_{cc}} \quad (3.3)$$

El *factor de rizado*, F_R , se define como la relación entre la tensión en valor eficaz de la ondulación residual y la tensión en valor medio. Este factor da una indicación de las componentes alterna que tiene una señal.

$$F_R = \frac{V_{ef \text{ ondulación}}}{V_{cc}} = \frac{\sqrt{V_{ef}^2 - V_{cc}^2}}{V_{cc}} = \sqrt{\frac{V_{ef}^2}{V_{cc}^2} - 1} = \sqrt{F_F^2 - 1} \quad (3.4)$$

3.3 Circuitos con diodos. Recortadores

Cabría recordar algunos de los circuitos con diodos más típicos. Puede observarse en ellos el dibujo esquemático y las gráficas de salida de los mismos. Se ha incluido la fórmula de cálculo de la tensión de salida o la tensión de inicio de funcionamiento.

- *Recortador positivo de nivel.* Se utiliza para eliminar una porción del semiperíodo positivo de la señal. Como se muestra, el semiperíodo negativo queda inalterado. Sólo indicar la disminución de la tensión debido a la pérdida sufrida por el divisor formado por R_1 y R_{Load} . La ecuación 3.5 está formada por una sumando, aproximadamente constante, más otro sumando que añade una perturbación. Atenuada por la relación de la resistencia dinámica del diodo y la resistencia limitadora del mismo. Figura 3.1.

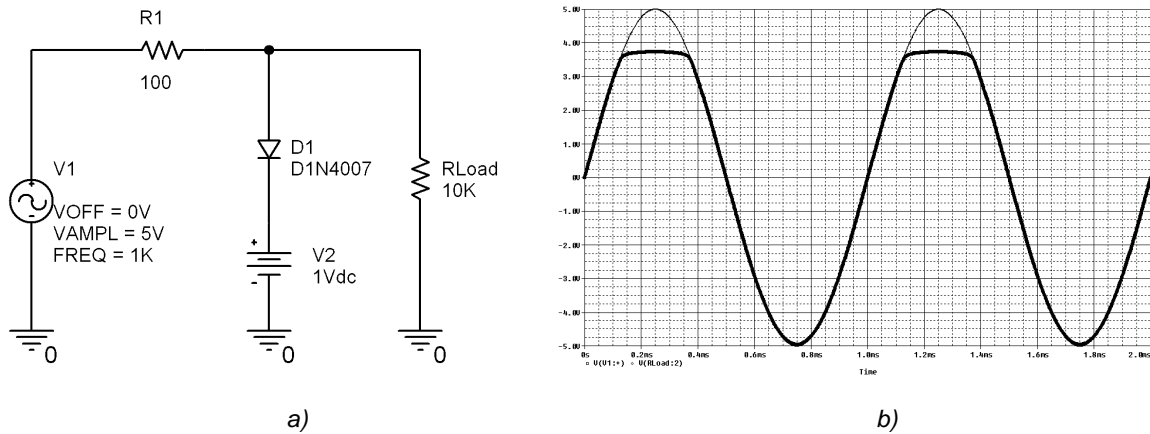


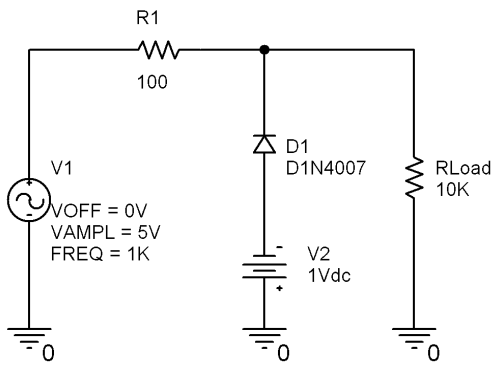
Figura 3.1: a) Circuito de un recortador positivo de nivel, b) Gráfica de salida

$$V_{out} = \frac{R_l}{R_l + R_{Dl}} (V_2 + V\gamma) + V_l \frac{R_{Dl}}{R_l + R_{Dl}} \quad (3.5)$$

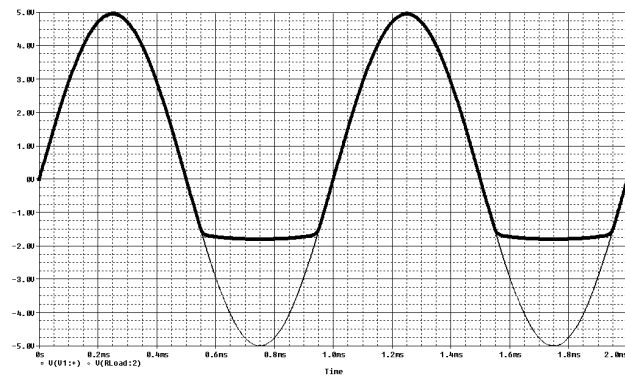
- *Recortador negativo de nivel.* Esta disposición es similar al anterior solo que elimina la parte del semiperíodo negativo. Figura 3.2.

$$V_{out} = \frac{R_l}{R_l + R_{Dl}} (V_2 - V\gamma) + V_l \frac{R_{Dl}}{R_l + R_{Dl}} \quad (3.6)$$

- *Elevador de nivel.* Este montaje eleva con un nivel de continua el valor de comienzo de la señal alterna introducida. Téngase en cuenta la necesidad de una resistencia de alto valor para evitar la descarga rápida de la carga almacenada en del condensador. Figura 3.3.
- *Fijador positivo de nivel.* Este montaje es útil para fijar un pedestal de tensión a partir del cual se dejará pasar toda la señal que apliquemos al circuito. Figura 3.4.

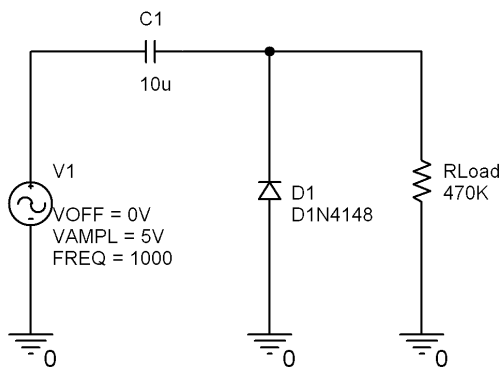


a)

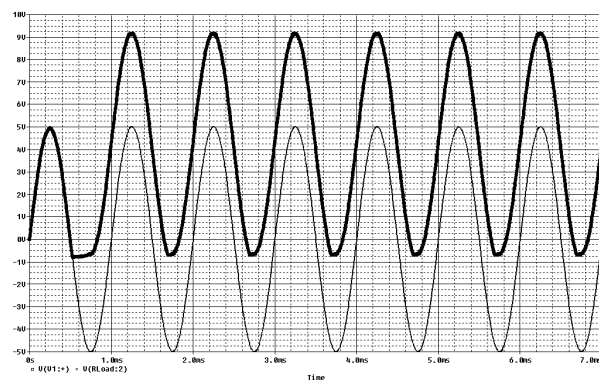


b)

Figura 3.2: a) Circuito de un recortador negativo de nivel, b) Gráfica de salida

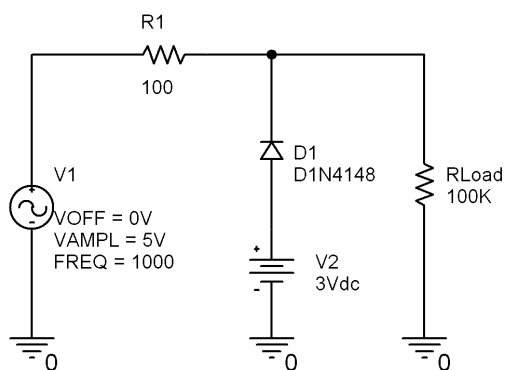


a)

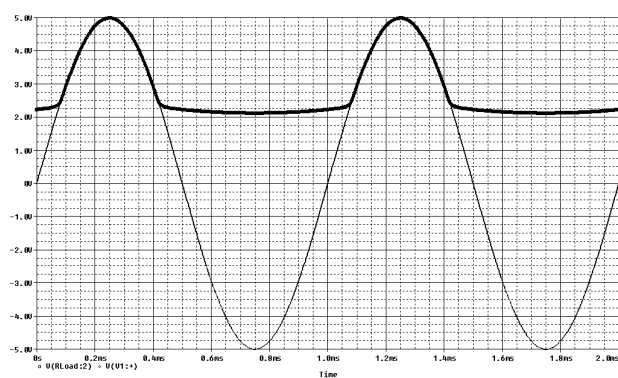


b)

Figura 3.3: a) Circuito de un elevador de nivel, b) Gráfica de salida



a)



b)

Figura 3.4: a) Circuito de un fijador positivo de nivel, b) Gráfica de salida

El valor de la tensión inicial de conducción de la señal de salida viene definida por

$$V_{inicial} = V_2 - V_\gamma \quad (3.7)$$

- *Fijador negativo de nivel.* Este circuito tiene un funcionamiento contrario al anterior.

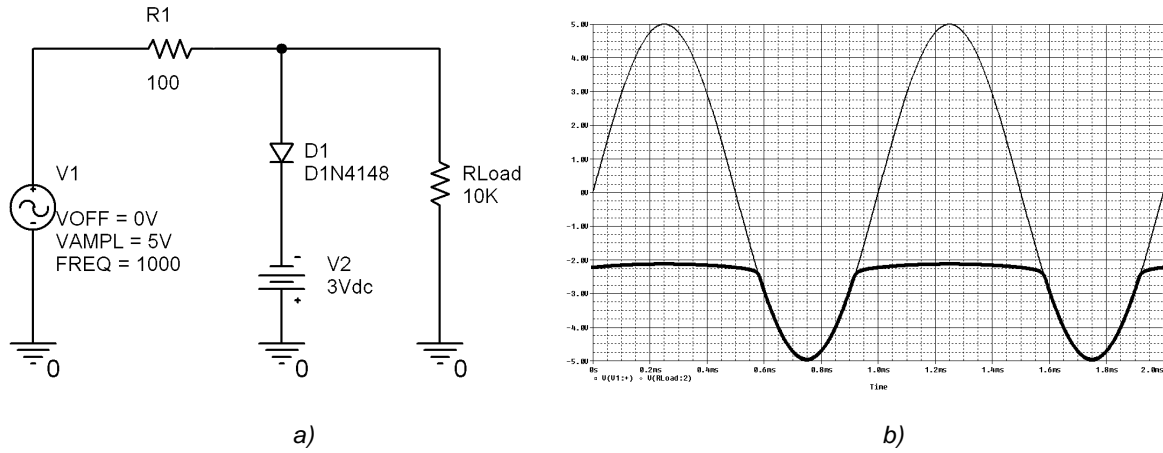


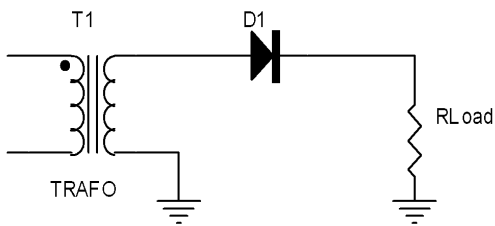
Figura 3.5: a) Circuito de un fijador negativo de nivel, b) Gráfica de salida

El valor de la tensión inicial de conducción de la señal de salida viene definida por

$$V_{inicial} = V_2 - V_\gamma \tag{3.8}$$

3.4 Rectificador de media onda

Del circuito mostrado en la figura 3.6, se puede obtener un rectificador de media onda, cuyas formas de onda se muestran en la figura 3.7. Siendo los valores característicos de este circuito los siguientes



F _{entrada}	50Hz
F _{salida}	50Hz
V _{inversa}	-V _{max}
V _{salida}	V _{entrada} - V _γ
F _F	1.57
F _R	1.21

Figura 3.6: Circuito rectificador de media onda

Obteniendo los valores de la tensión eficaz y de valor medio, ecuaciones 3.1 y 3.2, para una onda de salida como la mostrada en la figura 3.7, los valores del factor de forma y factor de rizado nos quedan como siguen

$$F_F = \frac{V_{ef}}{V_{cc}} = \frac{\frac{V_{max}}{2}}{\frac{V_{max}}{\pi}} = 1.57$$

$$F_R = \sqrt{1.57^2 - 1} = 1.21$$

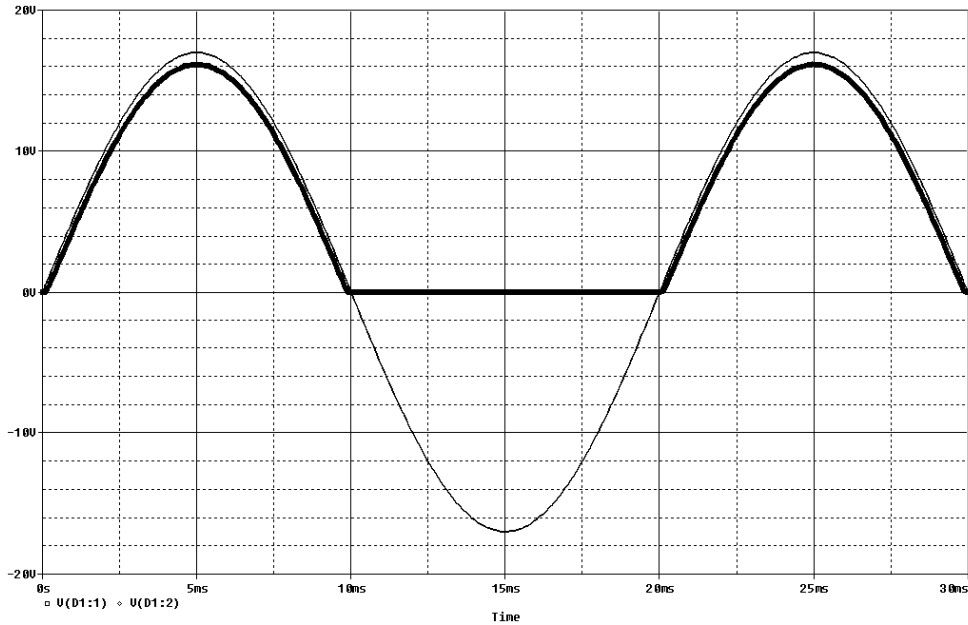


Figura 3.7: Formas de onda entrada/salida de un rectificador de media onda

3.5 Rectificador de onda completa

Se puede realizar este rectificador mediante dos circuitos diferentes, los mostrados en las figuras 3.8 y 3.9. Varias son las diferencias entre ellos, tanto en valores característicos obtenidos como en valores que deben soportar durante su funcionamiento.

En el primero de ellos, el de transformador con toma media, se aprecia que debe utilizarse un transformador especial. En realidad, no es un problema, ya que, la mayoría de los transformadores utilizados en Electrónica poseen esta característica. Con el conexionado adecuado, estos transformadores pueden funcionar como dos devanados conectados en serie o en derivación. En el caso que nos ocupa, se conectarán ambos devanados en serie. El punto de unión de ambos devanados se conectará posteriormente a la masa del circuito.

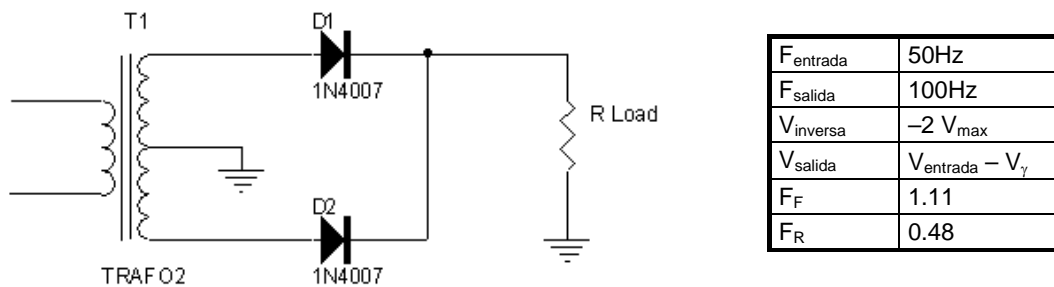


Figura 3.8: Rectif. de onda completa con trafo con toma media

Como se aprecia, el problema principal de este montaje es que cada diodo, durante su funcionamiento en inversa, deberá soportar el doble de la tensión máxima del transformador. Esto nos obligará a una selección de los diodos a utilizar con mayor cuidado. Obsérvese que la frecuencia de salida del circuito es doble que a la entrada. Esto, lejos de suponer un

problema, nos facilita el cálculo de los componentes posteriores, sobre todo si se colocase un condensador de filtrado. Esto se tratará con detenimiento posteriormente.

Obteniendo los valores de la tensión eficaz y de valor medio, ecuaciones 3.1 y 3.2 respectivamente, para una onda de salida como la mostrada en la figura 3.10, los valores del factor de forma y factor de rizado nos quedan como siguen

$$F_F = \frac{V_{ef}}{V_{cc}} = \frac{\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}}{\frac{2V_{max}}{\pi}} = 1.11$$

$$F_R = \sqrt{1.11^2 - 1} = 0.48$$

Para el segundo montaje, el rectificador con puente de diodos, como se aprecia en la figura 3.9, está formado por cuatro diodos. A esta conexión especial se la conoce como puente de Graetz o puente de diodos y, al conectar cuatro diodos en vez de dos es más costosa que el montaje anterior. También habríamos de tener en cuenta el mayor número de agujeros en la placa, el mayor espacio ocupado, mayor números de soldaduras, un índice de fallo de la placa mayor al aumentar el número de componentes, etc. Su mejor ventaja sería una tensión inversa soportada por el circuito mucho mayor y, en realidad, las soldaduras tampoco serían tantas, ya que en muchas ocasiones, esta interconexión de diodos se adquiere encapsulada sólo con cuatro terminales externos. Aunque estas valoraciones y la decisión final a adoptar, la mayoría de las veces, no son electrónicas sino económicas, sobre todo cuando el número de unidades a fabricar es elevado.

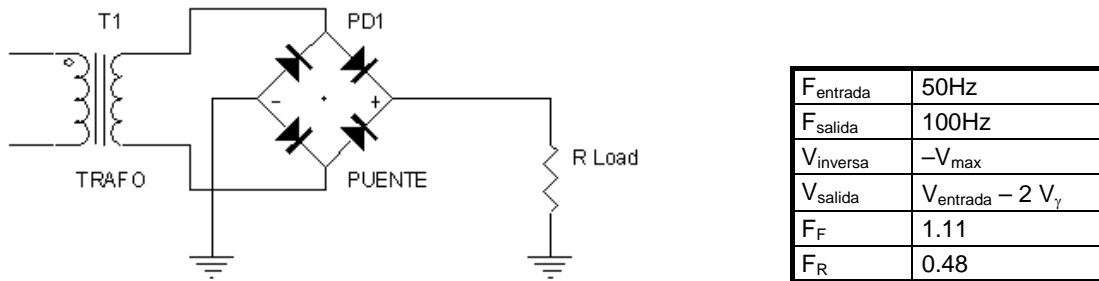


Figura 3.9: Rectif. de onda completa con P. de Graetz

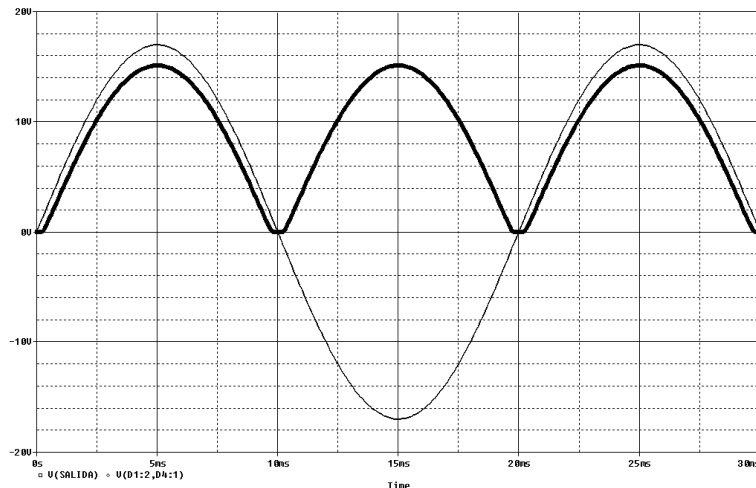


Figura 3.10: Formas de onda entrada/salida de un rectificador de onda completa

3.6 Filtrado por condensador

La forma de onda del rectificador de media onda o de onda completa, también llamada, onda pulsatoria, posee un valor medio o de corriente continua bajo. Con esta etapa de filtrado por condensador se elevará el valor medio de la tensión obtenida con el rectificador, disminuyendo consecuentemente el valor de la tensión eficaz de la onda. A la señal eficaz resultante se le conoce como rizado. Con etapas posteriores se tratará de disminuir más aún este valor. Idealmente debería desaparecer por completo, y conseguir de este modo una señal continua perfecta. Por diferentes motivos, preponderantemente económicos, esto no es viable en la práctica.

Sabemos que la corriente en un condensador está definida por la ley de conservación de la carga

$$\Sigma i_{nodo} = \frac{dQ}{dt} = C \frac{de}{dt} \quad (3.9)$$

O bien de esta otra forma

$$I_C = C \frac{dV}{dt} \quad (3.10)$$

Mediante esta ecuación podemos calcular el valor del condensador adecuado para un determinado nivel de rizado residual o nivel de tensión pico-pico no rectificada de una onda alterna, denominado ΔV_{pp} , esto lo obtendremos del arreglo de la ecuación 3.10.

$$C = \frac{I \cdot t}{\Delta V_{pp}} \quad (3.11)$$

El circuito utilizado para el filtrado por condensador es el siguiente. Como se observa está compuesto de una etapa rectificadora, vista en el apartado anterior, más la de filtrado.

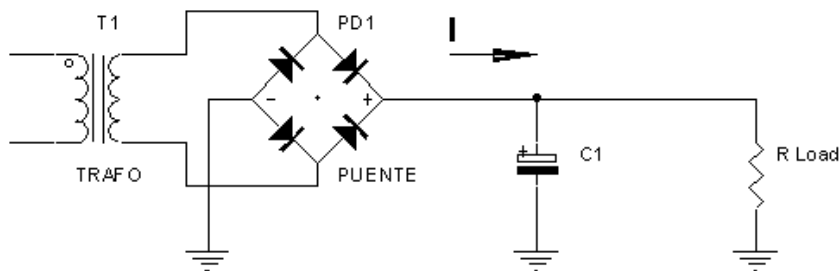


Figura 3.11: Circuito de filtrado mediante condensador

En el gráfico de la figura 3.12, podemos observar los valores de la señal V_{cc} y la tensión en valor eficaz de la señal filtrada por un condensador, que tienen un valor de

$$V_{cc} = V_{max} - \frac{V_r}{2}$$

$$V_{ef(triangular)} = \frac{V_r}{2\sqrt{3}}$$

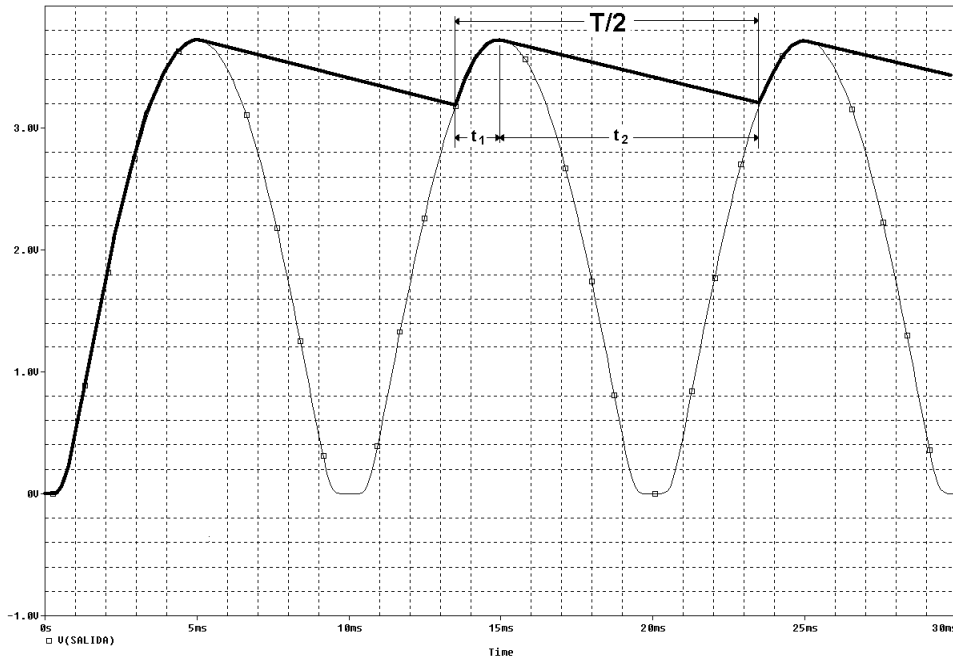


Figura 3.12: Tiempos de carga y descarga de un condensador en un rectificador de onda completa

Como se muestra, durante el tiempo t_2 , es el condensador el que aporta la corriente a la carga. Como sabemos

$$Q = C \cdot V_r = I \cdot t = I_{cc} \cdot t_2 \tag{3.12}$$

Obteniendo la tensión de rizado, V_r , para el caso extremo en el cual el condensador sea el único elemento que aporte energía al circuito, es decir, $t_2 = T/2 = 1/2f$, nos queda

$$V_r = \frac{I_{cc} \cdot t_2}{C} = \frac{I_{cc}}{2 f C} \tag{3.13}$$

Como se observa en la ecuación, *la tensión de rizado es inversamente proporcional al valor del condensador de filtrado.*

Por otro lado, si deseamos observar la dependencia del rizado con la resistencia de carga, podemos decir

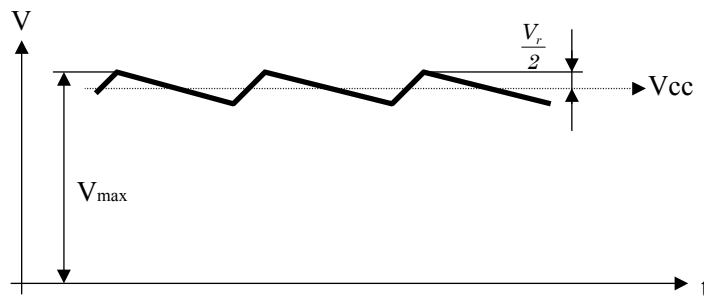


Figura 3.13: Aproximación de la curva resultante del rizado residual de un rectificador de onda completa

$$F_r = \frac{V_{eff(triangular)}}{V_{cc}} = \frac{V_r}{V_{cc}} = \frac{I}{2\sqrt{3}} \frac{I_{cc}}{2fC} = \frac{I_{cc}}{4\sqrt{3}fCV_{cc}} = \frac{I}{4\sqrt{3}fCR_{load}} \quad (3.14)$$

Donde se observa que *el factor de rizado es inversamente proporcional al valor de la resistencia de carga del circuito y al valor del condensador de filtrado.*

3.7 Diodo zener. Características y aproximaciones

Los diodos que trabajan en la zona de ruptura se conocen como diodos zener o diodos de avalancha. Esto es debido a los dos fenómenos que se producen durante su funcionamiento. Para valores inferiores a $V_Z \approx 5.6V$, el diodo de ruptura trabaja bajo el efecto zener. Para diodos con una tensión de ruptura por encima de $5.6V$, trabajan bajo el efecto avalancha. Estos valores son aproximados, ya que, existe una zona fronteriza entre los $4.7V$ y $5.6V$ en los que nos es fácil distinguir bajo qué efecto están trabajando, ya que depende de la fabricación de los mismos. En función de esto, el modelo matemático a utilizar en la resolución de circuitos será diferente. El efecto bajo el que estén trabajando es dependiente del procedimiento de fabricación, no comportándose indistintamente de una u otra forma.

Estos fenómenos se deben a una fuerte generación de portadores en la zona de transición debido a que la intensidad de campo eléctrico alcanza un valor suficientemente grande. En el caso de la **ruptura zener**, el campo eléctrico es suficientemente intenso como para romper directamente los enlaces. Es el mecanismo típico si $V_Z \leq 4.5V$. En este caso el coeficiente de temperatura es negativo. En el caso de **multiplicación por avalancha**, el campo eléctrico acelera los portadores que atraviesan la zona de transición. Algunos chocan y generan más portadores. Si el campo es suficientemente intenso, los nuevos portadores vuelven a chocar y vuelven a generar más portadores. Se produce entonces una reacción en cadena que genera muchísimos portadores, y con ello una fuerte corriente. Es el mecanismo típico si $V_Z \geq 5.6V$. El coeficiente de temperatura es positivo.

En la siguiente figura se pueden observar las diferentes formas o símbolos esquemáticos utilizados para identificar a los diodos zener.

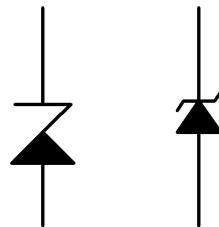


Figura 3.14: Diferentes símbolos esquemáticos de un diodo zener

Obsérvese el coeficiente de temperatura negativo con la tensión zener inferior a $5.1V$ y el coeficiente de temperatura positiva para valores superiores de tensión de ruptura. En las tablas 3.19 y 3.20 se aprecia el cambio de valor de la impedancia zener, primero disminuyendo y luego aumentando en función de la tensión zener seleccionada.

La aplicación más habitual del diodo zener es utilizarle en circuitos donde se necesite mantener constante un valor de tensión, en correspondencia con la tensión de ruptura del diodo. Estos valores normalizados se encuentran en las tablas 3.19 y 3.20.

Para el funcionamiento como diodo de ruptura o, simplemente, zener su polarización es en inversa. Si lo polarizamos en directa, su comportamiento es similar a la de un diodo rectificador normal, con una tensión directa similar a la de un diodo rectificador normal.

Los puntos característicos de su curva de funcionamiento se pueden observar en la figura 3.16. Cabe destacar la zona de funcionamiento en inversa (Reverse), la zona de codo (Knee) y la de funcionamiento con la corriente especificada por el fabricante como corriente zener de test (Zener Test).

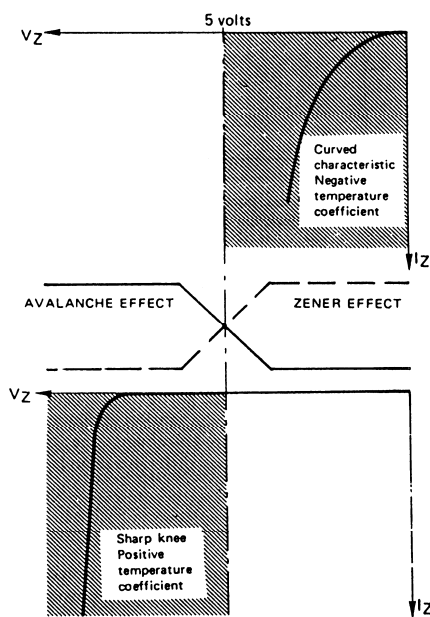


Figura 3.15: Efectos zener y avalancha en función de la tensión de ruptura

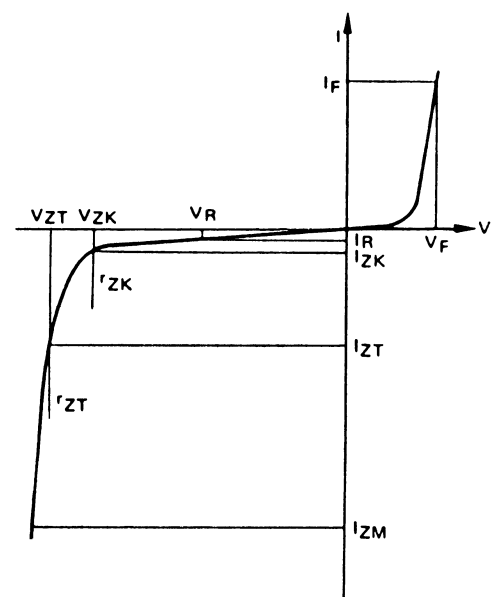


Figura 3.16: Curva de funcionamiento del diodo zener y puntos característicos

Si deseamos obtener los valores de polarización de un zener en un circuito determinado, deberemos obtener primero su recta de carga. Para ello, partiendo del circuito de la figura 3.17 y aplicando el cálculo de las tensiones de la malla, nos queda

$$V_{CC} = R \cdot i_D + v_D \tag{3.15}$$

Obteniendo los valores extremos, es decir, cuando $v_D = 0$ y cuando $i_D = 0$, tenemos

$$i_D = \frac{V_{CC}}{R} \qquad V_{CC} = v_D \tag{3.16}$$

Estos dos valores nos ofrecen los puntos de corte con los ejes de coordenadas. De la intersección de esta recta con la curva característica del diodo zener se obtiene el punto de trabajo o de funcionamiento para un circuito en particular.

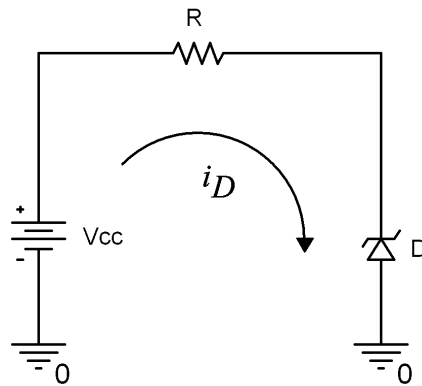


Figura 3.17: Circuito de polarización de un diodo zener

En la figura 3.19 se muestran los valores característicos de los diodos zener de 0.5W y en la figura 3.20 los valores de los diodos zener de 1W.

Los elementos de esta tabla son:

- Tensión zener e impedancia zener.
- Corriente zener de test.
- Impedancia zener y corriente zener en la zona de *codo*.
- Tensión y corriente zener en la zona inversa.
- Sobrecorriente máxima.
- Corriente máxima admisible en funcionamiento *normal*.

Como se mencionó anteriormente, para un funcionamiento del diodo de ruptura como estabilizador de tensión es necesario que esté trabajando en zona inversa o polarizado inversamente.

A la hora de comprender mejor el funcionamiento de este componente debemos obtener un modelo matemático de comportamiento. Para ello, en la figura 3.18 se muestra el circuito equivalente de un zener, siendo éste una *aproximación* al funcionamiento real, también llamado *modelo para gran señal*.

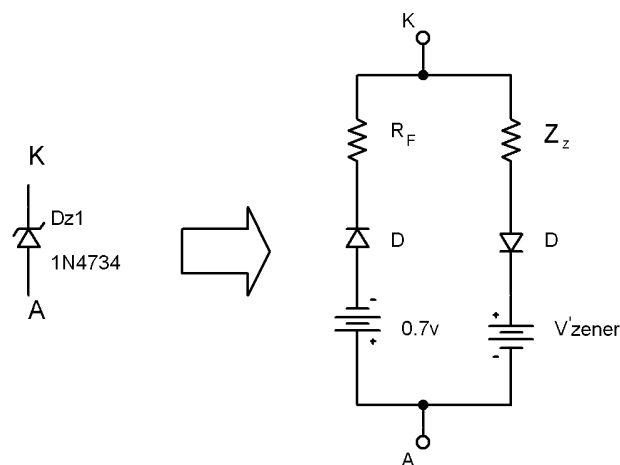


Figura 3.18: Modelo para gran señal de un diodo zener

Electrical Characteristics TA = 25°C unless otherwise noted

Device	V _Z (V)		Z _Z (Ω) @	I _{ZT} (mA)	Z _{ZK} (Ω) @	I _{ZK} (mA)	V _R (V) @	I _R (μA) @	I _R (μA) @ T _A =150°C	T _C (%/°C)	I _{ZRM} (mA)
	MIN	MAX									
BZX55C 3V3	3.1	3.5	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.060	115
BZX55C 3V6	3.4	3.8	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.055	105
BZX55C 3V9	3.7	4.1	85	5.0	600	1.0	1.0	2.0	40	-0.050	95
BZX55C 4V3	4.0	4.6	75	5.0	600	1.0	1.0	1.0	20	-0.040	90
BZX55C 4V7	4.4	5.0	60	5.0	600	1.0	1.0	0.5	10	-0.020	85
BZX55C 5V1	4.8	5.4	35	5.0	550	1.0	1.0	0.1	2.0	+0.010	80
BZX55C 5V6	5.2	6.0	25	5.0	450	1.0	1.0	0.1	2.0	+0.025	70
BZX55C 6V2	5.8	6.6	10	5.0	200	1.0	2.0	0.1	2.0	+0.032	64
BZX55C 6V8	6.4	7.2	8.0	5.0	150	1.0	3.0	0.1	2.0	+0.040	58
BZX55C 7V5	7.0	7.9	7.0	5.0	50	1.0	5.0	0.1	2.0	+0.045	53
BZX55C 8V2	7.7	8.7	7.0	5.0	50	1.0	6.2	0.1	2.0	+0.048	47
BZX55C 9V1	8.5	9.6	10	5.0	50	1.0	6.8	0.1	2.0	+0.050	43
BZX55C 10	9.4	10.6	15	5.0	70	1.0	7.5	0.1	2.0	+0.055	40
BZX55C 11	10.4	11.6	20	5.0	70	1.0	8.2	0.1	2.0	+0.060	36
BZX55C 12	11.4	12.7	20	5.0	90	1.0	9.1	0.1	2.0	+0.065	32
BZX55C 13	12.4	14.1	26	5.0	110	1.0	10	0.1	2.0	0.070	29
BZX55C 15	13.8	15.6	30	5.0	110	1.0	11	0.1	2.0	0.070	27
BZX55C 16	15.3	17.1	40	5.0	170	1.0	12	0.1	2.0	0.075	24
BZX55C 18	16.8	19.1	50	5.0	170	1.0	13	0.1	2.0	0.075	21
BZX55C 20	18.8	21.1	55	5.0	220	1.0	15	0.1	2.0	0.080	20
BZX55C 22	20.8	23.3	55	5.0	220	1.0	16	0.1	2.0	0.080	18
BZX55C 24	22.8	25.6	80	5.0	220	1.0	18	0.1	2.0	0.080	16
BZX55C 27	25.1	28.9	80	5.0	220	1.0	20	0.1	2.0	0.085	14
BZX55C 30	28.0	32.0	80	5.0	220	1.0	22	0.1	2.0	0.085	13
BZX55C 33	31.0	35.0	80	5.0	220	1.0	24	0.1	2.0	0.085	12

V_F Forward Voltage = 1.0 V Maximum @ I_F = 100 mA for all BZX 55 series

Figura 3.19: Tabla de características de diodos zener de 0.5W

Electrical Characteristics TA = 25°C unless otherwise noted

Device	V _Z (V)	Z _Z (Ω) @	I _{ZT} (mA)	Z _{ZK} (Ω) @	I _{ZK} (mA)	V _R (V) @	I _R (μA)	I _{SURGE} (mA)	I _{ZM} (mA)
1N4728A	3.3	10	76	400	1.0	1.0	100	1,380	276
1N4729A	3.6	10	69	400	1.0	1.0	100	1,260	252
1N4730A	3.9	9.0	64	400	1.0	1.0	50	1,190	234
1N4731A	4.3	9.0	58	400	1.0	1.0	10	1,070	217
1N4732A	4.7	8.0	53	500	1.0	1.0	10	970	193
1N4733A	5.1	7.0	49	550	1.0	1.0	10	890	178
1N4734A	5.6	5.0	45	600	1.0	2.0	10	810	162
1N4735A	6.2	2.0	41	700	1.0	3.0	10	730	146
1N4736A	6.8	3.5	37	700	1.0	4.0	10	660	133
1N4737A	7.5	4.0	34	700	0.5	5.0	10	605	121
1N4738A	8.2	4.5	31	700	0.5	6.0	10	550	110
1N4739A	9.1	5.0	28	700	0.5	7.0	10	500	100
1N4740A	10	7.0	25	700	0.25	7.6	10	454	91
1N4741A	11	8.0	23	700	0.25	8.4	5.0	414	83
1N4742A	12	9.0	21	700	0.25	9.1	5.0	380	76
1N4743A	13	10	19	700	0.25	9.9	5.0	344	69
1N4744A	15	14	17	700	0.25	11.4	5.0	304	61
1N4745A	16	16	15.5	700	0.25	12.2	5.0	285	57
1N4746A	18	20	14	750	0.25	13.7	5.0	250	50
1N4747A	20	22	12.5	750	0.25	15.2	5.0	225	45
1N4748A	22	23	11.5	750	0.25	16.7	5.0	205	41
1N4749A	24	25	10.5	750	0.25	18.2	5.0	190	38
1N4750A	27	35	9.5	750	0.25	20.6	5.0	170	34
1N4751A	30	40	8.5	1,000	0.25	22.8	5.0	150	30
1N4752A	33	45	7.5	1,000	0.25	25.1	5.0	135	27

V_F Forward Voltage = 1.2 V Maximum @ I_F = 200 mA for all 1N4700 series

Figura 3.20: Tabla de características de diodos zener de 1W

En este modelo de comportamiento, los diodos D , de polarización directa e inversa son ideales. A efectos prácticos, en la polarización directa sólo se considerará la resistencia dinámica en directa R_F , y la pila de $0.7V$, como si se tratase de un diodo rectificador normal. Para la polarización en inversa, que es la que nos interesa en este momento, consideraremos el valor de Z_Z , que es la impedancia o resistencia zener y la tensión V'_{zener} . Ambos datos los obtenemos de las tablas 3.19 y 3.20, dependiendo de la potencia que necesitemos.

Debido a los dos posibles efectos de funcionamiento del diodo de ruptura, la forma de resolver los circuitos también es doble. Para el caso de funcionamiento mediante efecto zener, $V_Z \leq 4.5V$, se dice que el diodo zener no utiliza **ninguna aproximación**, es decir, la tensión de ruptura del diodo es la indicada por el fabricante, sin más.

$$\boxed{V_{Z(KA)} = V'_Z} \quad (3.17)$$

Para el caso del funcionamiento mediante efecto avalancha, se utiliza la **primera aproximación** del diodo zener. Es decir, se tiene en cuenta una perturbación, introduciendo la idea de la impedancia zener como causante de la misma. En este caso el valor de la tensión en bornes del diodo zener es

$$\boxed{V_{Z(KA)} = V'_Z + (Z_Z \cdot I_Z)} \quad (3.18)$$

Siendo el valor de la tensión V'_Z el indicado por el fabricante, y el otro sumando, el correspondiente a la perturbación debida al valor de la impedancia zener, Z_Z , en función de la corriente que circule a su través. Este valor lo deberá fijar el diseñador.

Para justificar la bondad de funcionamiento del diodo zener y su utilidad en los circuitos electrónicos como *estabilizador de tensión*, observemos el siguiente circuito.

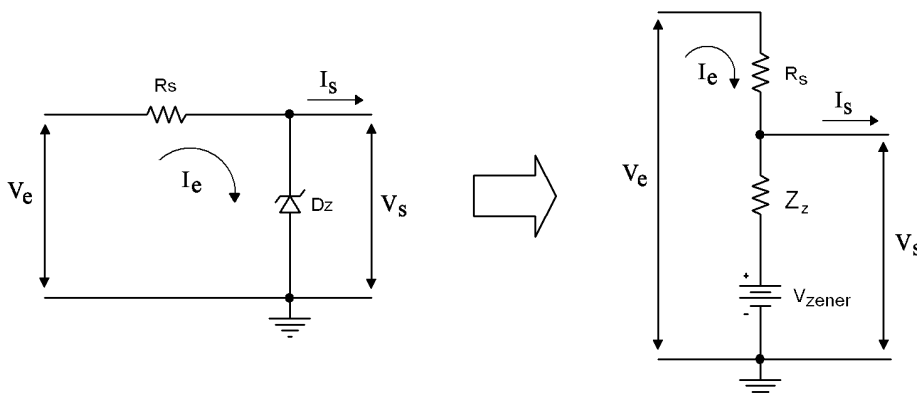


Figura 3.22: Circuito equivalente para obtener el Factor de regulación

Si definimos el *factor de regulación* como la relación entre la variación de la tensión de salida y la variación de la tensión de entrada, podremos observar la sensibilidad del circuito para cambios importantes en el valor de la tensión de entrada.

$$F_{reg} = \left. \frac{\Delta V_s}{\Delta V_e} \right|_{\Delta I_s = 0} \quad (3.19)$$

$$\Delta V_s = I_e Z_z \tag{3.20}$$

$$\Delta V_e = I_e (R_s + Z_z) \tag{3.21}$$

Sustituyendo las ecuaciones 3.20 y 3.21 en el Factor de regulación, nos queda

$$F_{reg} = \frac{Z_z}{R_s + Z_z} \tag{3.22}$$

Dado que R_s suele ser mucho mayor que Z_z , para una variación importante de tensión a la entrada, ésta quedará atenuada a la salida por el factor de regulación.

3.8 Circuito estabilizador con diodo zener

Para que el diodo zener funcione como tal debe estar funcionando en la zona de ruptura. La resistencia limitadora para polarizar adecuadamente al diodo la calculamos del circuito de la figura 3.23.

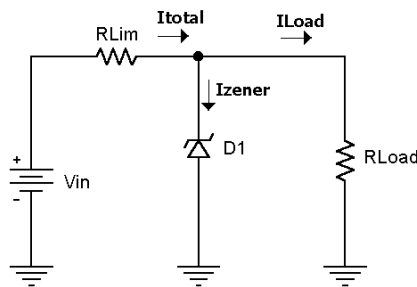


Figura 3.23: Circuito estabilizador de tensión

Nótese que esta ecuación corresponde a la utilización del zener sin aproximación, es decir, la tensión en bornes del diodo zener es la suministrada por el fabricante, no teniendo en cuenta el efecto perturbador de la impedancia zener. Si deseamos utilizar el zener con la aproximación y/o resistencia de carga variable y/o tensión de entrada variable, la ecuación 3.23 puede variar sus elementos de forma apreciable.

$$R_{Lim} = \frac{V_{in} - V_{D1}}{I_{zener} + I_{Load}} \tag{3.23}$$

Si estamos trabajando con un diodo zener de más 5.6V deberemos de tener en cuenta la aproximación expresada en la ecuación 3.18 y, partiendo de la ecuación 3.23, si sustituimos los valores que las integran, es decir, I_{Load} y V_{D1} , nos queda

$$V_{D1} = V'_z + (Z_z \cdot I_z) \qquad I_{Load} = \frac{V_{D1}}{R_{Load}}$$

$$R_{Lim} = \frac{V_{in} - V'_Z - (Z_Z \cdot I_Z)}{I_{zener} + \frac{V'_Z + (Z_Z \cdot I_Z)}{R_{Load}}}$$

Reagrupando términos, nos queda

$$R_{Lim} = \frac{V_{in} - V'_Z - (Z_Z \cdot I_{zener})}{I_{zener} \left(I + \frac{Z_Z}{R_{Load}} \right) + \frac{V'_Z}{R_{Load}}}$$

$$I_{Zener} = \frac{V_{in} - V'_Z \left(I + \frac{R_{Lim}}{R_{Load}} \right)}{R_{Lim} \left(I + \frac{Z_Z}{R_{Load}} \right) + Z_Z} \quad (3.24)$$

Esta ecuación nos ofrece el valor de la resistencia limitadora del diodo zener con la aproximación citada, resistencia de carga fija y tensión de entrada fija. Si necesitamos que la entrada de tensión sea variable y la resistencia de carga también lo sea, la ecuación 3.24 se convierte en

$$R_{Lim\ min} = \frac{V_{In\ max} - V'_Z - (Z_Z I_{Zener\ max})}{I_{Zener\ max} \left(I + \frac{Z_Z}{R_{Load\ max}} \right) + \frac{V'_Z}{R_{Load\ max}}} \quad (3.25)$$

Indicándonos el **mínimo valor que podremos colocar** en la resistencia limitadora para que el circuito funcione correctamente. Para un valor inferior de R_{Lim} , el circuito puede dejar de funcionar, estropeándose el diodo zener por exceso de corriente.

De la misma forma, para el caso contrario, nos queda

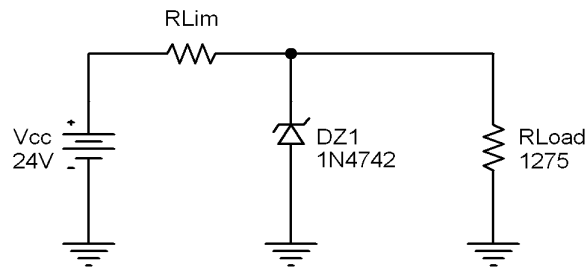
$$R_{Lim\ max} = \frac{V_{In\ min} - V'_Z - (Z_Z I_{Zener\ min})}{I_{Zener\ min} \left(I + \frac{Z_Z}{R_{Load\ min}} \right) + \frac{V'_Z}{R_{Load\ min}}} \quad (3.26)$$

Este será el **máximo valor que podremos colocar** en la resistencia limitadora para que el circuito funcione correctamente. Para un valor superior de R_{Lim} , el zener dejará de estar en zona de ruptura (por falta de corriente) y la tensión de salida no estará regulada, aunque el diodo zener no se estropeará.

Analizados los elementos que componen una fuente de alimentación regulada, nos queda abordar el cálculo completo de algunas de ellas.

3.9 Ejercicios tipo

- 3.9.1 Calcule el circuito estabilizador mediante diodo zener de la figura. Obtenga la corriente a través de la carga, teniendo en cuenta una corriente por el diodo zener del 50% de I_{ZM} , la corriente total solicitada a la fuente y la resistencia limitadora del diodo zener.



De la tabla 3.20 podemos obtener los valores característicos del zener del circuito, es decir:

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= 12V \\ Z_{Zener} &= 9\Omega \\ I_{ZM} &= 76mA \end{aligned}$$

Como la tensión zener supera los 5.6V utilizaremos la aproximación de la ecuación 3.18 para calcular la tensión en bornes del diodo. Teniendo en cuenta el 50% de la corriente zener máxima, nos queda

$$V_{Z(KA)} = V_Z' + (Z_Z \cdot I_Z) = 12 + (9 \cdot 38 \cdot 10^{-3}) = 12.34V$$

Esta tensión también será la existente en bornes de la carga, con lo cual la corriente a través de la misma tendrá un valor de

$$I_{Load} = \frac{V_{Z(KA)}}{R_{Load}} = \frac{12.34}{1275} = 9.67mA$$

Sumando esta cantidad a la que circula por el diodo zener obtendremos la corriente total solicitada a la fuente.

$$I_T = I_Z + I_{R_{Load}} = 38 \cdot 10^{-3} + 9.67 \cdot 10^{-3} = 47.67mA$$

Esta corriente también es la que circula por la resistencia limitadora, encargada de polarizar el zener en zona de ruptura, que deberá tener un valor de

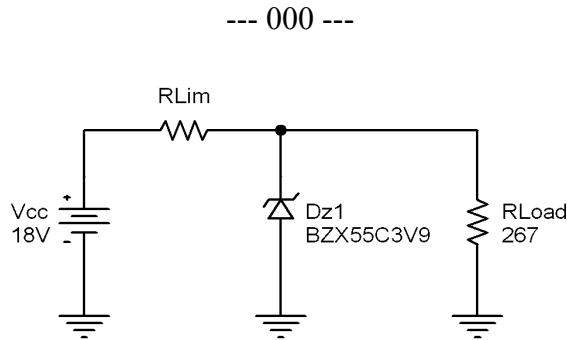
$$R_{Lim} = \frac{V_{CC} - V_{Z(KA)}}{I_T} = \frac{24 - 12.34}{47.67 \cdot 10^{-3}} = 244.59\Omega$$

Además, podríamos calcular la potencia disipada por la resistencia limitadora y la carga del circuito, mediante el efecto Joule, que serían de

$$P_{RLim} = R_{Lim} \cdot I_T^2 = 0.55W$$

$$P_{R_{Load}} = R_{Load} \cdot I_{Load}^2 = 0.11W$$

3.9.2 Calcule la resistencia limitadora del circuito estabilizador mediante diodo zener de la figura. Fije una corriente zener del 61% de I_{ZM} .



De la tabla 3.19 podremos obtener los siguientes valores del diodo zener BZX55C3V9

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= 3.9V \\ Z_{Zener} &= 85\Omega \\ I_{ZM} &= 95mA \end{aligned}$$

Como la tensión zener es inferior a 5.6V no utilizaremos ninguna aproximación para obtener el valor de la tensión en bornes del diodo. Aplicando la ecuación 3.17, nos queda

$$V_{Z(KA)} = V'_Z = 3.9V$$

Esta tensión será idéntica a la de los extremos de la resistencia de carga, con lo cual

$$I_{Load} = \frac{V_{Z(KA)}}{R_{Load}} = \frac{3.9}{267} = 14.6mA$$

Y aplicando la ecuación 3.23 obtendremos la resistencia limitadora necesaria para el correcto funcionamiento del circuito.

$$R_{Lim} = \frac{V_{in} - V_{DZ1}}{I_{zener} + I_{Load}} = \frac{18 - 3.9}{57.95 \cdot 10^{-3} + 14.6 \cdot 10^{-3}} = 194.34\Omega$$

Aclaración:

Si por despiste, se nos hubiese ocurrido obtener el valor de la tensión en bornes del zener mediante la ecuación 3.18, hubiésemos obtenido

$$V_{Z(KA)} = V'_Z + (Z_Z \cdot I_Z) = 3.9 + (85 \cdot 57.95 \cdot 10^{-3}) = 8.82V$$

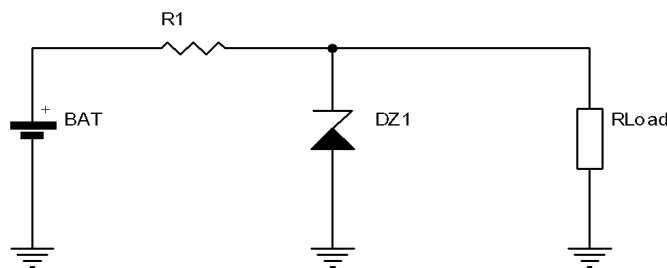
Un valor a todas luces erróneo y exagerado, ya que, tendríamos un estabilizador de tensión que nos ofrece 2.26 veces la tensión solicitada.

3.9.3 Con los datos del ejercicio, calcule la tensión de la batería para que el circuito de la figura funcione correctamente. Estime un valor adecuado de la corriente por el zener.

--- 000 ---

Los datos de este ejercicio son

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= BZX55C9V1 \\ R_{Load} &= 1000\Omega \\ R_1 &= 220\Omega \end{aligned}$$



De la tabla 3.19 obtenemos los valores del diodo zener

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= 9.1V \\ Z_{Zener} &= 10\Omega \\ I_{ZM} &= 43mA \end{aligned}$$

Dado que la tensión zener supera los 5.6V utilizaremos la aproximación de la ecuación 3.18 para calcular la tensión en bornes del diodo. Estimaremos un 25% de la corriente zener máxima I_{ZM} , con lo que nos queda

$$V_{Z(KA)} = V_z' + (Z_z \cdot I_z) = 9.1 + (10 \cdot 10.75 \cdot 10^{-3}) = 9.2V$$

Esta tensión también será la existente en bornes de la carga, con lo cual la corriente a través de la misma tendrá un valor de

$$I_{Load} = \frac{V_{Z(KA)}}{R_{Load}} = \frac{9.2}{1000} = 9.2mA$$

Sumando esta cantidad a la que circula por el diodo zener obtendremos la corriente total solicitada a la batería.

$$I_T = I_z + I_{R_{Load}} = 10.75 \cdot 10^{-3} + 9.2 \cdot 10^{-3} = 19.95mA$$

La tensión necesaria en la batería será la suma de la tensión en bornes del diodo zener, más la caída de tensión en la resistencia limitadora, que la obtendremos mediante

$$V_{RLim} = R_{Lim} \cdot I_T = 220 \cdot 19.95 \cdot 10^{-3} = 4.38V$$

Con lo cual, la tensión necesaria en la batería será de

$$BAT = V_{Z(KA)} + V_{RLim} = 9.2 + 4.38 = 13.58V$$

3.9.4 Justifique si, en el circuito de la figura, se produce la destrucción del diodo zener por superación de la corriente zener máxima.

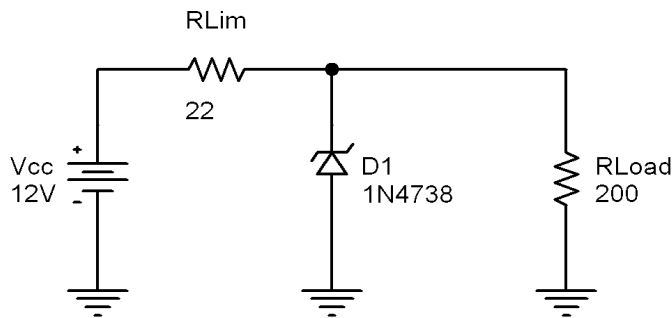
--- 000 ---

De la tabla 3.20 obtenemos los valores característicos del diodo zener

$$V_{Zener} = 8.2V$$

$$Z_{Zener} = 4.5\Omega$$

$$I_{ZM} = 110mA$$



Aclaración:

En un principio se podría pensar en calcular la tensión en bornes del zener suponiendo, por ejemplo, un 50% la I_{ZM} , obtener la corriente por la carga, sumar estos valores de corriente y decidir en consecuencia. Esto es

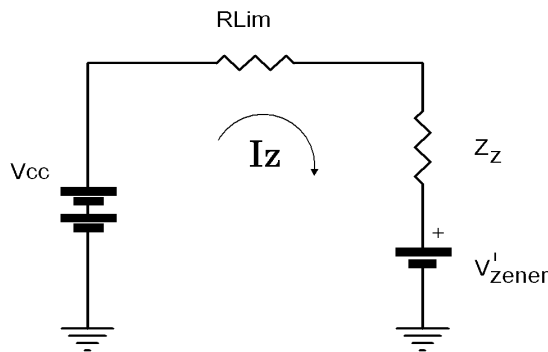
$$V_{Z(KA)} = V_Z + (Z_Z \cdot I_Z) = 8.2 + (4.5 \cdot 55 \cdot 10^{-3}) = 8.44V$$

$$I_{Load} = \frac{V_{Z(KA)}}{R_{Load}} = \frac{8.44}{200} = 42.2mA$$

$$I_T = I_Z + I_{R_{Load}} = 55 \cdot 10^{-3} + 42.2 \cdot 10^{-3} = 97.2mA$$

En base a este cálculo, podríamos decidir que el valor de I_T es suficientemente inferior a I_{ZM} y, en consecuencia, **decidir erróneamente que el zener no se destruiría**. Pero esto sería tener una visión premeditada de lo que sucede en el circuito al desconectarse la carga. Lo que realmente sucede es lo siguiente.

Dado que se solicita si se excede el valor de I_{ZM} al desconectar R_{Load} y que debido a la tensión del diodo zener utilizaremos la aproximación matemática expresada en la ecuación 3.18, obtendremos el circuito equivalente siguiente para tal caso.



Calculando la corriente que circula por la malla, tendremos

$$I_Z = \frac{V_{CC} - V'_{Zener}}{R_{Lim} + Z_Z} = \frac{12 - 8.2}{22 + 4.5} = 143.39 \text{ mA}$$

Como podemos apreciar ahora, el valor obtenido es muy superior al máximo soportado por el diodo zener, con lo que **supondría la destrucción del diodo** si la carga se desconectase por algún motivo.

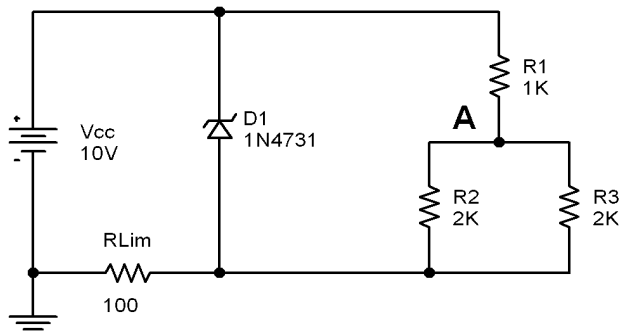
Moraleja: Realizar cálculos premeditados y sin base científica puede ser un mal consejero en la resolución de problemas de Ingeniería.

3.9.5 Calcule en el circuito de la figura la tensión entre el punto A y masa. ¿Cómo afectará y en qué medida la desconexión de R_1 a la tensión en bornes del diodo zener?.

--- 000 ---

De la tabla 3.20 obtenemos los valores característicos del diodo zener 1N4731.

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= 4.3V \\ Z_{Zener} &= 9\Omega \\ I_{ZM} &= 217mA \end{aligned}$$



El circuito de la figura es idéntico al circuito estabilizador clásico, salvo que la resistencia limitadora está en la rama inferior. El ejercicio nos solicita el valor de la tensión entre el punto A y masa y, al estar la resistencia limitadora antes de la conexión a masa, deberemos tener en cuenta la caída de tensión en esta resistencia y no pensar que la red de resistencias en derivación R_2 y R_3 están entre R_1 y masa como podría parecer en primera instancia.

Si observamos con detenimiento el circuito, las resistencias R_1 , R_2 y R_3 están conectadas entre los bornes del diodo zener, con lo que será muy fácil calcular el valor de tensión en esta red, máxime cuando R_2 y R_3 son del idéntico valor. Esto quiere decir que tenemos entre bornes del diodo zener dos resistencias en serie de

$$R_{Eq} = R_1 + (R_2 // R_3) = 1000\Omega + 1000\Omega$$

Luego la tensión en bornes de la resistencia equivalente es el 50% de la existente entre bornes del diodo zener. Al aplicar la ecuación 3.17, en bornes de R_2 y R_3 tendremos

$$V_{R2//R3} = \frac{V_{Z(KA)}}{2} = \frac{4.3}{2} = 2.15V$$

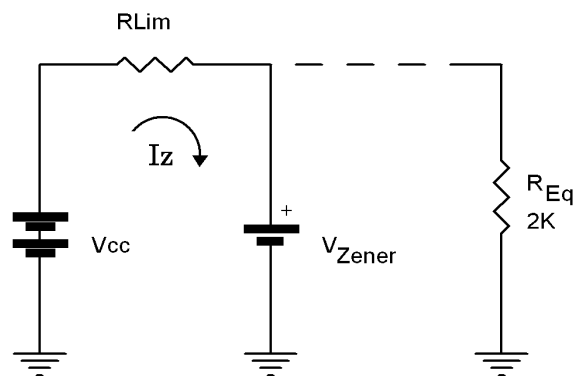
Si la tensión en bornes del diodo zener es de 4.3V, el resto hasta el valor de V_{CC} caerá en la resistencia limitadora, es decir

$$V_{RLim} = V_{CC} - V_{Z(KA)} = 10 - 4.3 = 5.7V$$

La suma de estas dos últimas cantidades será la solución de la primera pregunta del ejercicio, es decir

$$V_{A-Masa} = V_{RLim} + V_{R2//R3} = 5.7 + 2.15 = 7.85V$$

Sobre la otra cuestión, **la desconexión de R_1 no afectará a la tensión en bornes del diodo zener**, ya que no estamos utilizando aproximación alguna para el cálculo de la tensión y ésta la consideramos fija. Siempre y cuando la resistencia equivalente que coloquemos en paralelo con el zener no le solicite una corriente suficiente como para despolarizarle, la tensión en bornes del zener será estable. El circuito resultante al desconectar R_1 es



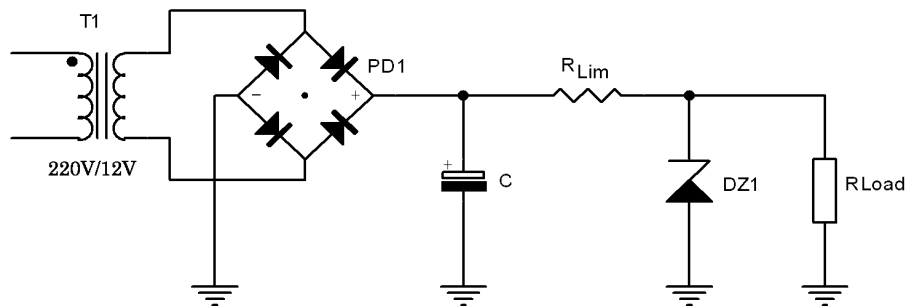
Si deseamos calcular ahora la corriente que circula por la malla, tendremos

$$I_Z = \frac{V_{CC} - V_{Zener(KA)}}{R_{Lim}} = \frac{10 - 4.3}{100} = 57mA$$

3.9.6 Calcule una fuente regulada zener para obtener 7.5V a la salida con un rizado máximo de 100mV_{pp}. La carga a conectar será de 180Ω. Se considera oportuno que el diodo zener trabaje al 50% de su corriente máxima. El diseño deberá soportar la desconexión de la carga sin pérdida de funcionamiento. Calcule igualmente el factor de regulación del circuito, la corriente de pico en los diodos y la potencia disipada en la resistencia limitadora. El transformador utilizado será de 220/12V_{ef}.

--- 000 ---

Antes de comenzar con la resolución definitiva del ejercicio deberemos estimar algunos valores iniciales del mismo. Estos datos nos permitirán averiguar si es posible un buen funcionamiento del circuito a priori. Para ello, empezaremos por calcular una estimación de la corriente total consumida por el conjunto, y con ello, suponer si el zener soportará la desconexión de la resistencia de carga sin su destrucción por exceso de corriente.



De la tabla 3.19 o 3.20, podremos seleccionar el zener adecuado para este circuito y obtendremos los datos que nos interesan del diodo. Al tener mayor potencia de disipación seleccionaremos mejor la tabla 3.20. El zener adecuado será el 1N4737, y sus datos más característicos son

$$\begin{aligned} V_{Zener} &= 7.5V \\ Z_{Zener} &= 4\Omega \\ I_{ZM} &= 121mA \end{aligned}$$

Estimación:

Considerando la tensión del diodo zener como la ofrecida por el fabricante, podemos estimar la corriente por la carga, que será aproximadamente

$$I_{RLoad} = \frac{V_Z}{R_{Load}} = \frac{7.5}{180} = 41.66 mA$$

La corriente por el zener será la estimada en el enunciado del 50% de I_{ZM} , que tiene un valor de 60.5mA. Esto nos generará un consumo estimativo total del circuito de

$$I_{Total} = I_{Load} + I_{Zener} = 0.04166 + 0.0605 = 102.16 \text{ mA}$$

Conocidos estos datos podremos decir que

El circuito es posible que soporte la desconexión de la carga, ya que, incluso absorbiendo el diodo zener el total de la corriente de la carga, estaría trabajando aproximadamente al 84.4% de la corriente máxima admisible.

Pasando al cálculo efectivo del circuito, obtendremos la tensión en el diodo zener aplicando la aproximación expresada en la ecuación 3.18. El valor de la corriente zener es del 50% de I_{ZM} citados en el enunciado.

$$V_{Z(KA)} = V'_Z + (Z_Z I_Z) = 7.5 + (4 \cdot 0.0605) = 7.74 \text{ V}$$

Conocida la tensión de salida del diodo zener, podremos calcular de nuevo las corrientes por el circuito.

$$I_{Load} = \frac{V_{Zener(KA)}}{R_{Load}} = \frac{7.74}{180} = 43 \text{ mA}$$

Siendo la corriente total consumida de

$$I_{Total} = I_{Load} + I_{Zener} = 0.043 + 0.0605 = 103.5 \text{ mA}$$

Calculando ahora el valor del condensador de filtrado, ecuación 3.11

$$C = \frac{I_{Total} \cdot t}{\Delta V_{pp}} = \frac{0.1035 \cdot 0.01}{0.1} = 0.01035 \text{ F}$$

El tiempo de 10ms corresponde a la frecuencia de 100Hz de la señal de salida de un rectificador de onda completa, apartado 3.5.

Lo que nos obligará a utilizar un condensador de 10350 μ F para una tensión de 7.5V, algo más de 100mA y un rizado de 100mV_{pp}. Este dato es, a todas luces, muy elevado. Existen soluciones y circunstancias para mejorar este circuito que se ofrecerán más adelante.

Estamos ahora en disposición de calcular el valor de la resistencia limitadora del diodo zener y el factor de regulación de la fuente. Ecuaciones 3.24 y 3.22 respectivamente.

Antes debemos obtener el valor de tensión en el condensador, que será de

$$V_C = (V_{Sec} \cdot \sqrt{2}) - V_{PDI} = 16.97 - 1.4 = 15.57 \text{ V}$$

El valor de tensión del secundario hay que pasarlo a valor de pico al estar dado en valor eficaz, y los 1.4V del puente de diodos corresponde a una caída estimada de 0.7V por

cada uno de los dos diodos que conducen en cada semiperíodo. Al ser la corriente total del circuito pequeña, aproximadamente una décima parte de la corriente total especificada por el fabricante, la estimación de 0.7V por diodo es correcta. Ver tabla siguiente de la serie 1N4001 a 1N4007.

Electrical Characteristics T_A = 25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Device							Units
		4001	4002	4003	400	400	4006	4007	
V _{RRM}	Peak Repetitive Reverse Voltage	50	100	200	400	600	800	1000	V
V _{RMS}	Maximum RMS Voltage	35	70	140	280	420	560	700	V
V _R	DC Reverse Voltage (Rated V _R)	50	100	200	400	600	800	1000	V
I _{RM}	Maximum Instantaneous Reverse Current @ rated V _R T _A = 25°C T _A = 100°C	5.0 500							μA μA
V _{FM}	Maximum Instantaneous Forward Voltage @ 1.0 A	1.1							V
I _{rr}	Maximum Full Load Reverse Current, Full Cycle T _A = 75°C	30							μA
C	Typical Junction Capacitance V _R = 4.0 V, f = 1.0 MHz	15							pF

Tabla 3.1: Datos parciales de la serie 1N4001-7

Aplicando ahora la ecuación 3.24, nos queda

$$R_{Lim} = \frac{15.57 - 7.5 - (4 \cdot 0.0605)}{0.0605 \left(1 + \frac{4}{180} \right) + \frac{7.5}{180}} = \frac{7.828}{0.1035} = 75.62 \Omega$$

Haciendo lo mismo con la ecuación 3.22, obtenemos

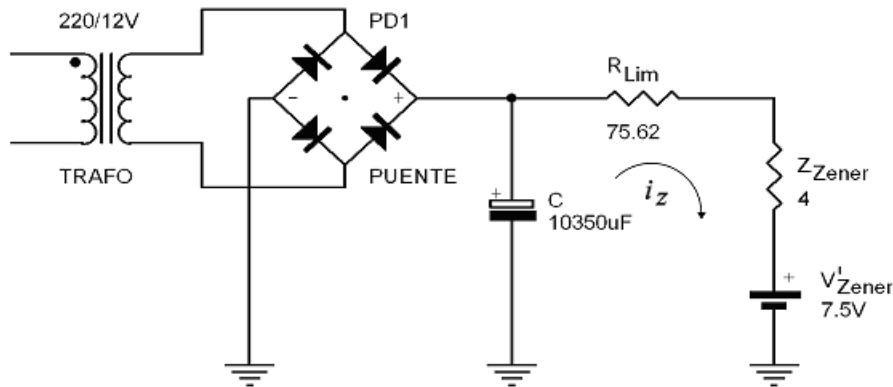
$$F_{reg} = \frac{4}{4 + 75.62} \cdot 100 = 5.02\%$$

Esto quiere decir que, las variaciones de tensión a la entrada del circuito, el diodo zener las atenúa hasta dejarlas en un 5.02% del valor inicial.

Para calcular la potencia disipada por la resistencia limitadora del diodo zener, aplicando el *efecto Joule*, nos queda

$$P_{Rlim} = R_{Lim} I_{Total}^2 = 75.62 \cdot 0.1035^2 = 810.06 \text{ mW}$$

Por otro lado, si se produjese la desconexión de la carga, el circuito se transformaría en el mostrado en la siguiente figura, y tendríamos una corriente por el zener de



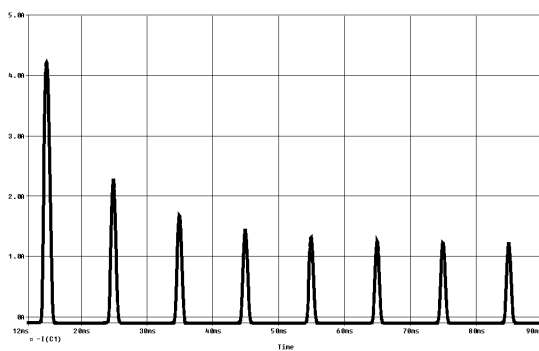
$$I_z = \frac{15.57 - 7.5}{75.62 + 4} = 101.35 \text{ mA}$$

Valor que está por debajo del límite máximo admisible por el diodo zener, los 121mA obtenidos de la tabla 3.20. Con lo cual, *el circuito no se estropearía ante una eventual desconexión de la resistencia de carga.*

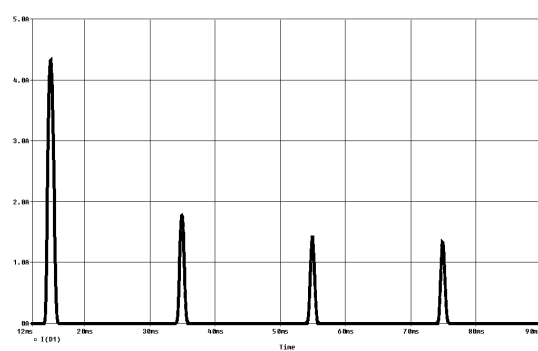
Si calculamos ahora la corriente que circula por el condensador aproximándole a su reactancia capacitiva, por efecto de la tensión de rizado del circuito, y teniendo en cuenta que el condensador estará trabajando como mucho la mitad de un semiciclo, nos queda

$$I_C = \frac{\Delta V_{pp}}{X_C} = \frac{0.1}{\frac{5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot 0.01035}} = 1.3 \text{ A}$$

Que sumados a los 103.51mA del zener y la carga, nos darán un total de 1.4A que circularán por el puente de diodos. Observando las gráficas de corrientes y tensiones que nos ofrece el simulador, observamos que los cálculos se acercan bastante a los obtenidos teóricamente.



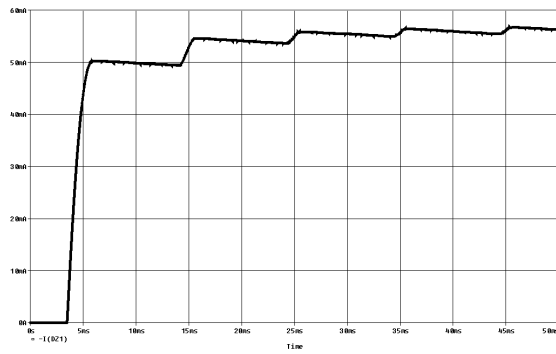
a) 1.25A



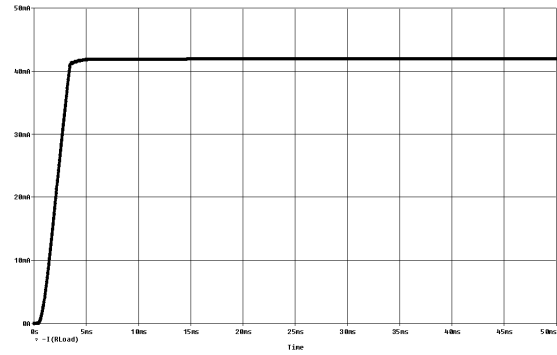
b) 1.35A

Corrientes en el condensador de filtrado y uno de los diodos del puente

Como se muestra, los datos de las corrientes por el zener y la resistencia de carga difieren poco de los cálculos teóricos.



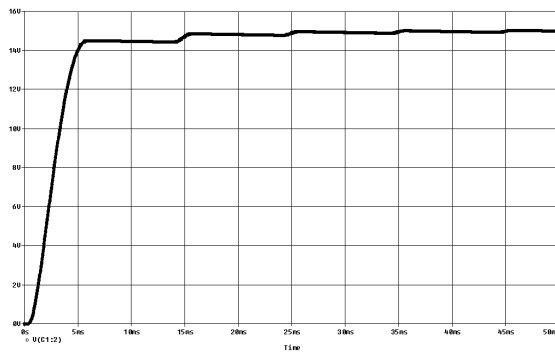
a) 57.03mA



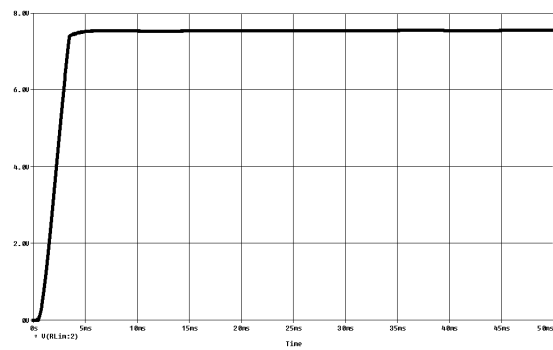
b) 41.9mA

Corrientes por el diodo zener y la carga

Para las tensiones en el condensador y salida del circuito igualmente se obtienen valores muy similares a los calculados teóricamente.



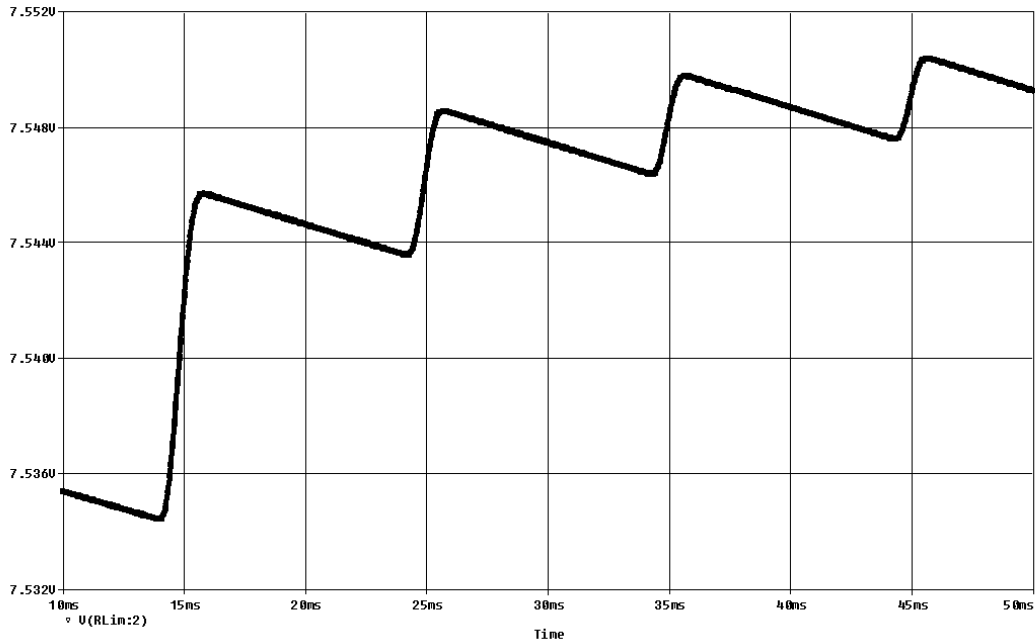
a) 15V



b) 7.55V

Tensiones en el condensador y salida del circuito

Si ampliamos la tensión del rizado a la salida del circuito, nos queda



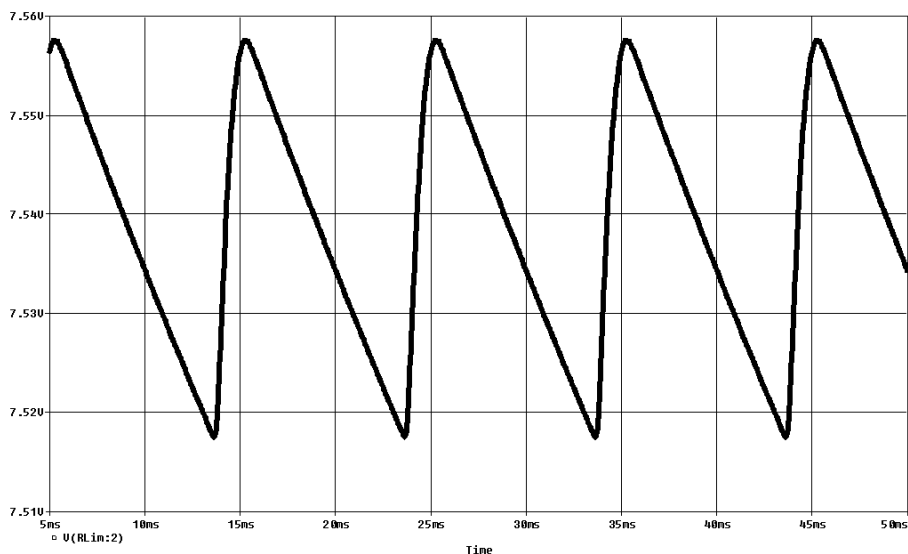
Ampliación del rizado a la salida del circuito. (2.7mV)

Este valor es muy inferior al solicitado. Esto se debe, fundamentalmente, a no haber introducido en el circuito la corrección del factor de regulación del diodo zener. Es decir, en nuestro cálculo todo el peso de la eliminación del rizado había recaído sobre el condensador.

Teniendo en cuenta este factor y para acercarnos con mayor precisión a los solicitados $100mV_{pp}$ en la carga, deberíamos calcular nuevamente el condensador con un valor igual a la disminución ofrecida por el factor de regulación del zener, es decir, el condensador sería de

$$C = 0.01035 \cdot 0.0502 = 519.57 \mu F$$

Realizando nuevamente la simulación del circuito con los estos valores, tenemos



Tensión de rizado en la salida del circuito con la corrección del Factor de regulación (40mV)

Aún alejándose este valor de los cálculos teóricos, se comprueba la mejora introducida por el zener, mediante el factor de regulación, en la disminución drástica (20 veces) del condensador de filtrado necesario para el correcto funcionamiento del circuito.

3.10 Problemas propuestos

3.10.1 Calcule la resistencia limitadora del diodo zener, R_1 , la corriente total consumida por el circuito y la tensión en R_{Load} .

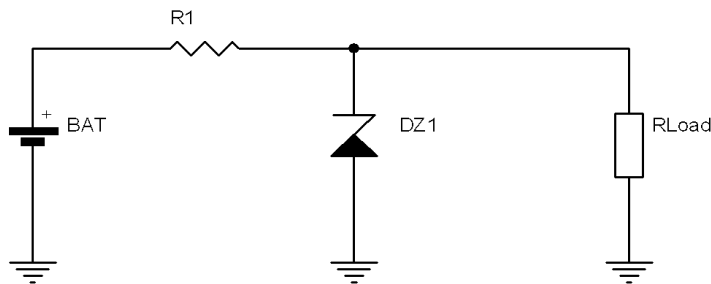
--- 000 ---

Los datos para solucionar este ejercicio son los siguientes

$$V_{Zener} = \text{BZX55C3V6}$$

$$R_{Load} = 470\Omega$$

$$V_{BAT} = 8V$$



3.10.2 Calcule los valores de la resistencia de carga que mantiene al zener dentro de la zona de ruptura.

--- 000 ---

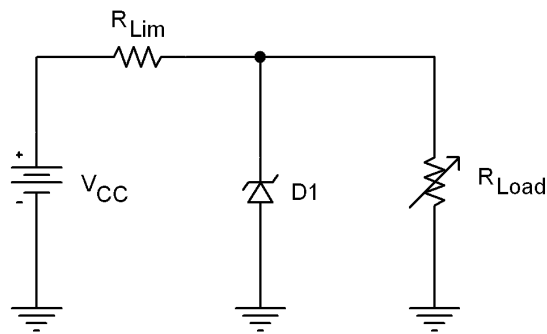
Los datos para solucionar el ejercicio son los siguientes

$$R_{Lim} = 73\Omega$$

$$D_1 = 1N4739$$

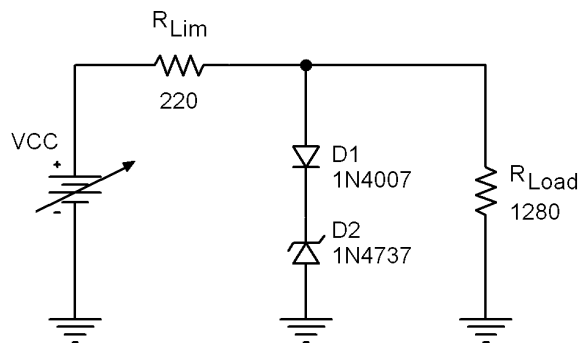
$$V_{CC} = 15V$$

$$I_{Zener} = \text{Considere entre el 10-80\% de } I_{ZM}$$



3.10.3 Calcule los valores de la tensión de alimentación que hacen funcionar al diodo zener de la figura en la zona de ruptura. Puede seleccionar un valor de I_{Zener} entre el 10-80% de I_{ZM} . $V_{D1} = 0.7V$.

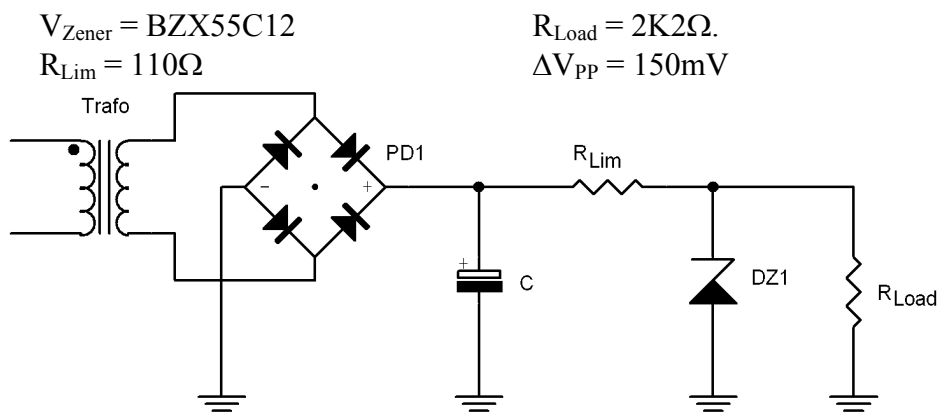
--- 000 ---



3.10.4 Calcule el condensador y el transformador adecuados para el correcto funcionamiento del circuito de la figura. Estime, justificadamente, los valores que pueda necesitar para completar el cálculo

--- 000 ---

Los datos necesarios para la resolución de este ejercicio son los siguientes



3.11 Bibliografía

1. Hambley, Allan R., *Electrónica*, Prentice-Hall, 2000, ISBN: 84-205-2999-0.
2. Savant, Jr., C. J., Roden, Martin S., Carpenter, Gordon L., *Diseño Electrónico. Circuitos y Sistemas*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1992, ISBN: 0-201-62925-9.
3. Malik, Norbert R., *Circuitos Electrónicos. Análisis, Simulación y Diseño*, Prentice Hall, 1999, ISBN: 84-89660-03-4.
4. Irwin, J. David, *Análisis básico de circuitos en ingeniería*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1997, ISBN: 968-880-816-4.
5. Cuesta, L., Gil Padilla, A. y Remiro, F., *Electrónica Analógica, Análisis de circuitos. Amplificación. Sistemas de Alimentación*, McGraw-Hill/Interamericana de España, 1991, ISBN: 84-7615-664-2.
6. Zorzano Martínez, Antonio, *Problemas de electrónica analógica*, Servicio de publicaciones de la Universidad de La Rioja, 1999, ISBN: 84-88713-96-7.