

Micro Tratado mesa-boca
sobre regulador de tensão em
série com amplificador de erro.

by Luiz Bertini
05/2008

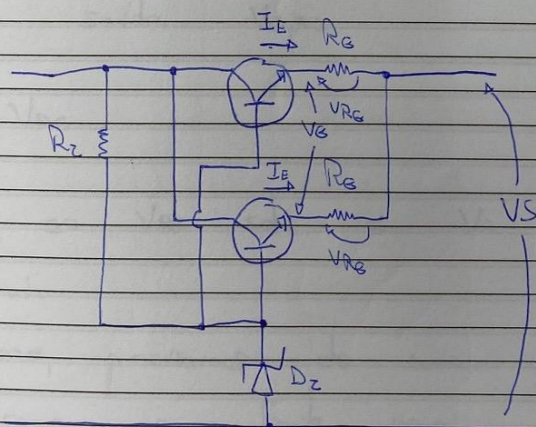
①

Quando vamos fazer uma fonte regulada podemos fazê-la utilizando um amplificador de erro em sua saída.

A função do amplificador de erro é corrigir variações de tensão da saída do regulador série e variações em sua saída.

Muitas vezes quando montamos uma fonte com mais de um transistor driver de corrente e usamos resistores de baixo valor em seus emissores, para equalizar as correntes entre os transistores, este tipo de amplificador de erro é o ideal.

Vejamos a Figura abaixo:



Usamos dois transistores em paralelo pois a corrente de saída da fonte é alta e colocamos

2

os resistores R_E para que a corrente se divida igualmente, ou próximo a isto, entre os dois transistores.

Podemos perceber que, quando maior o consumo de corrente da Fonte maior será a queda de tensão sobre R_E o que fará com que a tensão na saída diminua e varie entre valores diferentes de corrente solicitadas da Fonte. Quem para isto é a 2ª Lei de Ohm:

$$V = R_E \times I_E$$

Podemos perceber que quanto maior a corrente I_E , maior será a queda de tensão sobre R_E e menor a tensão na saída. Veja:

$$V_S = V_E - V_{R_E}$$

ou seja, se V_{R_E} sobe e V_E se mantém igual, V_S diminui.

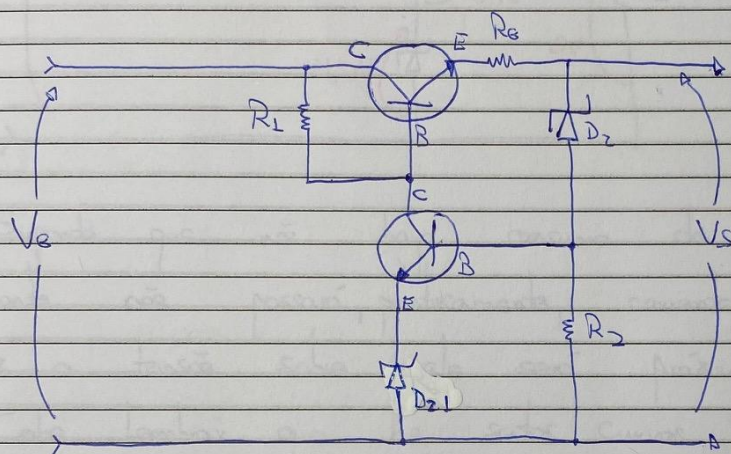
É, às vezes, precisamos de uma fonte muito precisa, como uma fonte para algum equipamento de precisão.

Vamos estudar o funcionamento de uma

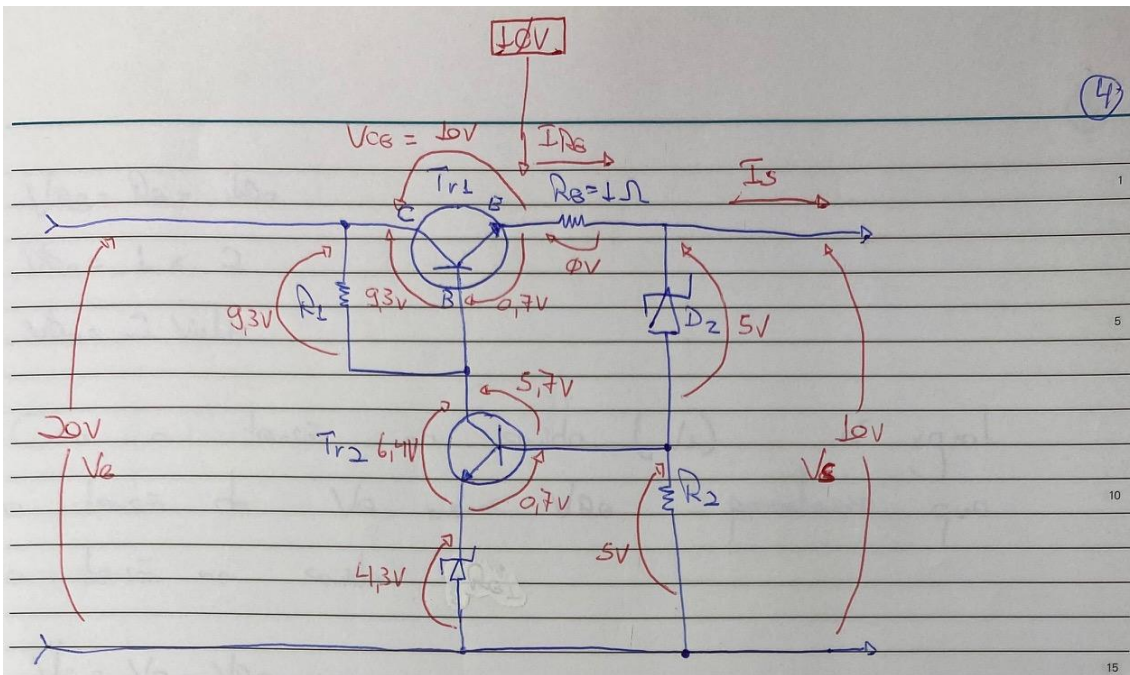
3

Fonte destes, com um transistor na saída, e depois vamos desenvolver as fórmulas para calcular os seus componentes.

Veja a Fonte:



Supondo que a tensão de entrada seja de 20 Volts ($V_e = 20V$) e a tensão de saída seja de 10 Volts ($V_s = 10V$) e o diodo zener seja de $5V \times 1W$ as tensões se distribuirão sobre os componentes da Fonte assim:



Supondo que não haja consumo de carga da Fonte não passará, praticamente, corrente sobre R_e e a tensão sobre ele será próximo a 0 Volts.

Cabe lembrar que as setas curvas indicam a tensão e a ponta da seta indica o ponto com maior potencial em relação ao terra.

As setas retas indicam a corrente e o sentido da seta indica a direção da ~~energia~~ corrente.

Vamos supor que o valor de R_e seja de 1 ohm e seja consumida da Fonte uma corrente de saída igual a 2 amperes.

Aplicando a 2ª Lei de Ohm sobre R_e podemos perceber o seguinte:

5

$$V_{RE} = R_E \times I_{RE}$$

$$V_{RE} = 1 \times 2$$

$$V_{RE} = 2 \text{ Volts}$$

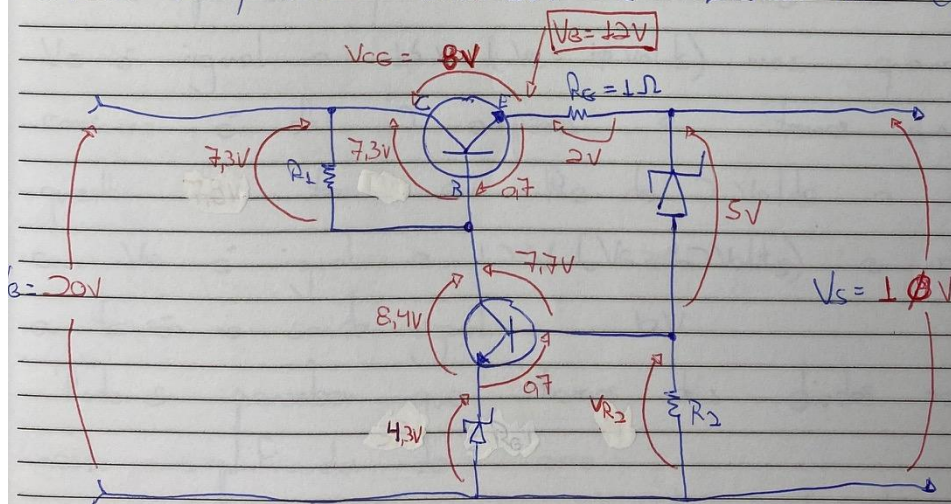
Como a tensão na saída (V_s) é igual a tensão de V_E menos V_{RE} percebemos que a tensão na saída cai:

$$V_s = V_E - V_{RE}$$

$$V_s = 10 - 2 = 8V$$

E aí, aumentei a corrente e nessa tensão caiu, mas que fonte porcaria...

Calma lá, vamos analisar as tensões do circuito:



Como a tensão na saída é igual a tensão na

6

entrada ($V_E = 20V$) menos a tensão entre coletor e emissor e a tensão sobre R_E teremos a tensão na saída igual a:

$$V_S = V_E - V_{CE} - V_{R_E}$$

$$V_S = 20 - 8 - 2 = 10V$$

Mas como? Se eu vi o desenho com as tensões?

É que isto acontece tão rápido que nem percebemos. Mas para analisar o circuito usamos a 3ª lei de Ohm, as equações de malhas, tudo em câmera lenta.

Podemos perceber que sem consumo a tensão em V_E é igual a $10V$ ($V_E = 10V$) mas quando o consumo é de 2 amperes e temos uma queda da tensão em R_E de 2 Volts a tensão em V_E é igual a $12V$ ($V_E = 12V$) e isto mantém a tensão na saída igual a $10V$.

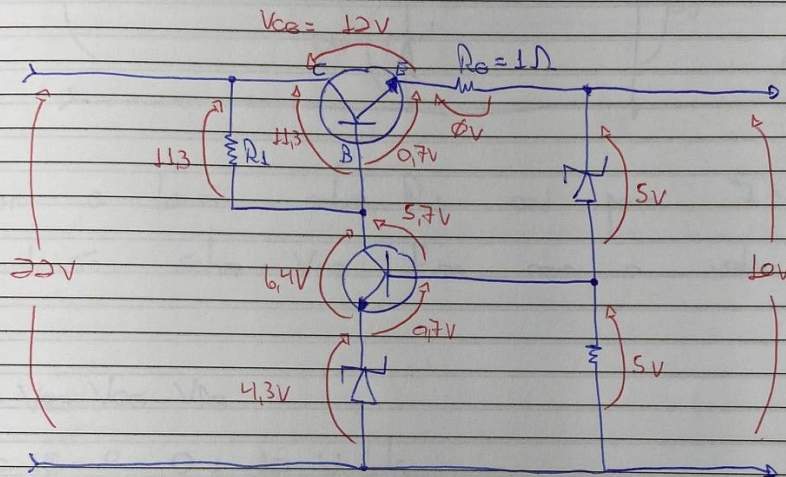
Podemos perceber que temos dois diodos zeners neste amplificador de erro.

A tensão em R_E varia muito rápido, bem como todos os outros e por isto nem a representamos, mas

(7)

o seu valor será "sempre" de 5 volts, neste caso.

Agora vamos imaginar a tensão de saída sempre em 10 Volts e a tensão de entrada hora em 22 Volts, hora em 18 Volts e sem consumo de corrente.



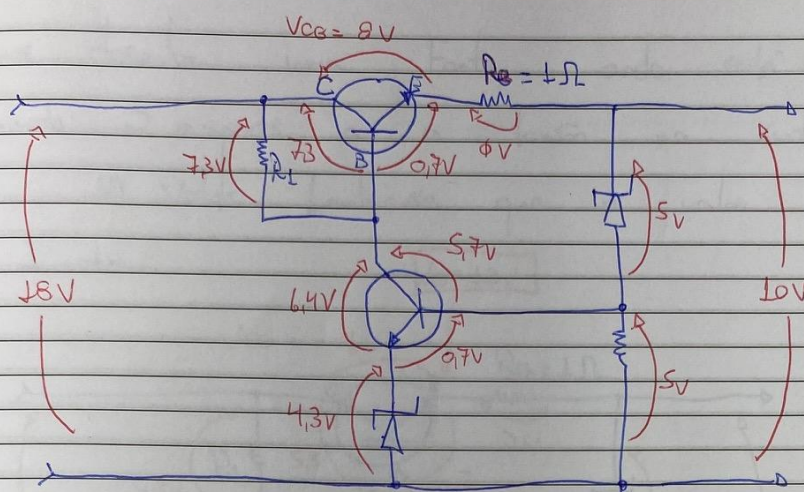
Podemos perceber que a tensão sobre R_1 aumenta e, por isto aumenta a tensão V_{ce} para 12 Volts e daí que:

$$V_s = V_0 - V_{ce} - V_{Re}$$

$$V_s = 22 - 12 - 0 = 10 \text{ Volts}$$

Agora com 18 Volts na entrada:

8



Agora a tensão sobre R_1 cai para 7,3 Volts e a tensão sobre V_{CE} fica com o valor de 8 Volts

$$V_s = V_{CE} - V_{BE}$$

$$V_s = 18 - 8 - 0 = 10 \text{ Volts}$$

Ou seja, mudamos a tensão na entrada e mantivemos a tensão na saída correta e sempre em 10 Volts.

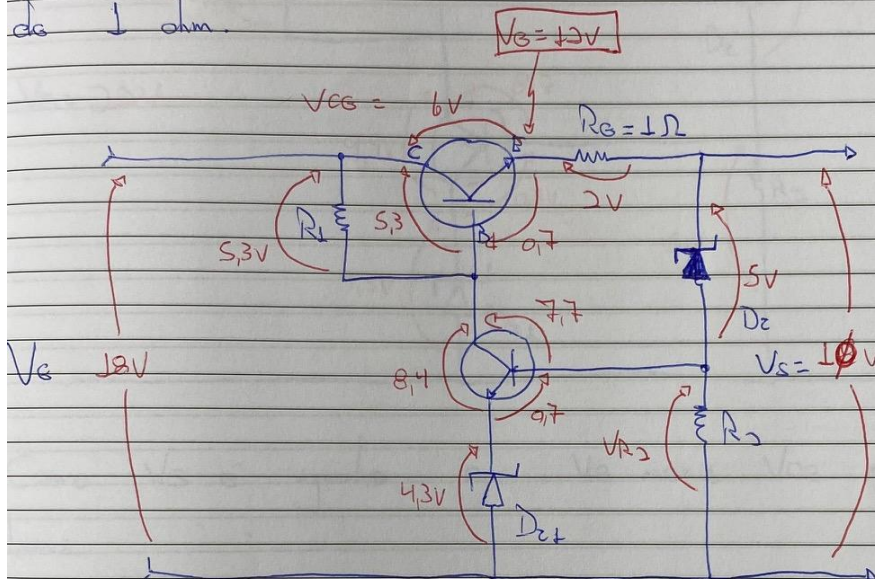
Também variamos a corrente de saída e mantivemos em 10 Volts.

Mes vamos ver as duas coisas juntas?

Vamos lá:

9

Vamos desenhar uma Fonte onde está sendo consumido 2 amperes e a tensão na entrada caiu para 18 Volts Lembre-se que o valor de R_E é de 1 ohm.



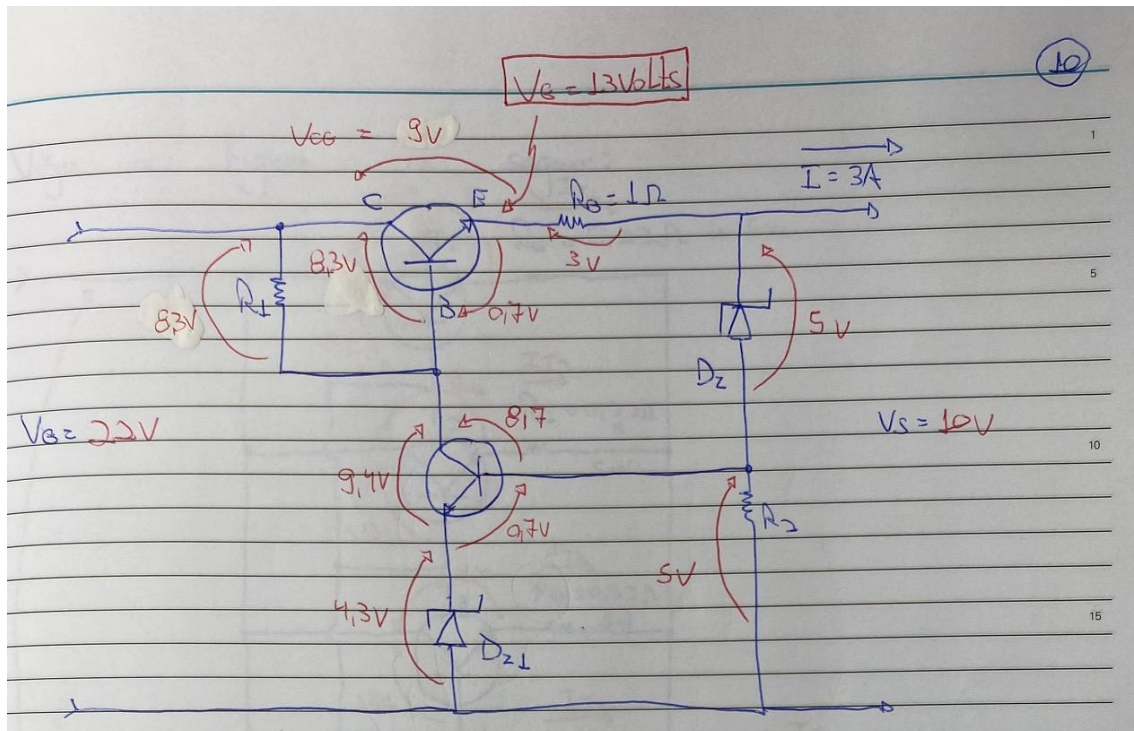
Como a tensão de saída V_S é igual a V_E (tensão de entrada) menos $V_{CE} - V_{RE}$ teremos:

$$V_S = V_E - V_{CE} - V_{RE}$$

$$V_S = 18 - 6 - 2 = 10 \text{ Volts}$$

A Fonte corrigiu a variação de entrada e o consumo de saída.

Subindo a tensão de entrada para 22V e tendo um consumo de 3 amperes teremos:



Como V_S é igual a V_B menos V_{CE} menos V_{R2}

$$V_S = V_B - V_{CE} - V_{R2}$$

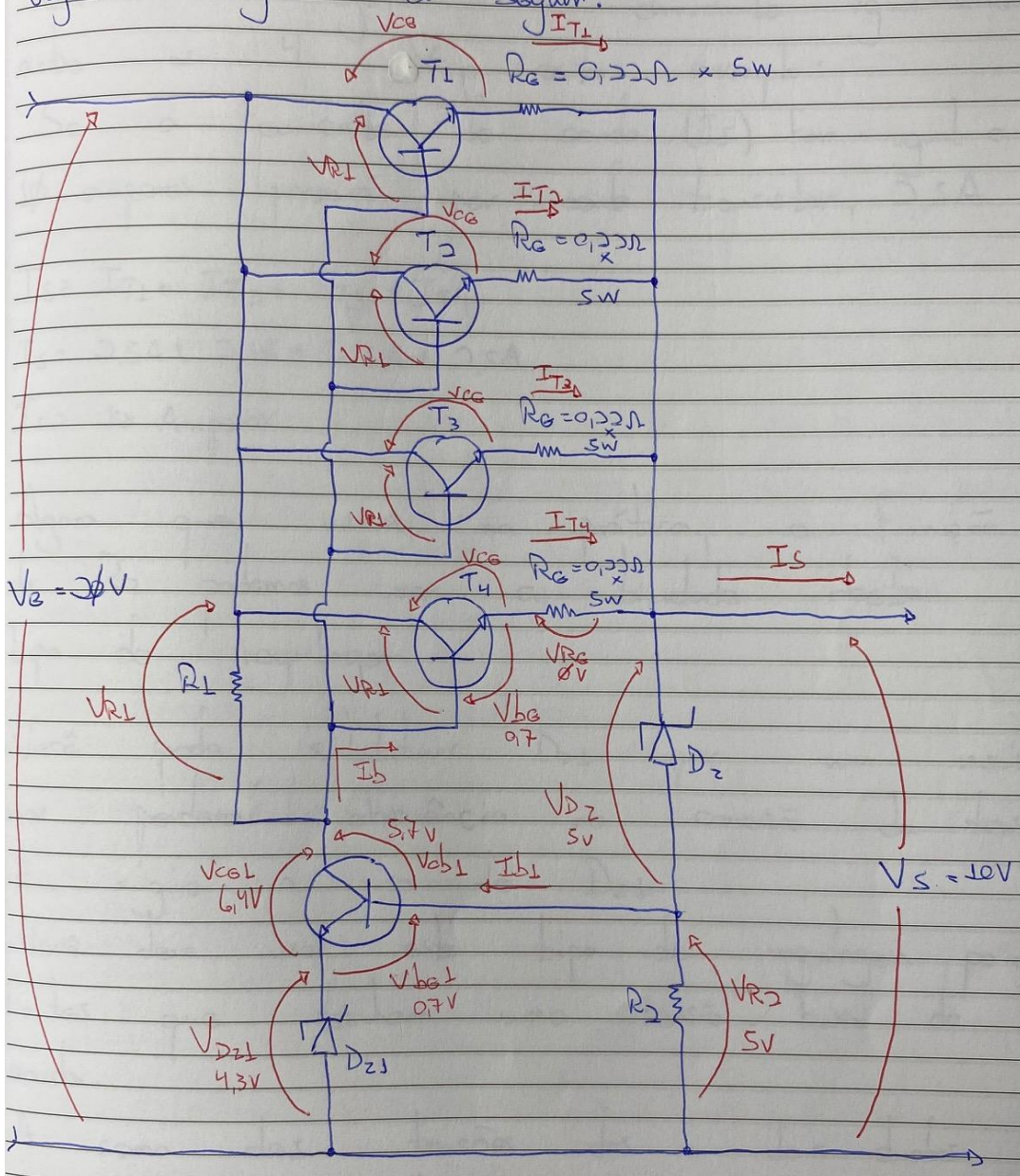
$$V_S = 22 - 9 - 3 = 10 \text{ Volts}$$

Nosso regulador funcionou perfeitamente.

Mas porque colocar um resistor R_2 ? Você pode perguntar.

Como já dito no início, caso precisarmos de mais de um transistor como driver de corrente, este resistor servirá para ajudar a balancear ou equalizar as correntes entre os transistores.

Veja a Figura a seguir:



Observe que todos os transistores T_1, T_2, T_3 e T_4 estão em paralelo e a corrente da saída se divide entre os 4 transistores, os

resistores R_e ajudam a dividir igualmente
entre os 4. Veja este exemplo:

Se a corrente de saída (I_s) for igual a
10 amperes passará, por cada transistor, 2,5A.

$$I_s = I_{T1} + I_{T2} + I_{T3} + I_{T4}$$

$$I_s = 2,5A + 2,5A + 2,5A + 2,5A$$

$$I_s = 10 \text{ Amperes}$$

Agora que vimos, na prática, a Função
de R_e podemos ver a utilidade deste
tipo de regulação.

1. Você pode substituir $Dz1$ por um resistor
mas perderá a frequência na correção da tensão.

2. Eu sugiro o uso de $Dz1$.

3. Você deve usar este tipo de regulação para
Fontes que tenham uma tensão fixa de
saída.

4. A soma das tensões dos dois diodos
zener (Dz e $Dz1$) deve ser menor do que a
tensão de saída (V_s).

2º É Fundamental que os transistores e diodos zeners suportem as tensões e correntes aplicadas e que circulem pelas mesmas.

3º Use dissipador nos transistores caso a potência sobre eles passe de 1 Watt.

4º As tensões, no caso de diversos transistores em paralelo, podem ser adotadas como há de um transistor só. Mas as correntes devem ser somadas e levadas em consideração.

Como calcular as componentes:

Tensão de saída (V_s):

$$V_s (\text{tensão de saída}) = V_{dz} + V_{be1} + V_{dz1}$$

ou

$$V_s = V_{dz} + 0,7 + V_{dz1}$$

R_1 - cálculo simplificado:

Neste cálculo consideraremos a Fonte Ligada mas sem consumo de corrente e com uma tensão de entrada fixa em 24 volts.

$$R_1 = \frac{V_s - V_{ce1} - V_{dz1}}{I_{z \text{ medio}}} \quad \text{onde:}$$

$$V_{ce1} = V_{ce2} + 0,7 + 0,7$$

a

$$I_{Z\text{ médio}} = \frac{I_{Z\text{ máximo}} - I_{Z\text{ mínimo}}}{2}$$

$$I_{Z\text{ máximo}} = \frac{P_Z}{V_Z}$$

$$I_{Z\text{ mínimo}} = \frac{I_{Z\text{ máximo}}}{10}$$

$$P_{R1} = \frac{(V_{R1})^2}{R1} \times 3 \rightarrow \text{multiplica o valor da potência por três para garantir que o resistor não "queime".}$$

R2 - cálculo simplificado:

Consideraremos a saída sempre em 10 volts.

$$R_2 = \frac{V_s - V_Z}{I_{Z\text{ médio}}} \quad \text{onde:} \quad I_{Z\text{ médio}} = \frac{I_{Z\text{ máximo}} - I_{Z\text{ mínimo}}}{2}$$

$$I_{Z\text{ máximo}} = \frac{P_Z}{V_Z}$$

$$I_{Z\text{ mínimo}} = \frac{I_{Z\text{ máximo}}}{10}$$

$$P_{R2} = \frac{(V_{R2})^2}{R2} \times 3 \rightarrow \text{apenas para garantia.}$$

R₁ - cálculo mais preciso:

$$R_{1\max} = \frac{V_{\max} - V_{\text{sat min}} - V_{Z1}}{I_{Z\min} + I_{B\min}}$$

→ o valor deve ser a média dos dois.

$$R_{1\min} = \frac{V_{\min} - V_{\text{sat max}} - V_{Z1}}{I_{Z\max} + I_{B\max}}$$

$$I_{B\min} \approx 0$$

$$I_{B\max} = \frac{I_{C\max}}{10} \times n^{\circ} \text{ de transistores}$$

R₂ - cálculo mais preciso:

$$R_{2\min} = \frac{V_S - V_Z}{I_{Z\text{médio}} - I_{B\min}}$$

$$\rightarrow I_{B\min} \approx 0$$

$$I_{B\max} = \frac{I_{B\max}}{10}$$

$$R_{2\max} = \frac{V_S - V_Z}{I_{Z\text{médio}} - I_{B\max}}$$

The End

05/2008 - Luiz Bertini