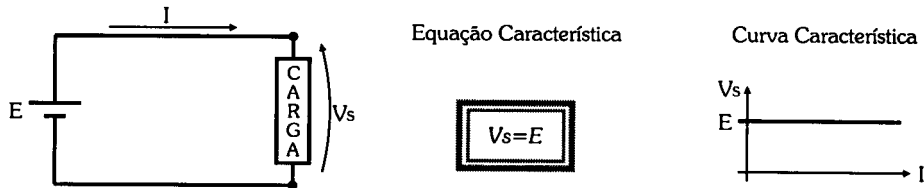


Nesse capítulo, faremos um estudo mais detalhado das fontes de alimentação CC, que aqui serão denominadas geradores de tensão ou geradores de corrente.

8.1

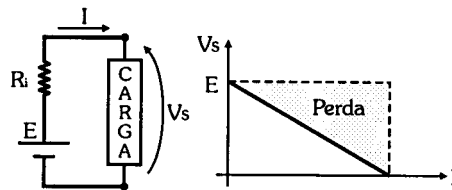
Gerador de Tensão

O *gerador de tensão ideal* é aquele que mantém a tensão na saída sempre constante, independente da corrente que fornece ao circuito que está sendo alimentado.



Porém, qualquer que seja o gerador (pilha química, fonte de tensão eletrônica, bateria de automóvel etc.), ele sempre apresenta perdas internas, fazendo com que, para cargas muito baixas ou correntes muito altas, a sua tensão de saída V_s caia.

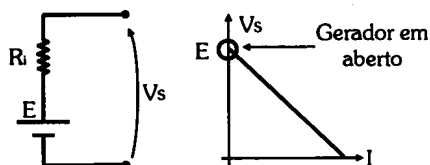
Por isso, o estudo do *gerador de tensão real* pode ser feito representando-o por meio de um modelo, no qual as suas perdas internas correspondem a uma *resistência interna* R_i em série com o gerador de tensão E supostamente ideal, conforme mostra a figura abaixo.



A *equação característica do gerador de tensão real* leva em consideração essa perda, sendo descrita matematicamente como:

$$V_s = E - R_i \cdot I$$

Portanto, quanto menor a resistência interna do gerador de tensão, melhor é o seu desempenho.



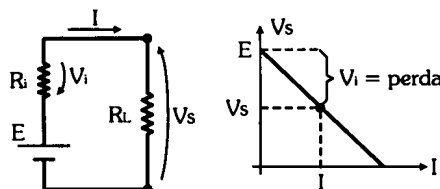
Quando o gerador está em aberto, isto é, sem carga, a corrente de saída é zero e, conseqüentemente, não há perda de tensão interna.

Nesse caso, toda a tensão gerada E está presente na saída ($V_s = E$), pois:

$$V_s = E - R_i \cdot 0 \Rightarrow V_s = E$$

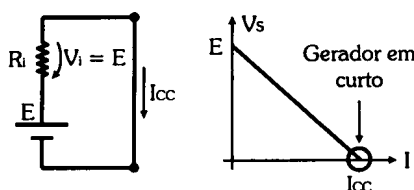
Quando uma carga R_L é ligada à saída do gerador, a corrente I fornecida à carga provoca uma queda de tensão na resistência interna ($V_i = R_i \cdot I$).

Nesse caso, a perda de tensão V_i faz com que a tensão de saída seja menor ($V_s = E - V_i$).



No caso limite, quando $R_L = 0$ (saída em curto), o gerador fornece a sua máxima corrente I_{cc} (corrente de curto-circuito), mas a tensão na saída é, obviamente, zero ($V_s = 0$).

A corrente de curto-circuito do gerador de tensão é determinada por:

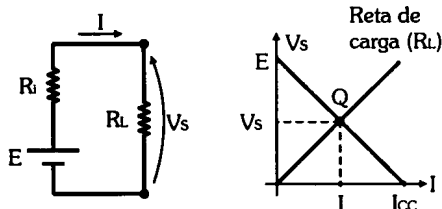


$$V_s = E - R_i \cdot I \Rightarrow 0 = E - R_i \cdot I_{cc} \Rightarrow$$

$$I_{cc} = \frac{E}{R_i}$$

Reta de Carga e Ponto Quiescente

Quando uma carga R_L é ligada à saída do gerador, a corrente I e a tensão V_s podem ser obtidas graficamente pela interseção da reta de carga com a curva característica do gerador. Esse ponto é denominado *ponto quiescente* Q .



Rendimento

O rendimento do gerador de tensão mede o seu desempenho. Ele é simbolizado pela letra grega η (eta), e corresponde à relação entre a sua tensão de saída V_s e a sua tensão interna E . Matematicamente:

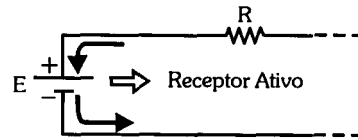
$$\eta = \frac{V_s}{E}$$

ou

$$\eta = \frac{V_s}{E} \cdot 100 [\%]$$

Receptores Ativos

Num circuito elétrico formado por mais de um gerador de tensão, é possível que em algum deles a corrente entre pelo pólo positivo e saia pelo pólo negativo.



Nesse caso, ao invés de elevar o potencial do circuito, a fonte provoca a sua queda, isto é, ao invés de gerador, ela se comporta como um *receptor ativo*.

Gerador de Tensão Real Operando como Receptor Ativo

Se considerarmos o gerador de tensão real operando como receptor ativo, a sua equação característica será:

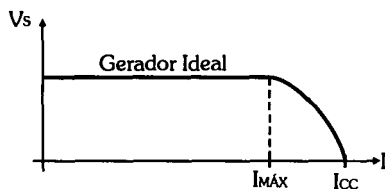
$$V_s = E + R_i \cdot I$$

Portanto, a tensão de saída V_s será maior do que a tensão em vazio E .

A figura ao lado mostra o comportamento do *receptor ativo real* por meio de sua curva característica.

Fontes de Alimentação Eletrônicas

As fontes de alimentação eletrônicas possuem, internamente, um circuito de estabilização de tensão, que garante uma tensão de saída constante até um limite de corrente.



Isso significa que essas fontes funcionam como se fossem geradores de tensão ideais até esse limite de corrente.

A partir desse limite, a tensão da fonte começa a cair, chegando a zero quando a sua saída está curto-circuitada.

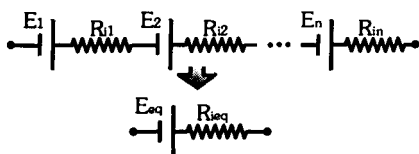
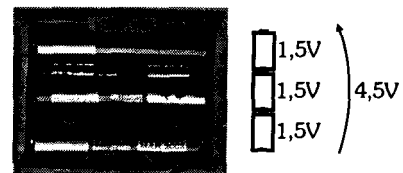
A maioria das fontes de alimentação eletrônicas atuais possuem, também, proteção contra sobrecarga, bloqueando a corrente de saída quando isso ocorrer, evitando danificá-las.

EXEMPLO: Especificações Técnicas de uma Fonte de Alimentação Eletrônica	
Alimentação: 110/220V ac $\pm 10\%$; 50/60Hz	Tensão de Saída: 0 a 30V, ajuste externo
Faixa de Temperatura: 0°C a +40°C	Corrente de Saída: 0 a 1A, ajuste externo
Proteção contra Sobrecarga: ajuste externo	Potência de Saída: 30W, máximo

Associação de Geradores de Tensão

Os geradores de tensão podem ser associados em série, formando o que denominamos de *bateria*.

É isso que fazemos com as pilhas quando precisamos de uma tensão maior para alimentar um circuito.



Nesse caso, o gerador equivalente pode ser representado por uma fonte interna equivalente E_{eq} e uma resistência interna equivalente R_{ieq} , sendo que esses valores podem ser calculados por:

$$E_{eq} = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$

e

$$R_{ieq} = R_{i1} + R_{i2} + \dots + R_{in}$$

O conceito de máxima transferência de potência do gerador para a carga é muito útil, sendo vastamente aplicado no estudo dos amplificadores e em sistemas de comunicação.

Considere um gerador de tensão cuja equação característica é: $V_s = E - R_i \cdot I$.

Cada ponto da curva característica corresponde a uma coordenada (V_s, I) para uma determinada carga.

O produto dos valores de cada coordenada corresponde à potência em cada carga, isto é, $P = V_s \cdot I$.

Se levantarmos a curva de potência nas cargas em função de I , obteremos uma parábola, conforme mostra a figura ao lado.

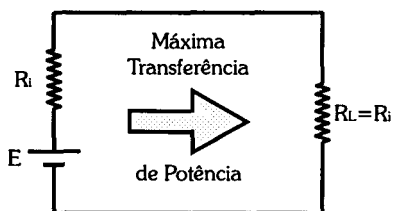
O ponto de máxima potência P_M , transferida do gerador para a carga, coincide com as seguintes condições:

$$V_s = \frac{E}{2} \quad \text{e} \quad I = \frac{I_{CC}}{2}$$

Dessa análise, conclui-se que a carga que propicia a máxima transferência de potência pode ser calculada por:

$$R_L = \frac{V_s}{I} = \frac{\frac{E}{2}}{\frac{I_{CC}}{2}} \Rightarrow$$

$$R_L = \frac{E}{I_{CC}}$$



Mas, como vimos anteriormente, E/I_{CC} é a resistência interna R_i do gerador.

Isto significa que a máxima transferência de potência ocorre quando a carga é igual à resistência interna do gerador de tensão, ou seja:

$$R_L = R_i$$

A potência máxima P_M que o gerador pode fornecer a uma carga pode ser calculada em função apenas dos seus parâmetros E e R_i :

$$P_M = \frac{E}{2} \cdot \frac{I_{CC}}{2} = \frac{1}{4} \cdot E \cdot I_{CC} = \frac{1}{4} \cdot E \cdot \frac{E}{R_i} \Rightarrow$$

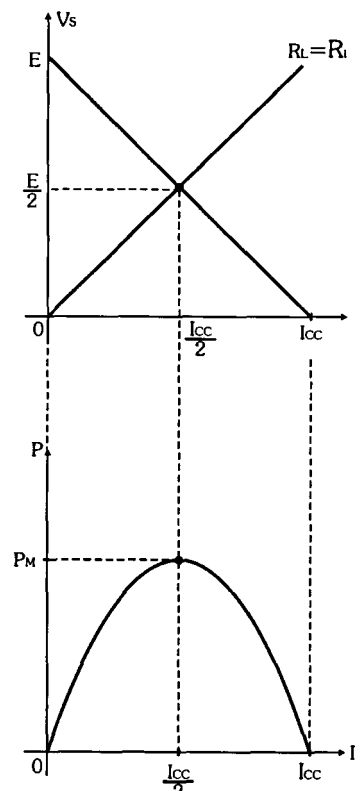
$$P_M = \frac{E^2}{4R_i}$$

Essa expressão mostra que o gerador de tensão pode fornecer a uma carga, no máximo, um quarto ou 25% de sua potência total $P_T = E^2/R_i$, dissipada com a saída curto-circuitada.

Na máxima transferência de potência, o rendimento do gerador é $\eta = 50\%$, pois:

$$\eta = \frac{V_s}{E} \cdot 100 = \frac{\frac{E}{2}}{E} \cdot 100 = \frac{1}{2} \cdot 100 \Rightarrow$$

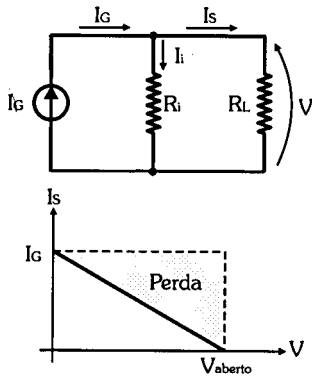
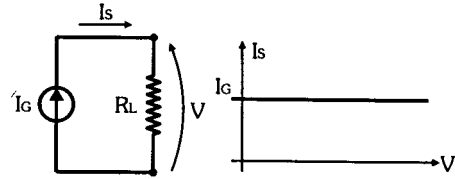
$$\eta = 50\%$$



O gerador de corrente, ao contrário do gerador de tensão, não é um equipamento vastamente utilizado, mas seu estudo é importante para a compreensão futura de determinados dispositivos e circuitos eletrônicos.

O gerador de corrente ideal é aquele que fornece uma corrente I_G sempre constante, independente da carga alimentada, isto é, para qualquer tensão V na saída.

A figura ao lado mostra o símbolo do gerador de corrente ideal, bem como a sua curva característica.



Porém, no gerador de corrente real, a resistência interna consome parte da corrente gerada, fazendo com que $I_s < I_G$. Nesse caso, representa-se o gerador de corrente real por um gerador supostamente ideal em paralelo com uma resistência interna R_i .

Aplicando a equação do divisor de corrente, obtemos a corrente I_s na carga em função da corrente I_G do gerador:

$$I_s = \frac{R_i}{(R_L + R_i)} \cdot I_G$$

$$I_s = I_G - \frac{V}{R_i}$$

A equação característica do gerador de corrente real que leva em consideração a perda é dada por:

Portanto, quanto maior a resistência interna do gerador de corrente, melhor é o seu desempenho.

Rendimento

O rendimento η do gerador de corrente, que mede o seu desempenho, é a relação entre a sua corrente de saída I_s e a sua corrente interna I_G . Matematicamente:

$$\eta = \frac{I_s}{I_G}$$

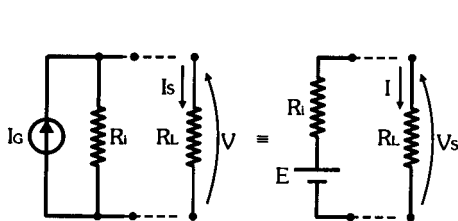
ou

$$\eta = \frac{I_s}{I_G} \cdot 100 [\%]$$

Equivalência entre os Geradores de Tensão e de Corrente

Os geradores de tensão e de corrente são considerados *equivalentes* quando ambos possuem a *mesma resistência interna* e fornecem a *mesma tensão* ou a *mesma corrente* a uma mesma carga.

A condição de equivalência pode ser determinada, por exemplo, pelas correntes de saída dos geradores:



Gerador de Corrente: $I_s = \frac{R_i}{(R_L + R_i)} \cdot I_G$

Gerador de Tensão: $I = \frac{E}{(R_L + R_i)}$

Igualando $I = I_s$: $\frac{E}{(R_L + R_i)} = \frac{R_i}{(R_L + R_i)} \cdot I_G \Rightarrow E = R_i \cdot I_G$

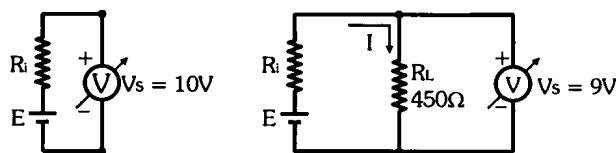
A conversão de um gerador de tensão com alto rendimento em gerador de corrente, ou vice-versa, resulta num gerador com baixo rendimento, devido à necessidade de as resistências internas serem iguais.

Exercícios Propostos

Gerador de Tensão

8.1) Mediu-se a tensão em aberto de um gerador com um voltímetro, obtendo-se $10V$. Com uma carga de 450Ω , a tensão na saída caiu para $9V$. Determine:

- a corrente na carga;
- a perda de tensão na resistência interna do gerador;
- a resistência interna do gerador;
- a corrente de curto-circuito do gerador;
- o rendimento do gerador;
- a equação característica do gerador válida para qualquer carga R_L .



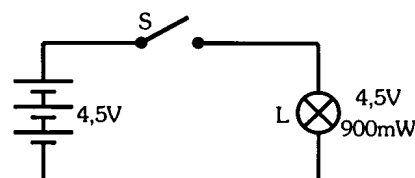
8.2) Considere os dois geradores de tensão ao lado:

- Determine a corrente de curto-circuito de cada gerador;
- Determine a equação característica do gerador série equivalente;
- Represente num mesmo sistema cartesiano as curvas características de cada gerador e do gerador série equivalente e compare as características do gerador equivalente com cada gerador individualmente.



8.3) Considere o circuito da lanterna ao lado. As três pilhas que formam a sua bateria têm resistência interna de $0,5\Omega$ cada uma, e quando novas, fornecem $1,5V$ em aberto. Determine:

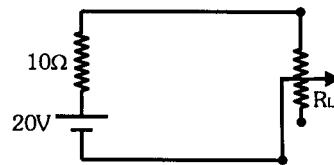
- a tensão efetiva fornecida à lâmpada caso as pilhas estejam novas;
- o rendimento da bateria nas condições do item anterior;
- a tensão efetiva fornecida à lâmpada caso as pilhas estejam gastas, com tensão em aberto de $0,75V$ cada;
- o rendimento da bateria nas condições do item anterior.



Máxima Transferência de Potência

8.4) Considere o gerador de tensão ao lado, cuja equação característica é: $V_s = 20 - 10 \cdot I$.

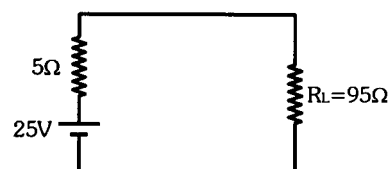
- Determine a tensão de saída para cada valor de corrente de 0 a 2A, em intervalos de 0,25A e levante o gráfico $V_s = f(I)$.
- Determine a potência na carga para os valores de corrente do item anterior e levante o gráfico $P = f(I)$ usando a mesma escala de corrente do gráfico anterior.
- Determine, a partir dos gráficos, P_M , I , V_s e R_L , na máxima transferência de potência do gerador para a carga.
- Determine, a partir das equações, P_M , R_L e η na máxima transferência de potência do gerador para a carga.



Gerador de Corrente

8.5) Considere o gerador de tensão ao lado, alimentando uma carga de 95Ω .

- Determine a corrente e a tensão na carga fornecidas pelo gerador de tensão, bem como o seu rendimento;
- Converta esse gerador de tensão no seu gerador de corrente equivalente;
- Determine a corrente e a tensão na carga fornecidas pelo gerador de corrente, bem como o seu rendimento;
- Qual é a sua análise dos resultados obtidos nos itens a e c desse exercício?
- Qual é a sua análise do valor de I_G para que o gerador de corrente equivalente possa funcionar como o gerador de tensão inicial, isto é, fornecendo a mesma tensão e corrente à carga?



8.6) Considere o circuito da lanterna do exercício 8.3. Quais devem ser os parâmetros R_i e I_G do gerador de corrente equivalente à bateria da lanterna (com as pilhas novas) para que a lâmpada funcione da mesma forma?