Eletrônica Analógica
Diodo Zener

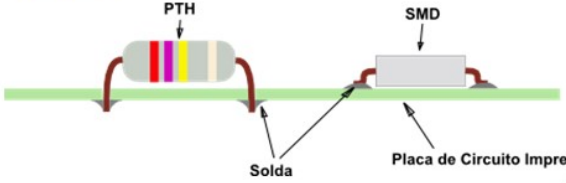
© Prof. Engº esp Luiz Antonio Vargas Pinto
www.vargasp.com
Ver. 10/2025

© Prof. Vargasp

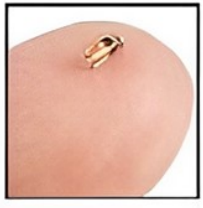
O diodo Zener

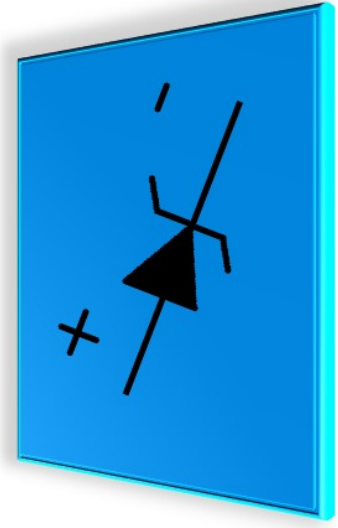
- Dr. Clarence Melvin Zener (☆01-12-1905 – ✞15-07-1993)
- primeiro a descrever e explorar a propriedade elétrica do diodo na região de ruptura ou avalanche (breakdown) – 3º quadrante
- Ele ocorre quando o campo elétrico aplicado pela tensão reversa é suficiente para quebrar as ligações covalentes, multiplicando rapidamente os portadores de carga.
- Este tipo de ruptura é denominado "ruptura zener" e o ponto no qual se inicia a ruptura zener é chamado de "tensão zener".

Tipos e símbolo



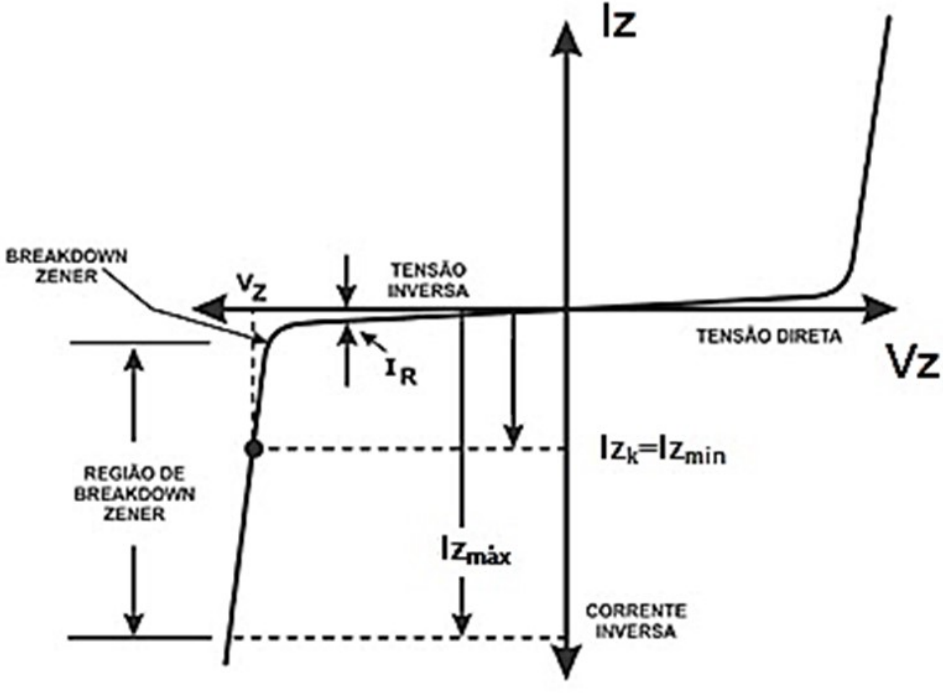
http://www.eletronpi.com.br/ce-006-pth-smd.aspx





© Prof. Vargasp

Curva característica



© Prof. Vargasp

Características

1. Até que a tensão reversa atinja o valor V_Z obtido da característica do Zener este se comporta como um diodo comum (não conduz)
2. Após atingir e passar de V_Z este passa a conduzir reversamente
   - diferente do diodo retificador
3. Conduzindo reversamente ele mantém V_Z constante até atingir a corrente reversa máxima, após o que, ele queima
4. Não temos aplicação para o diodo Zener como diodo comum
5. O datasheet raramente menciona a corrente reversa máxima. Na prática, compra-se o Zener com V_Z fixa e com a potência mais adequada a nosso projeto
   - Em outras palavras, compramos um diodo Zener com a potência disponível no mercado e calculamos:

$$i_{Z_{max}} = \frac{P_Z}{V_Z}$$

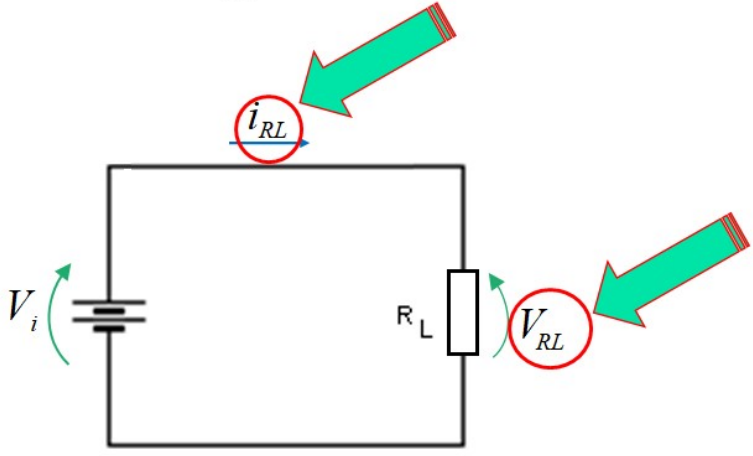
© Prof. Vargasp

Código	Tensão	Potência	Código	Tensão	Potência	Código	Tensão	Potência
1N746	3,3	400 mW	1N5227	3,6	500 mW	1N4751	30	1 W
1N747	3,6	400 mW	1N5228	3,9	500 mW	1N4752	33	1 W
1N748	3,9	400 mW	1N5229	4,3	500 mW	1N4753	36	1 W
1N749	4,3	400 mW	1N5230	4,7	500 mW	1N4754	39	1 W
1N750	4,7	400 mW	1N5231	5,1	500 mW	1N4755	43	1 W
1N751	5,1	400 mW	1N5232	5,6	500 mW	1N4756	47	1 W
1N752	5,6	400 mW	1N5234	6,2	500 mW	1N4757	51	1 W
1N753	6,2	400 mW	1N5235	6,8	500 mW	1N4758	56	1 W
1N754	6,8	400 mW	1N5236	7,5	500 mW	1N4759	62	1 W
1N755	7,5	400 mW	1N5237	8,2	500 mW	1N4760	68	1 W
1N756	8,2	400 mW	1N5239	9,1	500 mW	1N4761	75	1 W
1N757	9,1	400 mW	1N5240	10	500 mW	1N4762	82	1 W
1N758	10	400 mW	1N5242	12	500 mW	1N4763	91	1 W

Exemplos de Zener

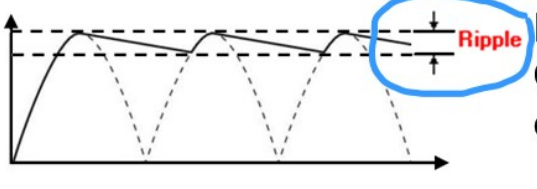
Processo

- Agora, considere as necessidades de uma carga que consome a corrente i_{RL} sob tensão constante V_{RL}.

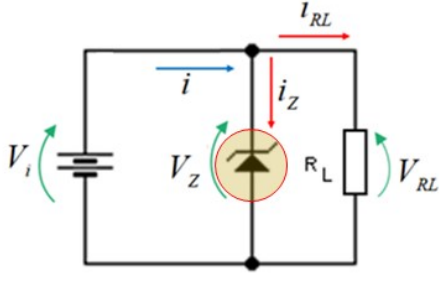


© Prof. Vargasp

- De fato nada poderia afetar a estabilidade desta carga e, claro, o Zener seria desnecessário. Entretanto, a simbologia da bateria V_i normalmente não representa de fato uma bateria, mas de uma fonte DC, talvez até mesmo, de um circuito retificador. Logo, ele poderia apresentar instabilidade causada pela oscilação da alimentação.

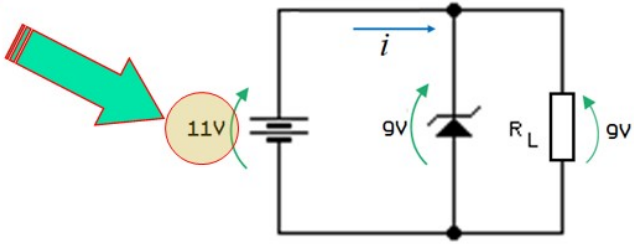


E isto afetaria o fornecimento da carga. Claro, colocando-se um zener em paralelo com a carga o problema seria "resolvido".

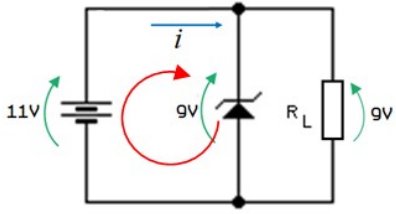


© Prof. Vargasp

- Mas o fato é que se $V_i = V_z = V_{RL}$ isto não representa um problema, mas se V_i variar, teríamos (por exemplo):

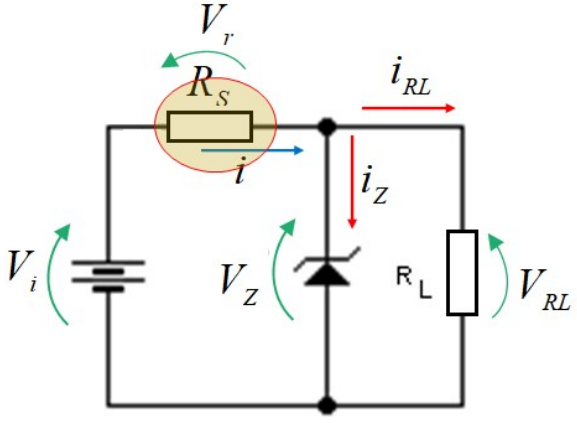


- E pela lei de Kirchhoff para as tensões, teríamos que 11V = 9V ??



© Prof. Vargasp

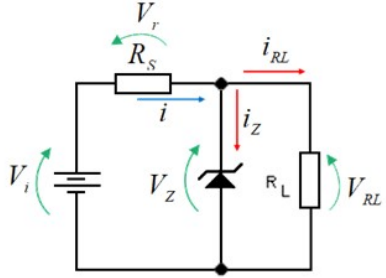
- o que, matematicamente não é possível, pois a carga, a fonte e o zener estão em paralelo (sujeitos a mesma tensão). Logo, se isto ocorresse, o zener queimaria. Para se evitar isto fazemos um ajuste incluindo R_S (um resistor SHUNT):



© Prof. Vargasp

- Agora, $V_Z = V_{RL}$ e $V_i = V_r + V_Z$ e resolvemos o problema !
- Mas há outro detalhe... Se V_i ficar abaixo de 11V, R_S prejudica a carga e o Zener.
- Assim, qual deveria ser o valor ideal de R_S para atender valores de V_i abaixo de 11V e acima de 11V ?
- Em tempo: Se mantivermos o Zener na região ativa, V_Z será praticamente constante, e o Zener está em paralelo com a carga. Se $V_{RL}=V_Z$, então a corrente e tensão na carga ficarão constante, que é o que desejamos. Assim, calculamos:

$$V_Z = V_{RL}$$
$$V_i = V_r + V_Z$$
$$i = i_Z + i_{RL}$$



© Prof. Vargasp

E pela lei de Ohm

$$V_r = R_S \times i$$

$$V_r = R_S(i_{RL} + i_Z)$$

- E sendo que:

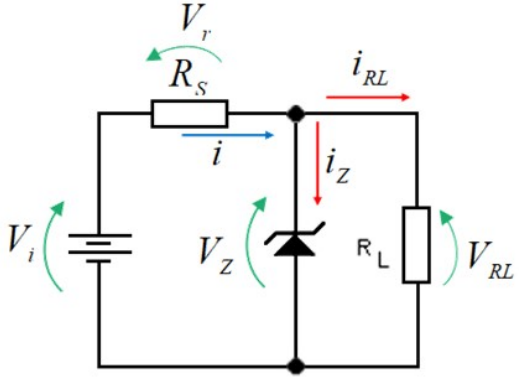
$$V_i = V_r + V_Z$$

$$V_i = R_s(i_{RL} + i_z) + V_Z$$

$$V_i - V_Z = R_s(i_{RL} + i_z)$$

$$R_s(i_{RL} + i_z) = V_i - V_Z$$

$$R_s = \frac{V_i - V_Z}{(i_{RL} + i_Z)}$$



© Prof. Vargasp

- Analisando os extremos percebemos que:

$$R_{S\,min} = \frac{V_{i\,max} - V_Z}{i_{RL} + i_{Z\,max}}$$

$$R_{S\,max} = \frac{V_{i\,min} - V_Z}{i_{RL} + i_{Z\,min}}$$

$$fração = \frac{numerador}{denominador}$$

- Porque ?
- Porque uma condição crítica seria quando i_Z fosse **máxima**, situação que aconteceria quando V_i fosse **máxima**. (Lembre-se que V_z não muda, mantendo i_{RL}, o que faz aumentar a corrente total i e a tensão sobre R_S (V_r)).

© Prof. Vargasp

Considerações

- Este é um caso bem simples, mas que exige uma análise detalhada sobre o comportamento de uma fonte de alimentação com ripple (γ) sobre uma carga constante.
- Embora não seja um caso geral, ou seja, aquele onde a carga varia e a fonte oscila, ajuda a compreender as leis de Kirchhoff, e o comportamento clássico do zener que fixa V_Z e oscila entre i_{ZMAX} e i_{ZMIN}.

© Prof. Vargasp

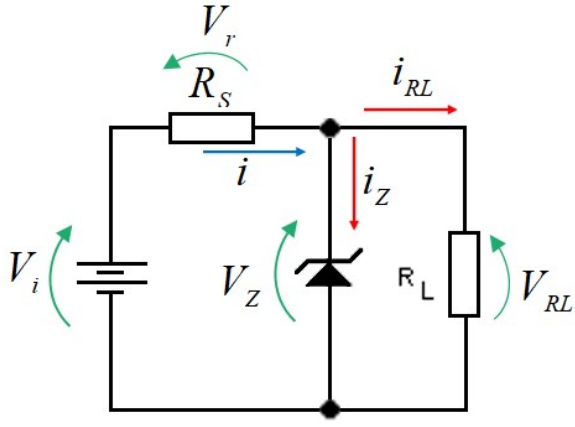
Exemplo

- É necessário alimentar uma carga de 500 Ω com uma tensão de 10 V a partir de uma fonte que fornece uma tensão que pode ter uma variação de 15 a 20 V. E para esta condição foi escolhido inicialmente o Zener 1N758 de 10V e 0,4W.

Dado i_{zmin} = 5 mA

Daí :

$$i_{Z_{max}} = \frac{P}{V} = \frac{0.4}{10} = 0.04A \; ou \; 40mA$$



© Prof. Vargasp

- Na condição "Zener conduzindo", $V_Z = V_L = 10V$ e $i_L = 10 / 500 = 20$ mA o que faz com que $i = 5 + 20 = 25$ mA. Claro que nesta situação a fonte estaria operando em condição mínima (15V) e em consequência disto:

$$R_{max} = \frac{V_{i_{min}} - V_Z}{i_{RL} + i_{Zmin}} = \frac{15 - 10}{20 \times 10^{-3} + 5 \times 10^{-3}} = \frac{5}{25 \times 10^{-3}} = 200\ \Omega$$

- Quando $V_i = 20V$ (máximo), o zener continua a conduzir. A carga ainda consome 20mA e a diferença passará sobre o zener
- E como V_Z não muda, quem muda é i_Z que passa a ser i_{ZMAX} assim:

© Prof. Vargasp

$$R_{min} = \frac{V_{i_{max}} - V_Z}{i_{RL} + i_{Zmax}} = \frac{20 - 10}{20 \times 10^{-3} + 40 \times 10^{-3}} = \frac{10}{60 \times 10^{-3}} = 167\ \Omega$$

- Conclusão:
- $200\ \Omega \leq R_S \leq 167\ \Omega$
- Do qual adotaremos um valor comercial de 180 Ω

© Prof. Vargasp

© Prof. Vargasp