

Capítulo 3 – Fonte Regulada de Tensão com Transistor TJB e Diodo Zener

Uma fonte estabilizada de tensão é uma fonte onde as variações sofridas pela tensão de saída V_L são pequenas quando comparadas com as variações da corrente de carga I_L e da tensão de alimentação V_E . O objetivo de uma fonte estabilizada de tensão é de manter sempre constante a tensão de saída, independentemente do valor da carga que está sendo colocada. Na prática, devido os componentes empregados na construção da fonte, sabemos que existirá limites para a sua utilização de forma segura, sem que a utilização da fonte seja realizada de forma destrutiva.

Estudaremos dois tipos de fontes de tensão regulada, uma usando apenas o diodo zener (já estudada em semestres anteriores) e a outra, usando o diodo zener e também um transistor TJB – NPN.

3.1– Fonte Regulada de Tensão com Diodo Zener

Os diodos Zener são componentes passivos de circuito (recebem energia) e são fabricados com valores de tensão e potência determinados, onde esses dados são fornecidos pelo fabricante ($P_{Zmáx}$ e V_Z). Esses valores serão muito importantes para o dimensionamento correto da fonte de tensão.

A Figura 3.1 a seguir mostra a curva característica de funcionamento do diodo. Perceba que existe uma pequena variação no valor da sua tensão V_Z (definida pelo fabricante) em função da corrente I_{Zmin} e $I_{Zmáx}$.

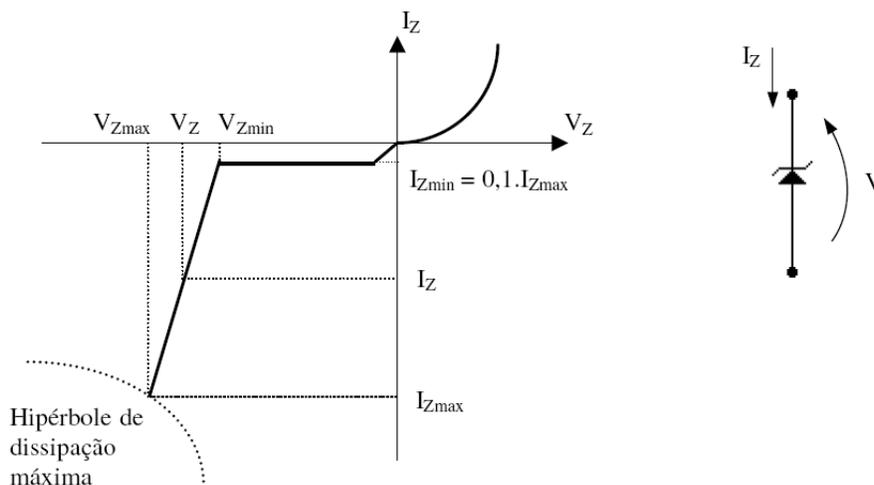
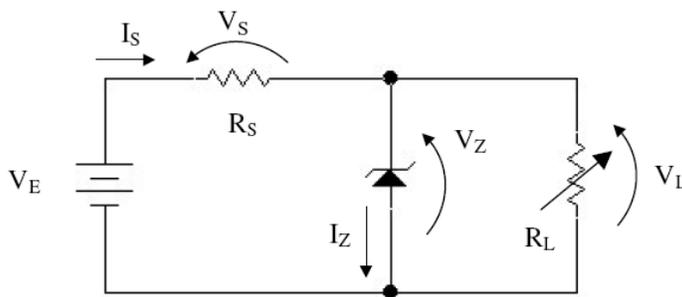


Figura 3.1 – Curva característica do diodo Zener e sua simbologia

O circuito da Figura 3.2 a seguir, representa uma fonte de tensão regulada usando apenas o diodo zener. Nesse circuito, temos a tensão V_E (não regulada / estabilizada), as resistências R_S e R_L . A função da resistência R_S é de polarizar o diodo zener e garantir que o mesmo trabalhe dentro da região ativa, já apresentada anteriormente pela Figura 3.1.



Análise:

$$V_Z = V_L = \text{cte}$$

$$V_S = V_E - V_Z = \text{cte}$$

como $R_S = \text{cte}$

$$\therefore I_S = \frac{V_S}{R_S} = \text{cte}$$

mas: $I_S = I_Z + I_L = \text{cte}$.

$$\therefore I_Z \nearrow \Rightarrow I_L \searrow$$

Figura 3.2 – Circuito da FET usando apenas Diodo Zener

3.1.1– Princípio de Funcionamento do Circuito

Realizando uma análise na malha que envolve o Diodo e a Resistência R_L , percebemos que V_Z possui o mesmo sentido de V_L , ou seja, a estabilidade da tensão de saída é garantida pela tensão estável proporcionada pelo diodo zener.

Analisando a malha que envolve a fonte de tensão V_E , a resistência R_S e o Diodo Zener, chegamos facilmente na relação apresentada pela Figura 3.2 ($V_E = V_S + V_Z$). Realizando uma análise nodal, podemos escrever a relação das correntes apresentada, onde $I_S = I_Z + I_L$.

Variações permitidas para R_L e V_E no circuito

a) Limites para R_L com V_E constante:

Quando estudamos esse caso, temos que levar em consideração a análise nodal apresentada acima. Vamos exemplificar dois casos extremos, usando um valor de R_L muito elevado ($R_L \rightarrow \infty$) e usando um valor de R_L baixo. Como a função da fonte de tensão é manter constante a tensão de saída, essa variação de R_L proposta, fará com que o valor da corrente na carga também receba essa variação, porém de forma inversa, ou seja:

$$R_{L_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MÁX}}$$

$$R_{L_{MÁX}} \rightarrow I_{L_{MIN}}$$

Como o valor de da resistência R_S está fixo, e não será alterado, qualquer alteração no valor de I_L fará com que a corrente I_Z seja alterada também, para que a relação apresentada pela análise nodal não se altere. Dessa forma, os valores muito elevados de R_L não são importantes e devemos levar em conta apenas os valores baixos de R_L para que a fonte não pare de funcionar.

CONCLUSÃO: Uma fonte de tensão regulada a zener apenas, fica sempre dependente do valor da carga a ser empregada para que não cause perturbações no funcionamento do Diodo Zener, componente este essencial para manter estável a tensão de saída. Dessa forma, podemos desenvolver o seguinte raciocínio:

$$R_{L_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MÁX}} \rightarrow I_{Z_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MÁX}} = I_S - I_{Z_{MIN}} \rightarrow R_{L_{MIN}} = \frac{V_Z}{I_{L_{MÁX}}}$$

$$\therefore R_{L_{MIN}} = \frac{V_Z}{(I_S - I_{Z_{MIN}})}$$

DICAS:

- ✓ O valor de R_S pode ser escolhido para colocar a corrente I_Z próxima do seu valor máximo, pois a medida que vamos diminuindo o valor de R_L , a corrente I_L vai aumentando fazendo com que I_Z diminua, garantindo a operação do zener;

$$R_S = \frac{V_E - V_Z}{I_{Z_{MÁX}}}$$

$$I_{Z_{MÁX}} = \frac{P_{Z_{MÁX}}}{V_Z}$$

- ✓ O valor da tensão V_E deve ser sempre maior do que o valor da tensão V_Z .

b) Limites para V_E com R_L constante:

Quando analisamos o circuito com essa configuração, considerando R_L como sendo constante, teremos também que o valor da corrente I_L passe a ser constante:

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L}$$

$$\therefore V_{E_{MIN}} = R_S * (I_{Z_{MIN}} + I_L) + V_Z$$

$$\therefore V_{E_{MÁX}} = R_S * (I_{Z_{MÁX}} + I_L) + V_Z$$

Sendo assim, com essas duas análises, garantimos o funcionamento da fonte estabilizada, mostrando os seus limites de operação para variações admissíveis na tensão de entrada e na carga a ser ligada nessa fonte

3.2 – Fonte Regulada de Tensão com Diodo Zener e Transistor

Uma forma de melhorar o sistema de regulação da tensão de saída da fonte estudada anteriormente é conseguida com a colocação de um transistor NPN ao sistema, resultando na montagem apresentada pela Figura 3.3 a seguir. A vantagem do acréscimo do transistor no circuito é que, a partir de agora, a corrente que a carga irá drenar da fonte, passará pelo transistor, e não mais pela resistência R_S , que polarizava o diodo zener. Sendo assim, agora na equação nodal (para o ponto de união entre a resistência R_S , o transistor e o diodo zener) fica definida pela soma de I_Z com I_B ($I_S = I_Z + I_B$). Dessa forma, como a parcela da corrente I_B é bem pequena, a polarização do diodo zener está garantida, independentemente da carga a ser colocada na FET.

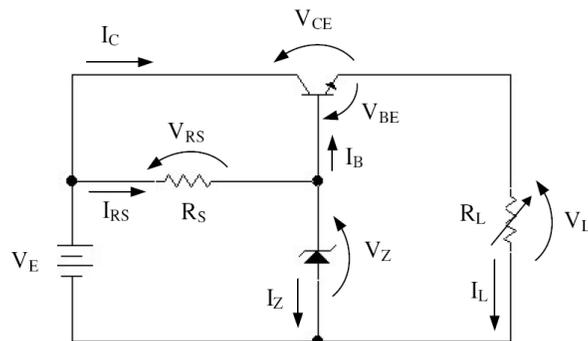


Figura 3.3 – Fonte de Tensão Estável com Transistor e Diodo Zener

3.2.1 – Princípio de Funcionamento do Circuito

Novamente, realizando uma análise na malha que envolve a resistência R_L , o diodo zener, e a base-emissor do transistor, a tensão V_L é garantida estável através do valor da tensão V_Z menos 0,7 Volts, que é a tensão V_{BE} do transistor ($V_L = V_Z - V_{BE}$).

Variações permitidas para R_L e V_E no circuito:

a) Limites para R_L com V_E constante:

Inicialmente, vamos fazer as mesmas considerações que fizemos quando analisamos o circuito sem o transistor. Vamos exemplificar dois casos extremos, usando um valor de R_L muito elevado ($R_L \rightarrow \infty$) e usando um valor de R_L baixo resultando nas definições abaixo já comentadas anteriormente.

$$R_{L_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MÁX}}$$

$$R_{L_{MÁX}} \rightarrow I_{L_{MÍN}}$$

Vamos analisar, a partir da linha de raciocínio apresentada acima, o pior caso, onde teremos a situação de R_L baixo, resultando em valores grandes de I_L . Para a malha que envolve o transistor e o diodo zener, podemos escrever as seguintes relações:

$$R_{L_{MIN}} \rightarrow I_{L_{MÁX}} \rightarrow V_L = V_Z - V_{BE}$$

Analisando a malha externa, que envolve o transistor, a resistência R_L e a fonte de tensão V_E , podemos dessa forma, determinar o valor de V_{CE} quiescente do circuito:

$$V_{CE_{QUIESCENTE}} = V_E - V_L$$

Uma aproximação válida, é dizer que a corrente de emissor é aproximadamente igual a corrente de coletor em um transistor. Dessa forma, podemos determinar através da potência máxima de coletor, uma corrente I_C (chamada de I_C por limite de potência) é definida em função do valor de V_{CE} quiescente, conforme o desenvolvimento matemático a seguir:

$$P_C = V_{CE} * I_C \rightarrow P_{C_{MÁX}} = V_{CE_{QUIESCENTE}} * I_{C_{Lim.Pot.}}$$

$$I_{L_{MÁX}} = I_{C_{Lim.Pot.}} = \frac{P_{C_{MÁX}}}{V_{CE_{QUIESCENTE}}}$$

$$\therefore R_{L_{MIN1}} = \frac{V_L}{I_{C_{Lim.Pot.}}} = \frac{(V_Z - V_{BE})}{\left(\frac{P_{C_{MÁX}}}{V_{CE}}\right)}$$

Vamos agora, realizar a mesma análise, porém do ponto de vista dos limites de operação do diodo zener. Analisando a malha que envolve o transistor, a resistência R_L e o diodo zener, podemos escrever a relação:

$$R_{L_{MIN2}} = \frac{V_L}{I_{L_{MÁX}}}, \text{ sendo } I_{L_{MÁX}} = I_{C_{MÁX}} = \beta * I_{B_{MÁX}}$$

Como o valor de I_S é constante e fixo definido pela resistência R_S , o valor de I_B pode ir aumentando até um determinado valor. Através da equação nodal apresentada e da curva característica de funcionamento do diodo zener, fica evidente que I_B pode aumentar até que seja atingido o valor de I_Z mínimo, para garantir o funcionamento da FET. Dessa forma, podemos escrever as seguintes relações:

$$I_{L_{MÁX}} \rightarrow I_{B_{MÁX}} \rightarrow I_{B_{MÁX}} = I_S - I_{Z_{MIN}} \therefore R_{L_{MIN2}} = \frac{(V_z - V_{BE})}{\beta * (I_S - I_{Z_{MIN}})}$$

Com os valores de $R_{L_{MIN1}}$ e $R_{L_{MIN2}}$ determinados, entre os valores **MÍNIMOS**, escolhemos o **MAIOR**.

b) Determinação dos valores limites para V_E com R_L constante:

Fixando o valor de R_L , passamos a manter a corrente I_L fixa e constante também. Como nas análises anteriores, vamos verificar os limites permitidos de variação da tensão V_E através das limitações do transistor e do diodo zener.

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \rightarrow cte \therefore I_B \rightarrow cte$$

Analisando a malha externa, que envolve o transistor, a resistência R_L e a fonte de tensão V_E , podemos escrever as seguintes relações:

$$V_{E_{MIN1}} = V_{CE_{SAT}} + V_L$$

$$V_{E_{MÁX1}} = V_{CE_{MÁX}} + V_L$$

$$V_{E_{MÁX2}} = V_{CE_{Lim.Pot.}} + V_L$$

$$V_{CE_{Lim.Pot.}} = \frac{P_{C_{MÁX}}}{I_L}$$

Analisando agora a malha interna, que envolve o diodo zener, a resistência R_S e a fonte de tensão V_E , podemos escrever as seguintes relações:

$$V_{E_{MIN2}} = R_S * (I_{Z_{MIN}} + I_B) + V_Z$$

$$V_{E_{MÁX3}} = R_S * (I_{Z_{MÁX}} + I_B) + V_Z$$

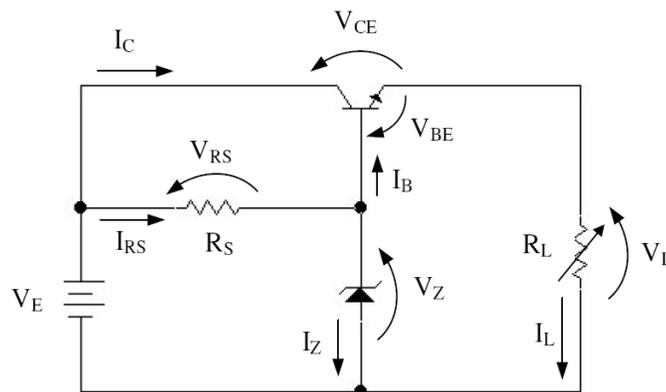
$$I_B = \frac{I_L}{\beta}$$

A faixa de operação permitida para a fonte de tensão V_E fica definida pela escolha entre os valores máximos e mínimos determinados nas duas análises. Eles serão escolhidos da seguinte forma:

- ✓ Entre os valores **MÍNIMOS**, devemos escolher o **MAIOR**.
- ✓ Entre os valores **MÁXIMOS**, devemos escolher o **MAIOR**.

3.3 – Exercícios

1. Calcular o valor de $R_{L_{MAX}}$ e $R_{L_{MIN}}$, sabendo-se que a tensão sobre o diodo zener é igual à $V_Z = 5,6\text{ V}$, a sua potência máxima é igual a $P_Z = 100\text{mW}$ e o valor da resistência é igual a $R_S = 640\Omega$. O transistor possui um valor de beta de aproximadamente 100 e a tensão $V_{BE} = 0,6\text{V}$. Faça a análise somente do ponto de vista do dimensionamento do diodo zener. Considere a potência do transistor muito alta.



2. Para o circuito anterior. Se $R_L = 100\Omega$, calcular a corrente no diodo zener.

- a) $I_Z = 9,5\text{mA}$.
- b) $P_Z = 50\text{mW}$.
- c) $I_Z = 10\text{mA}$.
- d) O zener queimará nesta condição.
- e) Nenhuma das anteriores.

3. Calcular a potência dissipada no transistor para $R_L = 100\Omega$.

- a) $P_C = 700\text{mW}$.
- b) $P_C = 1.200\text{mW}$.
- c) $P_C = 350\text{W}$.
- d) $P_C = 550\text{mW}$.
- e) Nenhuma das anteriores.