

#Lab.3327 – Aula 15

Eng. Francisco Souza Júnior

Novembro/2020

REGULADOR SÉRIE COM TRANSISTOR TBJ (PROJETO)

Seja o circuito genérico mostrado na Figura 1. Nesse circuito, podemos observar que a base é o terminal do transistor que é comum à entrada, que ocorre pelo coletor, e à saída do sinal, que ocorre pelo emissor.

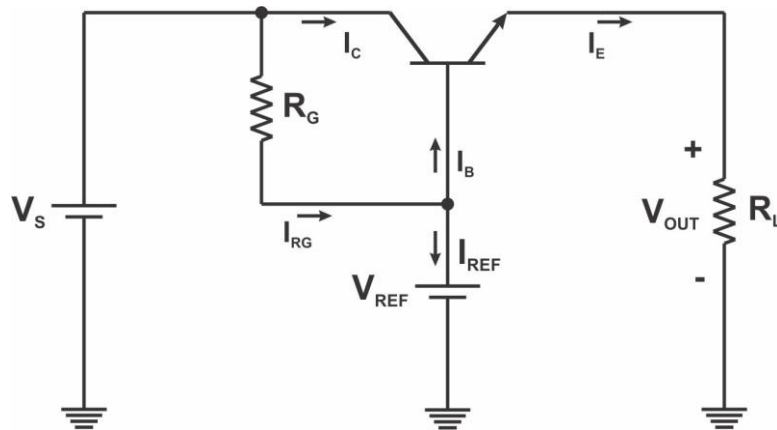


Figura 1 – Circuito básico de um regulador série.

Analisando a corrente no nó do coletor do transistor, temos:

$$I_S = I_{R_G} + I_C$$

Já a corrente do resistor R_G pode ser dada por:

$$I_{R_G} = I_{V_{REF}} + I_B$$

Como a tensão no resistor R_G é aproximadamente constante, uma vez que é definida pela diferença entre as tensões V_S e V_{REF} , podemos escrever a corrente em R_G como:

$$I_{R_G} = \frac{V_S - V_{REF}}{R_G}$$

A análise do circuito da Figura 1 pode ser realizada de duas maneiras: pela malha base-emissor e pela malha coletor-emissor.

Na malha base-emissor temos:

$$V_{REF} - V_{BE} - V_{OUT} = 0$$

$$V_{OUT} = V_{REF} - V_{BE}$$

Na malha coletor-emissor temos:

$$V_S - V_{CE} - V_{OUT} = 0$$

$$V_{OUT} = V_S - V_{CE}$$

Considere, entretanto, que por alguma razão, a tensão de saída aumenta. Como a tensão de referência é praticamente constante, esse aumento será refletido na tensão V_{BE} . Como podemos ver na Figura 2, extraída do *datasheet* do transistor BC 547, a diminuição da tensão V_{BE} provoca a diminuição das correntes do transistor.

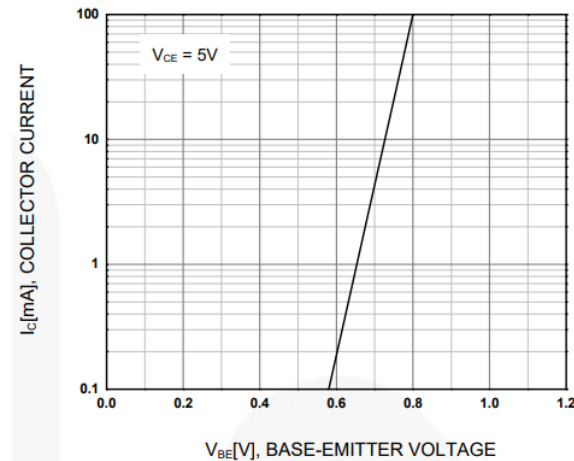


Figura 2 – Comportamento da corrente de coletor em função da tensão V_{BE} .

Com a diminuição das correntes do transistor, a tensão V_{CE} tende a aumentar, fazendo com que a tensão da saída diminua, tentando assim, retornar a tensão de saída ao valor anterior.. Esse comportamento acontece pelo fato de que quando a carga está conectada ao emissor do transistor, cria-se uma malha de realimentação para o transistor.

Contudo, os efeitos dessa realimentação no circuito da Figura 1, provocam modificações diretas no elemento de regulação, isto é, no transistor. Esse fato, faz com que esse circuito não apresente bons índices de segurança, sendo indicado para cargas que consomem valores de correntes de algumas centenas de mili amperes.

Uma maneira de obtermos uma referência de tensão para construirmos o circuito da Figura 1 é utilizando um diodo zener. Assim, o circuito do regulador série elementar tem seus componentes conforme apresentado na Figura 3.

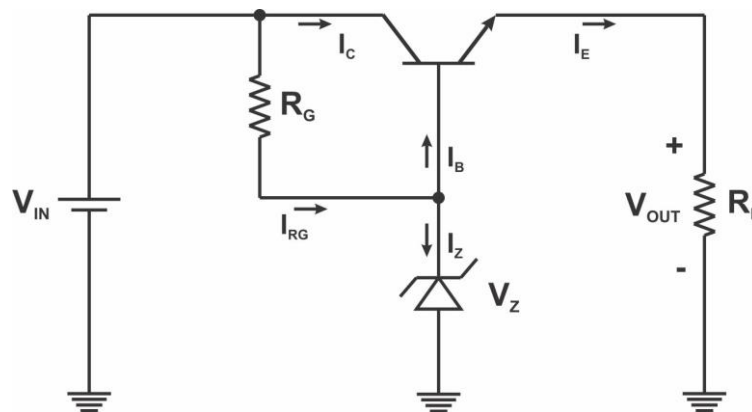


Figura 3 – Regulador série com diodo zener.

Como já sabemos, os diodos zener precisam conduzir um valor de corrente dentro de uma faixa que estabelece os limites mínimos e máximos de operação desse componente.

Para o projeto de hoje, vamos utilizar os seguintes parâmetros:

- Tensão de referência: diodo zener 1N4730A
- Tensão de entrada: 12V
- Variação da resistência de carga: 150-1,15kΩ

Sabendo que o diodo zener 1N4730A possui tensão zener igual a 3,9V e potência máxima de 1W, podemos definir os limites máximos e mínimos dessa corrente conforme segue-se:

$$I_Z^{MAX} = \frac{P_Z}{V_Z} \rightarrow I_Z^{MAX} = \frac{1}{3,9} = 256,4mA$$

$$I_Z^{min} = 0,1 \times I_Z^{MAX} \rightarrow I_Z^{min} = 0,1 \times 256,4mA \rightarrow I_Z^{min} = 25,64mA$$

A tensão na saída do regulador será dado, conforme já visto, pela diferença entre a tensão de regulação, 3,9V nesse caso, e a tensão V_{BE} , que vale aproximadamente 0,7V. Assim, temos:

$$V_{OUT} = V_Z - V_{BE}$$

$$V_{OUT} = 3,9 - 0,7$$

$$V_{OUT} = 3,2V$$

Assim, os limites de corrente na carga serão dados por:

$$I_L^{MAX} = \frac{V_{OUT}}{R_L^{min}} \rightarrow I_L^{MAX} = \frac{3,2}{150}$$

$$I_L^{MAX} = 21,33mA$$

$$I_L^{min} = \frac{V_{OUT}}{R_L^{MAX}} \rightarrow I_L^{min} = \frac{3,2}{1,15k}$$

$$I_L^{min} = 2,78mA$$

Como a carga do circuito está conectada ao emissor do transistor, as correntes encontradas acima são as correntes de emissor do transistor. Para projetar o circuito regulador série, vamos precisar definir o valor da resistência R_G . Já vimos uma relação entre as correntes do resistor R_G e as correntes da base e do diodo zener. Dessa forma, podemos escrever:

$$I_{R_G} = I_Z + I_B$$

$$\frac{V_S - V_{REF}}{R_G} = I_Z + I_B$$

A corrente de base, pode ser dada pela relação:

$$I_B = \frac{I_E}{1 + h_{FE}}$$

Como essa corrente de base pode sofrer modificações devido a variação da carga, teremos que projetar o circuito para a situação de máxima e de mínima corrente de base. Assim, como a corrente em R_G é constante, quando a corrente da base for máxima, a corrente do zener deve diminuir para equilibrar a equação e, quando a corrente da base for mínima a corrente do zener deve ser subir. Para garantir que o diodo zener irá operar adequadamente, precisamos fazer com que os limites de condução desse elemento estejam entre suas correntes I_Z^{MAX} e I_Z^{min} . Assim, teremos:

$$\frac{V_S - V_{REF}}{R_G'} = I_Z^{MAX} + I_B^{min}$$

$$\frac{V_S - V_{REF}}{R_G''} = I_Z^{min} + I_B^{MAX}$$

Substituindo os valores, temos:

$$\frac{12 - 3,9}{R_G'} = 256,4m + \frac{I_L^{min}}{1 + h_{FE}}$$

$$\frac{8,1}{R_G'} = 256,4m + \frac{2,78m}{1 + 350}$$

$$\frac{8,1}{R_G'} = 256,4m + 7,9\mu$$

$$\frac{8,1}{R_G'} = 256,41m$$

$$R_G' = 31,6\Omega$$

Na segunda equação, temos:

$$\frac{12 - 3,9}{R_G''} = 25,64m + \frac{I_L^{MAX}}{1 + h_{FE}}$$

$$\frac{12 - 3,9}{R_G''} = 25,64m + \frac{21,33m}{1 + 350}$$

$$\frac{12 - 3,9}{R_G''} = 25,64m + 60,8\mu$$

$$\frac{12 - 3,9}{R_G''} = 25,7m$$

$$R_G'' = 315,16\Omega$$