

Receptores elétricos

Receptor elétrico é um elemento de circuito que consome energia elétrica e a transforma em outra forma de energia que não é totalmente energia térmica.

10.1 Receptor.

Força contraeletromotriz

Um receptor elétrico possui duas constantes características, independentemente do circuito a que estiver ligado: a força contraeletromotriz e a resistência interna.

10.2 Circuito gerador-receptor e gerador-receptor-resistor

Um circuito simples, formado por um gerador e um receptor, obedece à lei de Pouillet.



Os motores de automóveis elétricos e de eletrodomésticos como ventiladores, liquidificadores e furadeiras são exemplos de receptores elétricos. A energia elétrica por eles consumida é transformada principalmente em energia mecânica (rotação dos eixos), além de energia térmica.



Receptor. Força contraeletromotriz

Objetivos

- ▶ Conhecer a definição de receptor elétrico.
 - ▶ Compreender o conceito de força contraeletromotriz.
- ▶ Conhecer os diversos tipos de receptores utilizados no dia a dia.
- ▶ Caracterizar potência elétrica fornecida, potência elétrica útil e potência elétrica dissipada internamente em um receptor elétrico.
- ▶ Conceituar rendimento elétrico de um receptor.
 - ▶ Compreender a equação do receptor.
 - ▶ Analisar a curva característica de um receptor.
 - ▶ Compreender o significado de gerador reversível.

Termos e conceitos

- acumuladores
- carga e descarga da bateria

Existem aparelhos capazes de receber a energia elétrica e transformá-la em outras formas de energia que não sejam exclusivamente a energia térmica. Esses aparelhos denominam-se **receptores** e funcionam quando estão ligados a um circuito onde existe um ou mais geradores.

Na **figura 1** temos diversos exemplos de receptores. **Motores elétricos**, como o liquidificador, a batedeira e a furadeira da **figura 1A**, transformam energia elétrica em energia mecânica. **Acumuladores**, formados por placas de chumbo (**fig. 1B**) dentro de um eletrólito (ácido sulfúrico), transformam energia elétrica em energia química.



▶ **Figura 1.** (A) Motores elétricos. (B) Acumuladores.

Pode-se concluir, então, que:

Receptor elétrico é o aparelho que transforma energia elétrica em outra forma de energia que não seja exclusivamente a energia térmica.

Como o receptor recebe energia elétrica de um circuito, as cargas elétricas que constituem a corrente vão do potencial maior (polo positivo) para o potencial menor (polo negativo). Todavia, o receptor não poderá transformar toda a energia elétrica recebida em energia útil, não elétrica. Uma parte dessa energia dissipa-se na sua **resistência interna** (r'), de maneira análoga ao que ocorre dentro do gerador.

Para os receptores mais comuns em funcionamento, verifica-se que:

A potência elétrica útil do receptor é diretamente proporcional à intensidade de corrente que o atravessa.

Se Pot_u é a potência elétrica útil do receptor e i , a intensidade de corrente elétrica que o atravessa, temos:

$$Pot_u = E' \cdot i$$

em que E' é a constante de proporcionalidade, denominada **força contraeletromotriz (fcem)** do receptor. Então:

$$E' = \frac{Pot_u}{i}$$

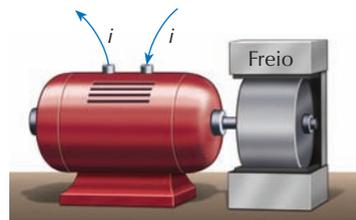


▶ Enquanto é recarregada num autoelétrico, a bateria funciona como um receptor.

Essa fórmula mostra que a fcem, do mesmo modo que a fem de um gerador, deve ser medida em volts (V) no Sistema Internacional.

Como, nos motores elétricos em geral, a potência mecânica é obtida pela rotação do eixo, um fato importante pode ocorrer. Se for impedida a rotação de seu eixo (eixo bloqueado por um freio, **figura 2**), não haverá transformação de energia elétrica em energia mecânica; daí $Pot_u = 0$ e, portanto, $E' = 0$. O motor comporta-se, então, como um resistor de resistência r' .

Na prática, se isso perdurar por muito tempo, o motor poderá ser danificado por aquecimento excessivo.

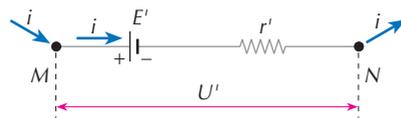


◀ **Figura 2.** Ao se bloquear o eixo do motor elétrico, este se comporta como um resistor.

Em resumo:

Um **receptor** tem por função receber a corrente em seu potencial mais alto (polo positivo) e entregá-la em seu potencial mais baixo (polo negativo), retirando energia elétrica do circuito. Em funcionamento normal, o receptor apresenta duas constantes características, independentemente do circuito a que estiver ligado: a **fcem** E' (em volts) e a **resistência interna** r' (em ohms). O receptor é indicado da seguinte forma: (E', r') .

Nos receptores, o sentido da corrente é do potencial maior para o potencial menor, isto é, do polo positivo para o polo negativo. A representação dos receptores é feita do mesmo modo que a dos geradores, diferindo apenas quanto ao sentido da corrente elétrica i (**fig. 3**): E' é a fcem e r' , a resistência interna. Nos terminais M e N do receptor, ao contrário do que acontece em um gerador, a ddp U' é mantida por um aparelho externo.



◀ **Figura 3.** Representação esquemática de um receptor em um circuito elétrico.



1

As potências e o rendimento elétrico de um receptor

A **potência elétrica fornecida ao receptor** é: $Pot_f = U' \cdot i$

Parte dela é convertida em outra forma que não seja exclusivamente térmica (fig. 4). Essa parte é denominada **potência elétrica útil**, conforme discutido na página anterior:

$$Pot_u = E' \cdot i$$

Sendo $Pot'_d = r' \cdot i^2$ a **potência elétrica dissipada internamente**, temos pelo princípio da conservação de energia que:

$$Pot_f = Pot_u + Pot'_d$$

O **rendimento elétrico** (η') do receptor é o quociente da potência elétrica útil pela potência elétrica fornecida ao receptor. Portanto:

$$\eta' = \frac{Pot_u}{Pot_f} \Rightarrow \eta' = \frac{E' \cdot i}{U' \cdot i} \Rightarrow \eta' = \frac{E'}{U'}$$

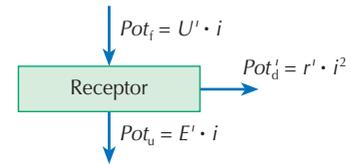


Figura 4. Esquema de potências em um receptor.

2

Equação do receptor

Sendo $Pot_f = Pot_u + Pot'_d$, temos:

$$U' \cdot i = E' \cdot i + r' \cdot i^2 \Rightarrow U' = E' + r' \cdot i$$

que é chamada **equação do receptor**.

Pode-se obter a equação do receptor, como na figura 5, considerando-se que a ddp U' entre os terminais seja o resultado do abaixamento de potencial E' e da queda de potencial $r' \cdot i$.

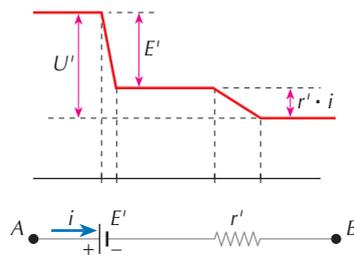


Figura 5. Potencial elétrico ao longo do receptor.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

R. 98 Um motor elétrico, percorrido pela corrente elétrica de intensidade 10 A, transforma 80 W de potência elétrica em mecânica. Calcule a fcm desse motor.

Solução:

Sendo $i = 10$ A e $Pot_u = 80$ W, temos: $E' = \frac{Pot_u}{i} \Rightarrow E' = \frac{80}{10} \Rightarrow E' = 8$ V

Resposta: 8 V

R. 99 Um motor elétrico recebe de um circuito a potência de 800 W, sob ddp de 100 V, e dissipa internamente uma potência elétrica de 320 W. Calcule a fcm E' e a resistência interna r' desse motor.

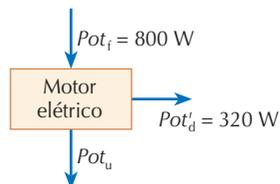
Solução:

A potência elétrica fornecida ao motor é a potência que ele recebe do circuito ($Pot_f = 800 \text{ W}$) sob ddp $U' = 100 \text{ V}$.

Como $Pot_f = U' \cdot i$, temos: $800 = 100i \Rightarrow i = 8 \text{ A}$

Sendo dissipada internamente a potência $Pot'_d = 320 \text{ W}$, tem-se:

$$Pot'_d = r' \cdot i^2 \Rightarrow 320 = r' \cdot 64 \Rightarrow r' = \frac{320}{64} \Rightarrow \boxed{r' = 5 \Omega}$$



Notemos, no diagrama acima, que a potência elétrica útil do motor elétrico será:

$$Pot_u = Pot_f - Pot'_d \Rightarrow Pot_u = 800 - 320 \Rightarrow Pot_u = 480 \text{ W}$$

Assim, a fcm E' é dada por:

$$E' = \frac{Pot_u}{i} \Rightarrow E' = \frac{480}{8} \Rightarrow \boxed{E' = 60 \text{ V}}$$

Resposta: 60 V e 5 Ω

R. 100 Um motor elétrico está ligado sob uma ddp de 110 V. Verifica-se que ele é percorrido por corrente de intensidade 55 A com o eixo bloqueado e de intensidade 20 A em rotação plena. Determine a fcm E' e a resistência interna r' do motor.

Solução:

O motor elétrico com eixo bloqueado funciona como um resistor cuja resistência é igual à resistência interna do motor. Na figura I, abaixo, $U' = 110 \text{ V}$, $i' = 55 \text{ A}$.

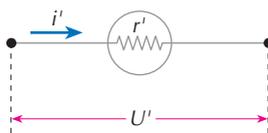


Figura I.

Então:

$$r' = \frac{U'}{i'} \Rightarrow r' = \frac{110}{55} \Rightarrow \boxed{r' = 2 \Omega}$$

Quando o motor está em rotação plena, transforma potência elétrica em mecânica; então, a fcm E' é diferente de zero. Na figura II, $U' = 110 \text{ V}$, $i = 20 \text{ A}$ e, pela equação do receptor, temos:

$$U' = E' + r' \cdot i \Rightarrow 110 = E' + 2 \cdot 20 \Rightarrow \boxed{E' = 70 \text{ V}}$$

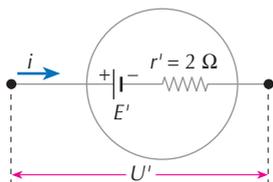


Figura II.

Resposta: 70 V e 2 Ω

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 250 Um motor elétrico, de resistência interna 2 Ω , é ligado a uma ddp de 100 V. Constata-se que o motor é percorrido por uma corrente elétrica de 5 A.

- Determine a fcm do motor.
- Calcule a potência elétrica dissipada internamente.
- O que acontece se impedirmos o eixo do motor de girar?

P. 251 Um motor elétrico tem fcm $E' = 100 \text{ V}$. Ligado a uma ddp de 110 V, o motor dissipa internamente uma potência elétrica de 20 W. Determine a resistência interna do motor e a intensidade da corrente que o atravessa.

3 Curva característica de um receptor

A equação de um receptor, de constantes (E' , r'):

$$U = E' + r' \cdot i = r' \cdot i + E'$$

é uma função do 1º grau entre a ddp e a corrente elétrica. Na **figura 6** temos a curva característica de um receptor: uma reta de coeficiente angular $+r'$ que corta o eixo das ordenadas no valor de sua fcm E' .

Note que a área do retângulo destacado é numericamente igual à potência elétrica útil do receptor: $Pot_u = E' \cdot i$

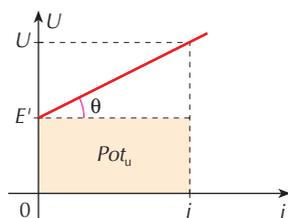
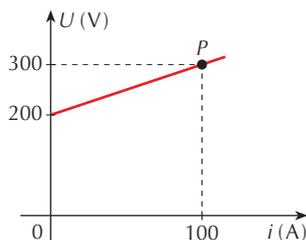


Figura 6. Curva característica de um receptor.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 101 A curva característica de um motor é representada no gráfico.

- Calcule a fcm e a resistência interna desse motor.
- Para o motor funcionando nas condições do ponto P, determine, em quilowatts-hora (kWh), a energia elétrica que o motor consome em 10 horas.



Solução:

- a) Do gráfico, tira-se $E' = 200 \text{ V}$ e ponto P (100 A, 300 V) deve obedecer à equação do receptor.

Logo:

$$U = E' + r' \cdot i \Rightarrow 300 = 200 + r' \cdot 100 \Rightarrow 100 \cdot r' = 100 \Rightarrow r' = 1 \Omega$$

- b) Nas condições do ponto P, a potência elétrica fornecida ao motor será:

$$Pot_f = U \cdot i \Rightarrow Pot_f = 300 \cdot 100 \Rightarrow Pot_f = 30.000 \text{ W} \Rightarrow Pot_f = 30 \text{ kW}$$

Em $\Delta t = 10 \text{ h}$, a energia elétrica que o motor consome será:

$$E_{el} = Pot_f \cdot \Delta t \Rightarrow E_{el} = 30 \cdot 10 \Rightarrow E_{el} = 300 \text{ kWh}$$

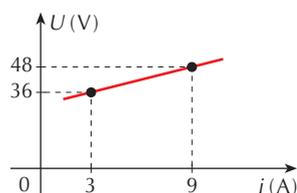
Resposta: a) 200 V e 1 Ω ; b) 300 kWh

EXERCÍCIO PROPOSTO

P. 252 A tensão elétrica nos terminais de um receptor varia com a intensidade da corrente elétrica de acordo com o gráfico ao lado.

Determine:

- a fcm e a resistência interna do receptor;
- a energia elétrica que o receptor consome em 2 h quando sob tensão de 36 V. Dê a resposta em kWh.



4 Gerador reversível

Existem geradores que podem passar a funcionar como receptores devido à inversão do sentido da corrente: são os chamados **geradores reversíveis**. Dentre esses, destacam-se os acumuladores usados em automóveis*, que, normalmente, funcionam como geradores, transformando energia química em energia elétrica. Entretanto, durante o processo de recarga efetuado pelo dínamo, os acumuladores são submetidos a uma ddp maior que sua fem, sendo percorridos por corrente em sentido contrário, conforme mostra a curva característica da **figura 7**. Nessas condições, a fem age como fcm e a energia elétrica é transformada em energia química; desse modo, o acumulador passa a funcionar como receptor.

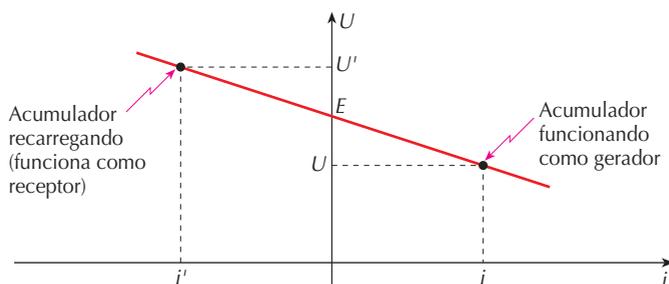


Figura 7. Curva característica de um gerador reversível.

EXERCÍCIO RESOLVIDO

R. 102 Uma bateria é atravessada pela corrente $i' = 10 \text{ A}$ e recebe do circuito externo a potência 110 W . Invertendo os terminais da bateria, a corrente passa a ser $i = 5 \text{ A}$, passando a entregar, ao circuito externo, a potência $27,5 \text{ W}$. Determine a fcm (ou fem) e a resistência interna da bateria.

Solução:

Quando a corrente que atravessa a bateria é $i' = 10 \text{ A}$, ela recebe a potência $Pot_{\text{r}} = 110 \text{ W}$. Portanto, funciona como receptor e a ddp nos seus terminais será:

$$Pot_{\text{r}} = U' \cdot i' \Rightarrow 110 = U' \cdot 10 \Rightarrow U' = 11 \text{ V}$$

Como $U' = E + r \cdot i'$, temos: $11 = E + 10r$ ①

Invertendo os terminais, a corrente passa a ser $i = 5 \text{ A}$ e a bateria lança a potência $Pot_{\text{g}} = 27,5 \text{ W}$. Desse modo, funciona como gerador e a ddp nos seus terminais será:

$$Pot_{\text{g}} = U \cdot i \Rightarrow 27,5 = U \cdot 5 \Rightarrow U = 5,5 \text{ V}$$

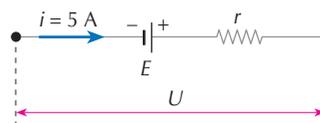
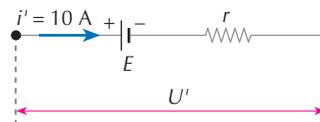
De $U = E - r \cdot i$, temos: $5,5 = E - 5r$ ②

Resolvendo o sistema formado por ① e ②, temos:

$$\begin{cases} 11 = E + 10r \\ 5,5 = E - 5r \quad (\times 2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 11 = E + 10r \\ 11 = 2E - 10r \end{cases} \Rightarrow 3E = 22 \Rightarrow E = \frac{22}{3} \Rightarrow E \approx 7,3 \text{ V}$$

$$\text{Substituindo em ①, temos: } 11 = \frac{22}{3} + 10r \Rightarrow 10r = \frac{11}{3} \Rightarrow r = \frac{11}{30} \Rightarrow r \approx 0,37 \Omega$$

Resposta: $7,3 \text{ V}$ e $0,37 \Omega$



EXERCÍCIO PROPOSTO

P. 253 A diferença de potencial entre os terminais de uma bateria, funcionando como gerador, é de 15 V e a intensidade da corrente elétrica que a percorre é de 3 A . Funcionando como receptor, essa bateria, quando sob diferença de potencial de 20 V , é percorrida por uma corrente de intensidade 2 A . Determine a resistência interna da bateria e sua fem (ou fcm).

* As baterias de automóveis podem funcionar como geradores, durante a descarga, ou como receptores, quando são recarregadas. Na página 250, veja como ocorre o processo de descarga e carga de uma bateria.

Circuito gerador-receptor e gerador-receptor-resistor

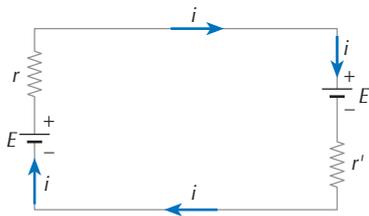
Objetivos

- ▶ Analisar um circuito gerador-receptor e circuito gerador-receptor-resistor.
- ▶ Compreender a lei de Pouillet para o circuito gerador-receptor e para o circuito simples gerador-receptor-resistor.

Termos e conceitos

- bateria de chumbo

Considere o circuito simples formado pelo gerador (E, r), pelo receptor (E', r') e por fios de ligação de resistência elétrica desprezível (fig. 8). O gerador é o elemento que possui maior valor de E e, portanto, impõe o sentido da corrente elétrica. No circuito em questão, $E > E'$. A ddp nos terminais do gerador $U = E - r \cdot i$ é a mesma nos terminais do receptor $U' = E' + r' \cdot i$.



◀ Figura 8. Circuito simples formado por um gerador e um receptor.

Portanto:

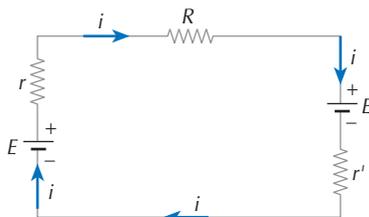
$$U = U' \Rightarrow E - r \cdot i = E' + r' \cdot i \Rightarrow$$

$$\Rightarrow E - E' = (r + r') \cdot i \Rightarrow i = \frac{E - E'}{r + r'}$$

Essa fórmula constitui a **lei de Pouillet** para o circuito gerador-receptor.

Quando o circuito simples é formado por um gerador (E, r), um resistor (R), um receptor (E', r') e fios de ligação de resistência elétrica desprezível (fig. 9), a lei de Pouillet é dada pela fórmula:

$$i = \frac{E - E'}{R + r + r'}$$



◀ Figura 9. Circuito simples formado por um gerador, um resistor e um receptor.

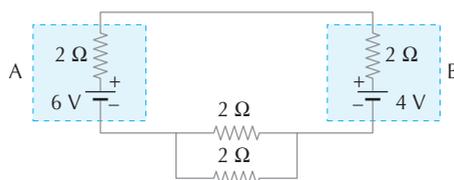
Se o circuito simples for constituído de geradores, receptores e resistores, a intensidade da corrente elétrica será dada por:

$$i = \frac{\sum E - \sum E'}{\sum R}$$

em que $\sum E$ é a soma das fem, $\sum E'$ é a soma das fcem e $\sum R$ é a soma das resistências internas dos geradores e receptores e dos resistores do circuito.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

- R. 103** No circuito da figura, A é um gerador e B, um receptor. Calcule a intensidade da corrente elétrica que atravessa o gerador.



Solução:

O gerador A (6 V, 2 Ω) tem fem $E = 6\text{ V}$ e resistência interna $r = 2\ \Omega$, e o receptor B (4 V, 2 Ω), fem $E' = 4\text{ V}$ e resistência interna $r' = 2\ \Omega$. Para utilizarmos a lei de Pouillet, o circuito não deve ter ligações em paralelo. Assim, substituímos a associação de resistores iguais em paralelo pela sua resistência equivalente:

$$R = \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} \Rightarrow R = 1\ \Omega$$

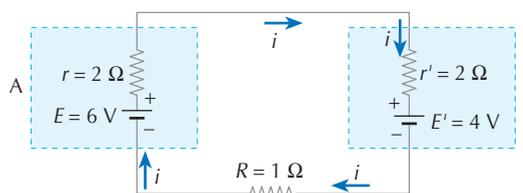
Desse modo, pela lei de Pouillet, temos:

$$i = \frac{E - E'}{R + r + r'} \Rightarrow i = \frac{6 - 4}{1 + 2 + 2} = \frac{2}{5} \Rightarrow i = 0,4\text{ A}$$

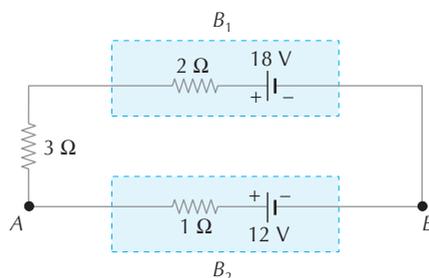
Resposta: 0,4 A

Observação:

Quando em um circuito não se informa qual é o gerador e o receptor, devem-se analisar os valores das fems e das fcems. Num circuito como o do exercício, será fem a que tiver maior valor e, conseqüentemente, o aparelho funcionará como gerador.



- R. 104** O circuito apresenta duas baterias, B_1 e B_2 , e um resistor.



Determine:

- a intensidade da corrente elétrica que atravessa o circuito;
- a ddp entre os pontos A e B.

Solução:

- A bateria B_1 , por ter maior valor de E (18 V), é o gerador. O sentido da corrente é do polo negativo para o polo positivo. Nessas condições, na bateria B_2 o sentido da corrente é do polo positivo para o polo negativo e ela funciona como um receptor.

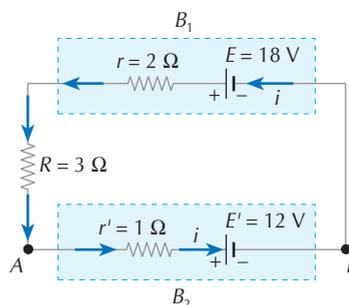
Pela lei de Pouillet, temos:

$$i = \frac{E - E'}{R + r + r'} \Rightarrow i = \frac{18 - 12}{3 + 2 + 1} \Rightarrow i = \frac{6}{6} \Rightarrow i = 1\text{ A}$$

- Entre os pontos A e B temos um receptor. Logo:

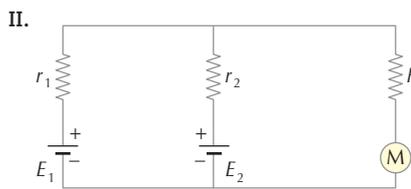
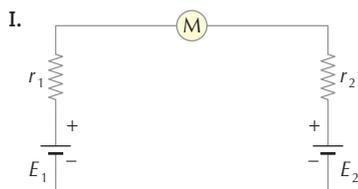
$$U_{AB} = E' + r' \cdot i \Rightarrow U_{AB} = 12 + 1 \cdot 1 \Rightarrow U_{AB} = 13\text{ V}$$

Resposta: a) 1 A; b) 13 V



R. 105 Duas pilhas elétricas apresentam as seguintes características: ($E_1 = 1,53 \text{ V}$, $r_1 = 15 \Omega$) e ($E_2 = 1,47 \text{ V}$, $r_2 = 15 \Omega$).

- a) Ligando-as conforme o circuito I, calcule a indicação do miliamperímetro M ideal.
 b) Ligando-as em paralelo e fechando o circuito com um resistor $R = 367,5 \Omega$ em série com o miliamperímetro M, verifica-se que este indica 4 mA (circuito II). Calcule as correntes elétricas nas pilhas E_1 e E_2 .



Solução:

- a) A pilha de maior fem funciona como gerador.

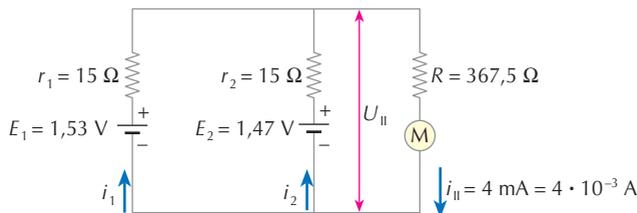
Pela lei de Pouillet:

$$i_1 = \frac{E_1 - E_2}{r_1 + r_2} = \frac{1,53 - 1,47}{15 + 15} = \frac{0,06}{30} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow i_1 = 0,002 \text{ A} \Rightarrow \boxed{i_1 = 2 \text{ mA}}$$

- b) Pela lei de Ohm, no resistor R temos:

$$U_{II} = R \cdot i_{II} \Rightarrow U_{II} = 367,5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} \Rightarrow U_{II} = 1,47 \text{ V}$$



Em cada gerador associado, apliquemos a equação do gerador:

$$U_{II} = E_2 - r_2 \cdot i_2 \Rightarrow 1,47 = 1,47 - 15 \cdot i_2 \Rightarrow \boxed{i_2 = 0}$$

$$U_{II} = E_1 - r_1 \cdot i_1 \Rightarrow 1,47 = 1,53 - 15 \cdot i_1 \Rightarrow 15 \cdot i_1 = 0,06 \Rightarrow i_1 = 0,004 \text{ A} \Rightarrow \boxed{i_1 = 4 \text{ mA}}$$

Resposta: a) 2 mA; b) $i_1 = 4 \text{ mA}$ e $i_2 = 0$

Observação:

No circuito I, o gerador de menor fem funciona como receptor, enquanto no circuito II esse gerador não é percorrido por corrente elétrica. O circuito II é um exemplo que justifica o fato de não termos analisado associação em paralelo de geradores de fems diferentes.

R. 106 Um gerador de fem 110 V e resistência interna 1Ω alimenta um circuito que corresponde, em série, a um motor de resistência interna 1Ω e um resistor de 9Ω . Esse resistor é imerso em um recipiente, contendo 1.125 g de água a 20°C . Calcule em quanto tempo a água entrará em ebulição, quando o eixo do motor for impedido de girar por um meio qualquer. (Dados: calor específico da água = $1 \text{ cal/g} \cdot ^\circ \text{C}$ e $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$)

Solução:

O circuito pode ser esquematizado como na figura ao lado. Impedindo-se o eixo do motor de girar ($E' = 0$) e, pela lei de Pouillet, temos:

$$i = \frac{E}{R + r + r'} \Rightarrow i = \frac{110}{9 + 1 + 1} \Rightarrow i = \frac{110}{11} \Rightarrow i = 10 \text{ A}$$

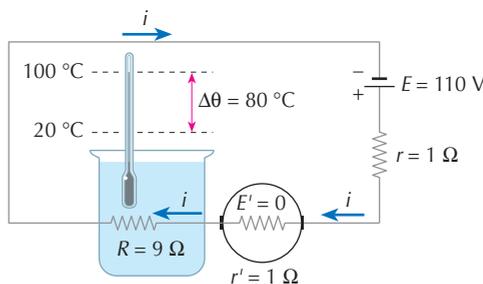
A energia elétrica consumida pelo resistor é transformada em calor, levando a água à ebulição:

$$E_{el} = Q \Rightarrow Pot \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta \theta \Rightarrow R \cdot i^2 \cdot \Delta t = mc \cdot \Delta \theta$$

Sendo $R = 9 \Omega$, $i = 10 \text{ A}$, $m = 1.125 \text{ g}$, $c = 1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{C}} = 4,2 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ \text{C}}$ e $\Delta \theta = 80^\circ \text{C}$, temos:

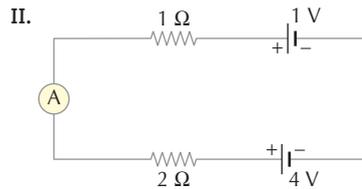
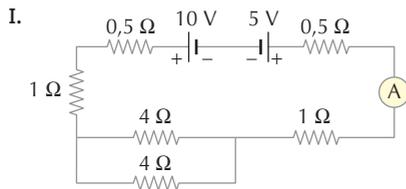
$$9 \cdot 10^2 \cdot \Delta t = 1.125 \cdot 4,2 \cdot 80 \Rightarrow \Delta t = 420 \text{ s} \Rightarrow \boxed{\Delta t = 7 \text{ min}}$$

Resposta: 7 min



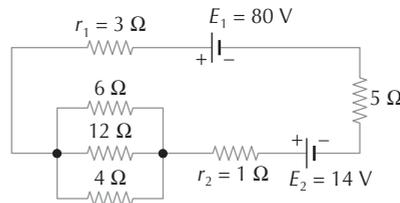
EXERCÍCIOS PROPOSTOS

P. 254 Dados os circuitos I e II, determine as indicações do amperímetro A ideal.



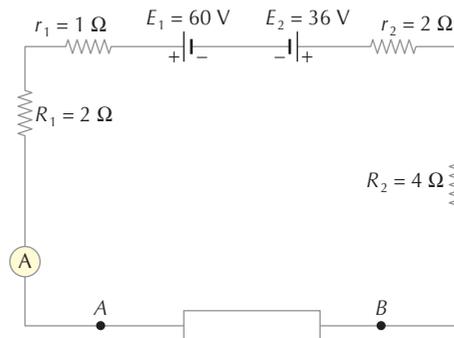
P. 255 Considere o circuito da figura. Calcule:

- a potência elétrica dissipada no resistor de $5\ \Omega$;
- a intensidade de corrente elétrica no resistor de $6\ \Omega$;
- as ddps do gerador e no receptor.



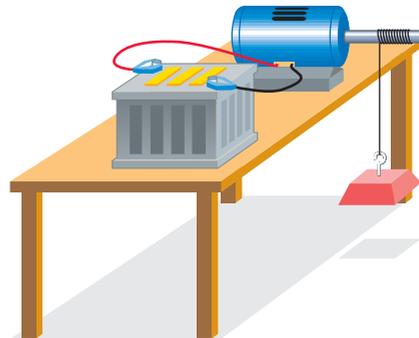
P. 256 No circuito indicado, A é um amperímetro ideal e indica $1,2\ \text{A}$.

- Supondo que AB seja um resistor, calcule sua resistência elétrica.
- Supondo que AB seja um receptor de resistência interna $1\ \Omega$, calcule a sua fcm.



P. 257 (UFV-MG) Um motor elétrico é fixado à borda de uma mesa com uma corda presa a seu eixo, de modo a levantar um peso de $100\ \text{N}$ a uma altura de $0,50\ \text{m}$ em $10\ \text{s}$, com velocidade constante, conforme figura. O motor é conectado a uma bateria de $10\ \text{V}$ por meio de fios, de forma que todo o circuito tem a resistência de $5,0\ \Omega$. Estando o motor realizando essa tarefa, determine:

- a potência por ele desenvolvida;
- a corrente que percorre o circuito;
- a força contraeletromotriz do motor.



P. 258 Um circuito compreende um gerador de fem $42\ \text{V}$ e resistência interna $4\ \Omega$, em série com um motor elétrico e um resistor de $4,19\ \Omega$ imerso em um calorímetro. Constata-se que:

- impedindo-se a rotação do motor, desprendem-se, no calorímetro, $540\ \text{cal/min}$;
- quando o motor está em rotação plena, a quantidade de calor no calorímetro é de $15\ \text{cal/min}$.

Considerando $1\ \text{cal} = 4,19\ \text{J}$, determine a fcm e a resistência interna do motor elétrico.

P. 259 (UFSCar-SP) É dado um circuito de duas pilhas idênticas ligadas em série e uma resistência externa de $10\ \Omega$. Cada pilha tem fem igual a $1,5\ \text{V}$ e resistência interna $2,5\ \Omega$. Seja i a intensidade de corrente do circuito. Quando se acrescenta uma terceira pilha em série com as duas primeiras:

- a intensidade de corrente não se altera, se ela for ligada em série com a mesma polaridade;
- a nova intensidade de corrente é $\frac{i}{2}$, se ela for ligada em série com a polaridade oposta.

Determine as características da terceira pilha.

A bateria de chumbo

A bateria de chumbo, utilizada, por exemplo, nos automóveis, é constituída de várias pilhas, associadas em série. Cada pilha é formada de placas alternadas de chumbo (Pb) e de dióxido de chumbo (PbO₂)*. O conjunto encontra-se imerso numa solução diluída de ácido sulfúrico. As placas de chumbo são ligadas entre si, constituindo o ânodo ou polo negativo. As placas de dióxido de chumbo, ligadas entre si, constituem o cátodo ou polo positivo.

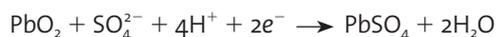
Cada pilha fornece uma tensão de 2 V. Uma bateria de 12 V contém seis pilhas associadas em série.

Durante a **descarga** da bateria, isto é, durante a fase em que a bateria funciona como gerador, ocorrem as seguintes reações químicas:

• **ânodo**



• **cátodo**



Os íons SO_4^{2-} e H^+ são fornecidos pelo H_2SO_4 ($\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$).

O sulfato de chumbo (PbSO₄) formado em cada reação adere à respectiva placa.

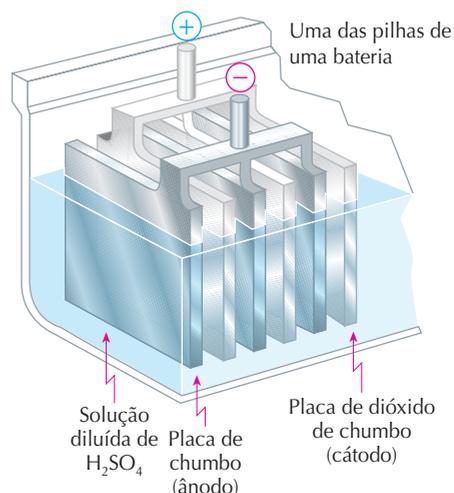
Cada átomo de chumbo do ânodo que participa da reação libera dois elétrons que atravessam o circuito externo à bateria, sendo capturados pelo cátodo. Tem-se, assim, a corrente elétrica.

Nessas reações, o ácido sulfúrico vai sendo consumido e conseqüentemente diminui a densidade da solução. Por isso, para testar a bateria, usa-se um densímetro. A densidade ideal da solução deve ser de 1,28 g/cm³.

Baterias desse tipo são geradores reversíveis, isto é, podem ser **recarregadas**. Para isso, liga-se, em oposição com a bateria, um gerador de corrente contínua que aplica à bateria uma ddp maior do que sua fem. A bateria passa a funcionar como receptor.

As reações anteriores se invertem: um eletrodo se recobre de chumbo e o outro, de dióxido de chumbo. Na solução aumenta a concentração de ácido sulfúrico.

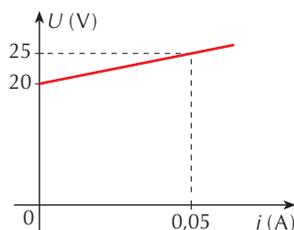
Durante a descarga, energia química se transforma em energia elétrica e, na carga, energia elétrica se transforma em energia química. No caso dos automóveis, é o dínamo que, de um modo automático, faz o recarregamento da bateria.



EXERCÍCIOS PROPOSTOS DE RECAPITULAÇÃO

P. 260 (Covest-PE) O motor elétrico de uma bomba-d'água é ligado a uma rede elétrica que fornece uma diferença de potencial de 220 V. Em quantos segundos o motor da bomba consome uma energia de 35,2 kJ, se por ele circula uma corrente elétrica de 2 A?

P. 261 (Olimpíada Brasileira de Física) A tensão nos terminais de um motor elétrico varia com a intensidade da corrente, conforme o gráfico ao lado. Se o rendimento desse motor for de 50%, calcule a corrente que o percorre.

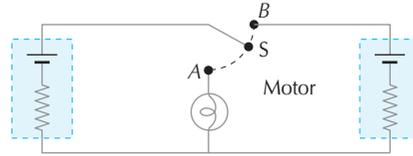


* As placas de dióxido de chumbo, na verdade, são constituídas por placas de chumbo recobertas por uma película de dióxido de chumbo (PbO₂).

P. 262 (UFU-MG) Uma bateria de fem 220 V e resistência de 10Ω está acoplada, conforme o circuito da figura, ou a uma lâmpada de 100Ω de resistência ou a um motor de fem 205 V com resistência interna de 5Ω , dependendo de a conexão da chave S estar em A ou B.

Pede-se:

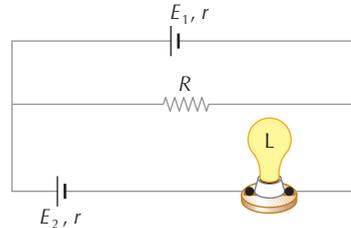
- a potência consumida pela lâmpada;
- a potência útil do motor;
- a potência dissipada por efeito Joule no motor.



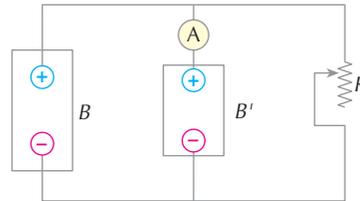
P. 263 (FEI-SP) Com uma bateria de fem $E_1 = 21 \text{ V}$ e resistência interna $r_1 = 3,0 \Omega$, deseja-se acionar um pequeno motor de corrente contínua de fem $E_2 = 5,0 \text{ V}$ e resistência interna $r_2 = 2,0 \Omega$. Despreze a resistência dos fios de ligação e calcule a resistência que deve ser associada em paralelo com o motor para que a corrente nele seja de $2,0 \text{ A}$.

P. 264 (Unicamp-SP) No circuito da figura, as baterias têm fem $E_1 = 4 \text{ V}$, $E_2 = 2 \text{ V}$ e ambas têm resistência interna $r = 1 \Omega$.

- Para que valor da resistência R a lâmpada L do circuito não se acende, isto é, pode-se considerar a corrente através de L como sendo nula?
- Com a lâmpada L apagada, qual é o valor da corrente que passa por R ?



P. 265 (PUC-SP) Duas baterias, B e B' , formada a primeira de 5 elementos e a segunda de 4 elementos, todos iguais, estão ligadas num circuito, conforme o esquema ao lado. Nesse circuito, A é um amperímetro ideal e R , um reostato. Quando $R = 1 \Omega$, a indicação do amperímetro é zero. Calcule a resistência interna de cada elemento.

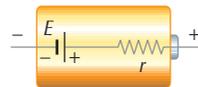


P. 266 (UFPA) Uma lâmpada de resistência igual a 117Ω é ligada em série a um motor de força contraeletromotriz igual a 60 V e resistência interna igual a 1Ω , sendo ambos ligados também em série a um gerador de força eletromotriz igual a 120 V e resistência interna igual a 2Ω . Com o circuito em funcionamento, pergunta-se:

- Qual o valor, em ampère, da corrente circulante?
- Se bloquearmos mecanicamente o eixo do motor, impedindo o seu giro, o brilho da lâmpada aumenta, diminui ou não se altera?
- Na situação ainda do item b, qual o valor, em ampère, da corrente elétrica circulante?

P. 267 (Fuvest-SP) As características de uma pilha, do tipo PX, estão apresentadas no quadro a seguir, tal como fornecidas pelo fabricante.

Uma pilha, do tipo PX, pode ser representada, em qualquer situação, por um circuito equivalente, formado por um gerador ideal de força eletromotriz $E = 1,5 \text{ V}$ e uma resistência interna $r = \frac{2}{3} \Omega$, como representado no esquema abaixo.



Três dessas pilhas foram colocadas para operar, em série, em uma lanterna que possui uma lâmpada L , com resistência constante $R_L = 3,0 \Omega$. Por engano, uma das pilhas foi colocada invertida, como representado abaixo:



Determine:

- A corrente I , em ampères, que passa pela lâmpada, com a pilha 2 “invertida”, como na figura.
- A potência Pot , em watts, dissipada pela lâmpada, com a pilha 2 “invertida”, como na figura.
- A razão $F = \frac{Pot}{Pot_0}$, entre a potência Pot dissipada pela lâmpada, com a pilha 2 “invertida”, e a potência Pot_0 , que seria dissipada, se todas as pilhas estivessem posicionadas corretamente.