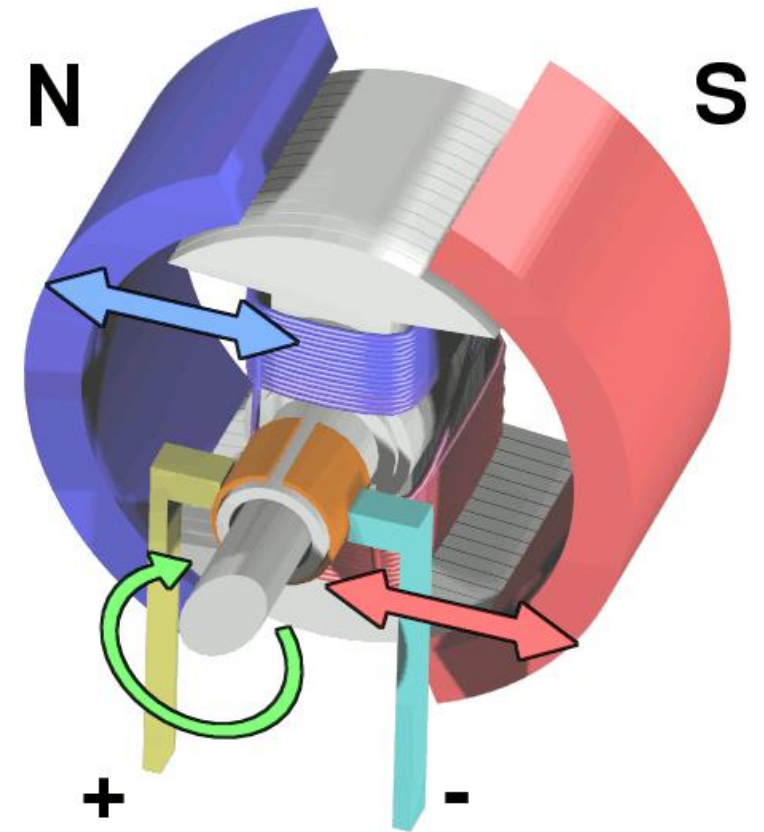


Circuitos Eléctricos II

Aula 6

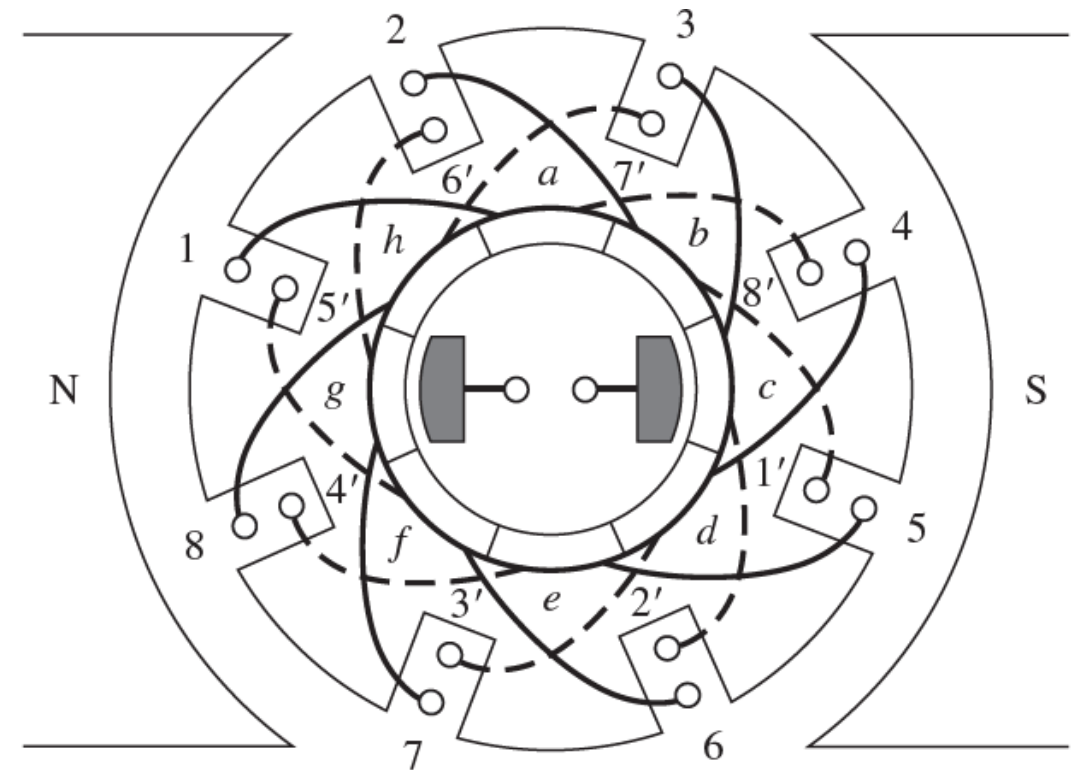
Polos elétricos e mecânicos

- Cada par de polos comporta-se como um ímã no motor. No caso gerador, cada rotação de um par de polos produzirá um ciclo de tensão induzida (mesma frequência):
 - Graus mecânicos θ_m (de rotação do eixo) são iguais aos graus elétricos θ_e do período da tensão induzida.
- Caso geral: $\theta_e = \frac{P}{2} \theta_m$



Enrolamento imbricado (*lap-winding*)

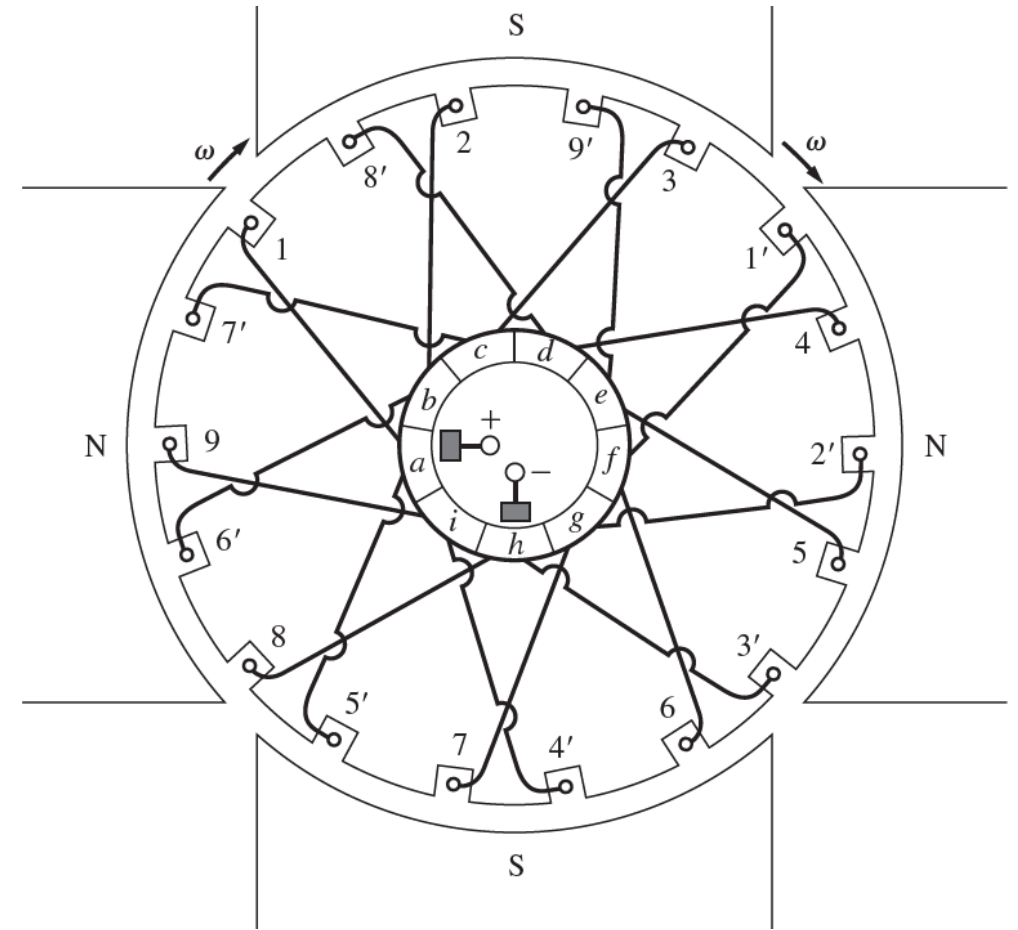
- O número de caminhos paralelos “a” é sempre igual ao número de pólos; o número de escovas é sempre igual ao número de pólos.



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

Enrolamento ondulado (*wave-winding*)

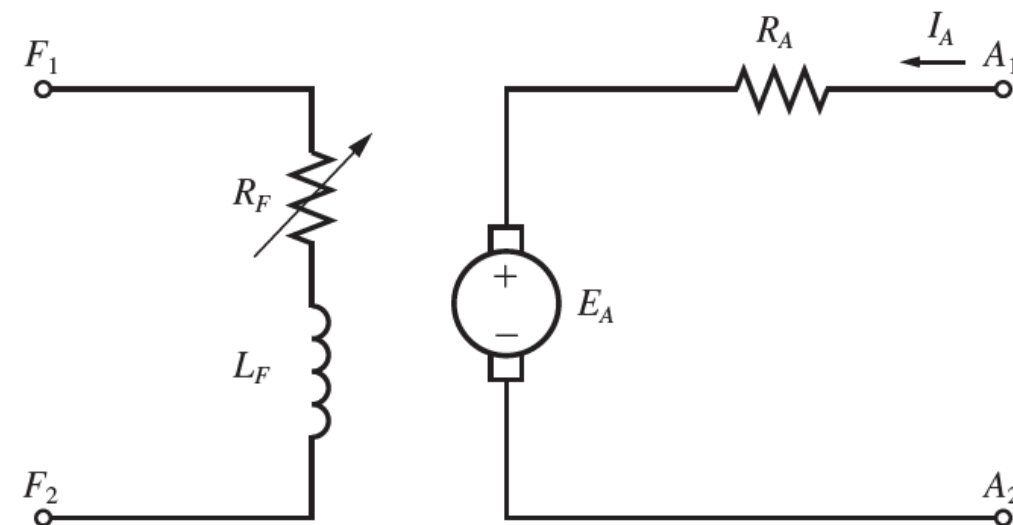
- Enrolamento ondulado (wave winding): o número de caminhos paralelos “a” é igual a 2 e independe do número de pólos; exige no mínimo duas escovas.



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

Equação da tensão na armadura E_A

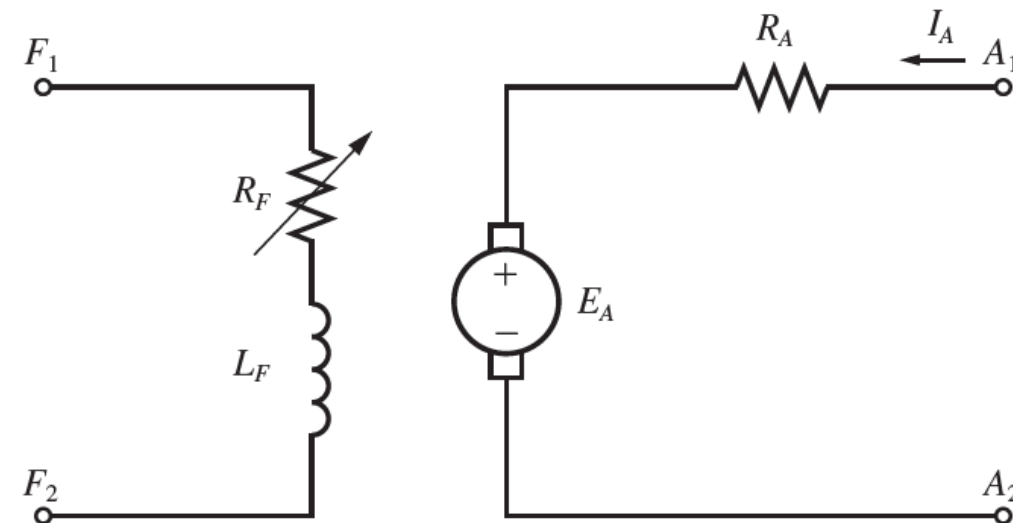
- Os terminais F_1 e F_2 são do circuito de campo enquanto que A_1 e A_2 são da armadura do motor.
- Tensão na armadura $E_A = k\phi\omega_m$
 - k é definida como constante da armadura e é determinada pelo projeto do enrolamento e vale $k = \frac{NP}{\pi a} = \frac{ZP}{2\pi a}$, Sendo $Z = 2N$ o número total de condutores, a é o número de caminhos paralelos para corrente e p é o número de polos da máquina;
 - ϕ é o fluxo magnético por polo, em Wb;
 - ω_m é a velocidade do motor em rad/s
- Caso a máquina opere como:
 - Motor: define a força contra eletromotriz;
 - Gerador: define a tensão gerada;



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

Equação do torque

- Torque $T = k\phi I_A$
 - k é definida como constante da armadura;
 - ϕ é o fluxo magnético por polo, em Wb;
 - I_A é a corrente da armadura.
- Caso a máquina opere como:
 - Motor: define o torque fornecido no eixo;
 - Gerador: define o torque de reação;
- Potência elétrica: $P_e = E_A I_A$
- Potência mecânica: $P_m = T \omega_m$



Fonte: (CHAPMAN, 2013)

Exercício

Uma máquina cc de 4 polos, construída com enrolamento imbricado, com 800 condutores ativos gira a 1800 rpm. O fluxo por polo é 35 mWb. Determine:

- a) A tensão induzida no enrolamento de armadura.
- b) Se a armadura é projetada para suportar uma corrente de linha máxima de 50 A, qual é a máxima potência eletromagnética desenvolvida pela armadura?
- c) Calcule o torque eletromagnético desenvolvido por esta máquina.

Solução: a) Como o enrolamento é imbricado, $P = a$. A velocidade deve ser convertida de *rpm* para *rad/s* de forma que:

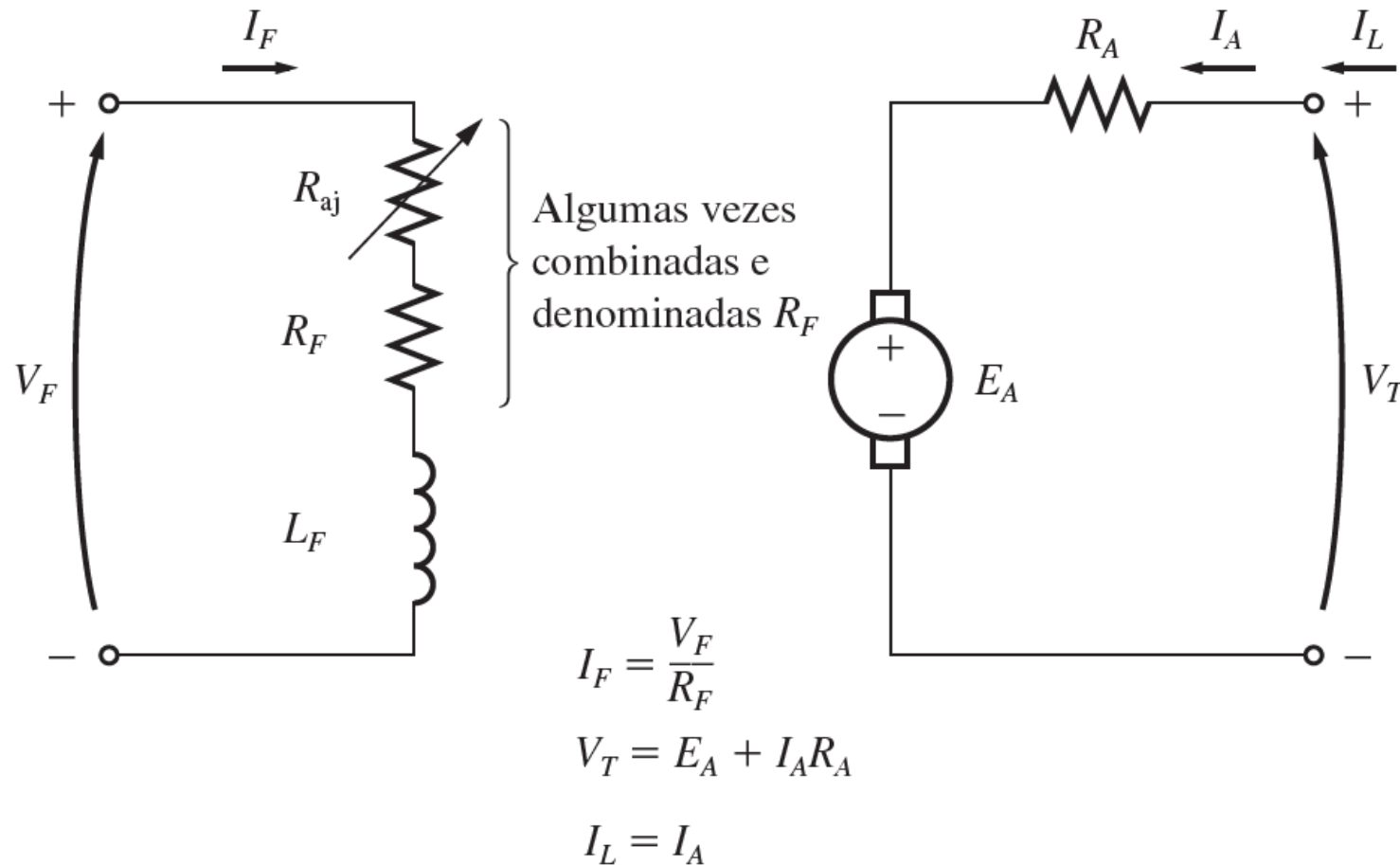
$$E_A = k\phi\omega_m = \frac{ZP}{2\pi a} \phi \left(\frac{n}{60} 2\pi \right) \rightarrow E_A = Z\phi \frac{n}{60} = 800 \times 35m \times \frac{1800}{60} \rightarrow E_A = 840 V$$

$$b) P_e = E_A I_A = 840 \times 50 \rightarrow P_e = 42 kW$$

$$c) P_m = P_e \rightarrow T\omega_m = E_A I_A \rightarrow T = \frac{E_A I_A}{\omega_m} = \frac{42000}{\left(\frac{1800}{60} 2\pi\right)} \rightarrow T = 222,82 N \cdot m$$

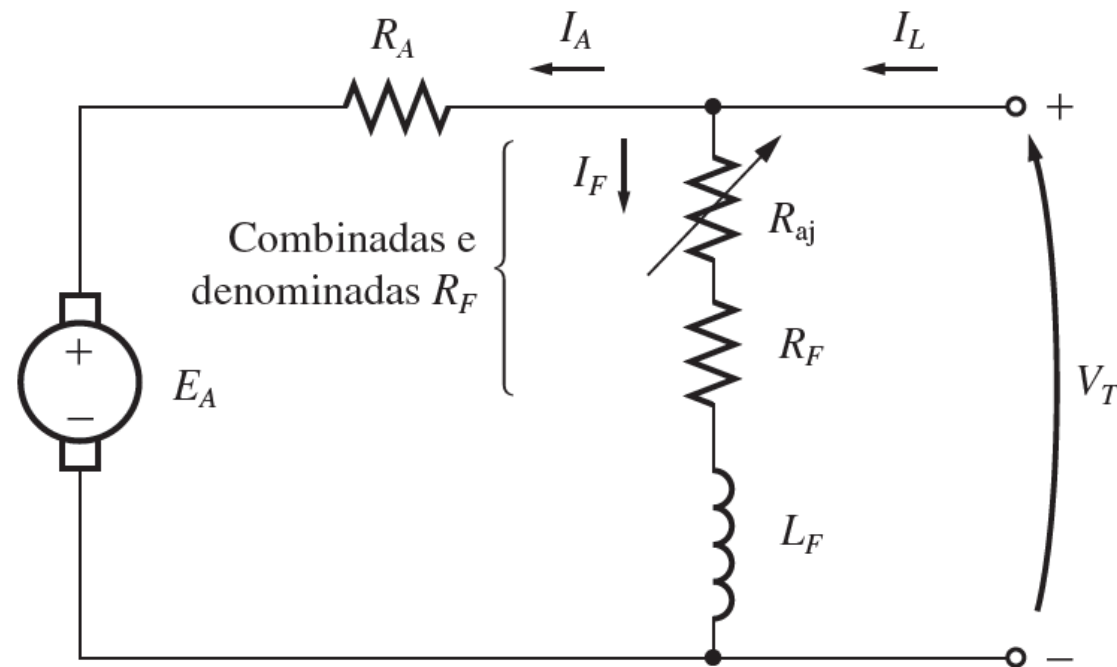
Classificação das máquinas CC

- Excitação independente: enrolamento de campo é alimentado por uma fonte CC externa.



Classificação das máquinas CC

- Excitação paralela ou shunt: enrolamento de campo é alimentado por uma fonte CC externa.



$$I_F = \frac{V_T}{R_F}$$

$$V_T = E_A + I_A R_A$$

$$I_L = I_A + I_F$$

Exercício

Um gerador com excitação em derivação de 50 kW, de 230 V de tensão terminal tem $R_A = 0,06 \Omega$ e $R_f = 58 \Omega$. Se o gerador opera à tensão nominal, calcule a tensão induzida

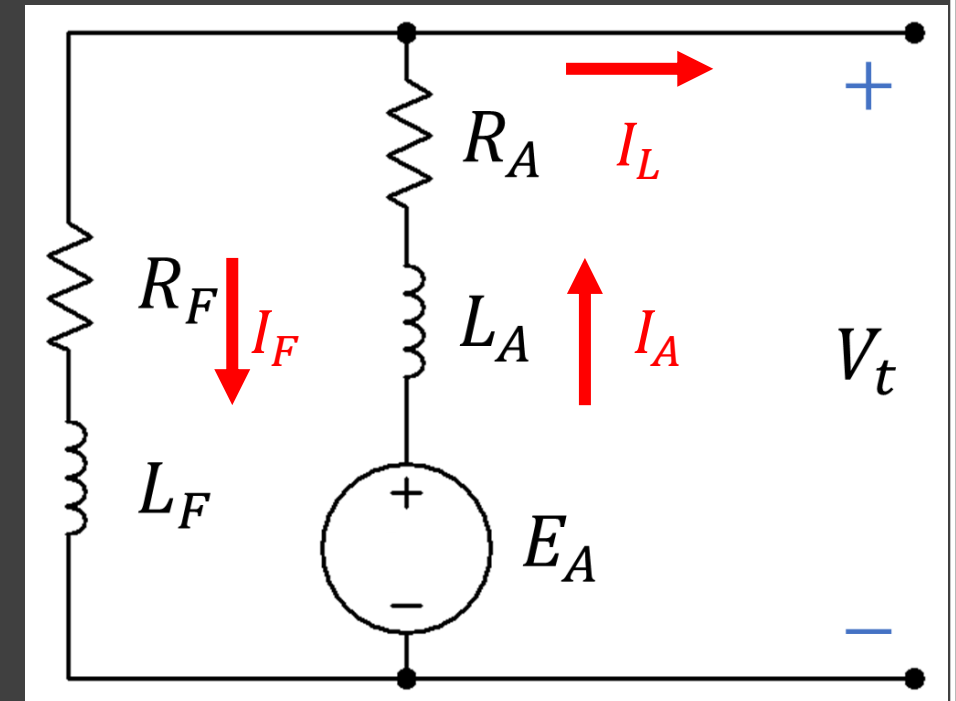
- a) A plena-carga;
- b) Meia-carga.

Solução: a) Corrente na carga $I_L = \frac{P}{V_t} = \frac{50000}{230} = 217,39 \text{ A}$

Corrente de campo: $I_F = \frac{V_t}{R_F} = \frac{230}{58} = 3,97 \text{ A}$

Corrente de armadura: $I_A = I_F + I_L = 3,97 + 217,39 \rightarrow$
 $I_A = 221,36 \text{ A}$

$$E_A = V_t + R_A I_A = 230 + 0,06 \times 221,36$$
$$E_A = 243,28 \text{ V}$$



Exercício

Solução: b) Meia carga $\rightarrow P = 25 \text{ kW}$

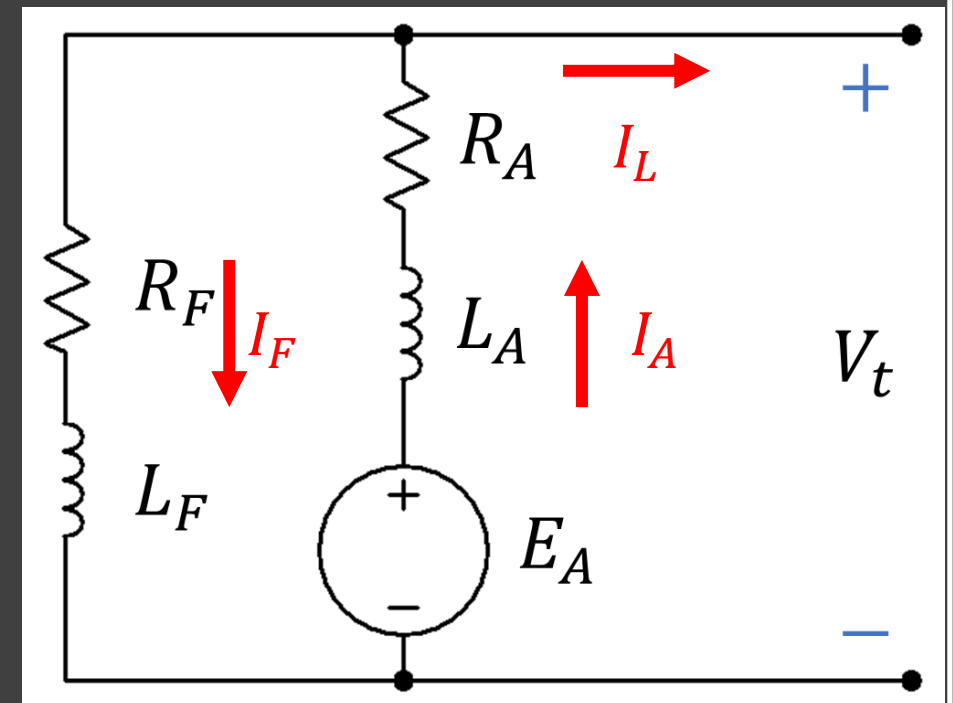
$$\text{Corrente na carga } I_L = \frac{P}{V_t} = \frac{25000}{230} = 108,7 \text{ A}$$

$$\text{Corrente de campo: } I_F = \frac{V_t}{R_F} = \frac{230}{58} = 3,97 \text{ A}$$

$$\text{Corrente de armadura: } I_A = I_F + I_L = 3,97 + 108,7 \rightarrow I_A = 112,67 \text{ A}$$

$$E_A = V_t + R_A I_A = 230 + 0,06 \times 112,67$$

$$E_A = 236,76 \text{ V}$$



Rendimento

- Perdas elétricas: perdas no cobre e devido à resistência de contato da escova;
- Perdas magnéticas: histerese e correntes de Foucault;
- Perdas mecânicas: atrito nos mancais, ventilação e atrito nas escovas;
 - As perdas rotacionais a plena carga são equivalentes às perdas rotacionais a vazio e podem ser determinadas obtendo-se a potência de entrada do circuito de armadura a vazio, assumindo que as perdas no cobre da armadura e as devido à queda de tensão nas escovas são desprezíveis (CHAPMAN, 2013).
- Suplementares: outras que não listadas. Consideradas como 1% da saída (regra prática)

$$\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}}$$

Exercício

Um motor CC em derivação de 40 HP, 230 V e 1200 rpm, tem uma corrente nominal de armadura de 150 A e uma corrente nominal de campo de 5 A. Quando seu rotor é travado, uma tensão de armadura de 10 V (sem as escovas) produz uma corrente de 150 A e uma tensão de campo de 230 V produz uma corrente de campo de 5 A. Assume-se que a queda de tensão nas escovas é 1 V. A vazio, com a tensão de terminal igual a 220 V, a corrente de armadura é igual a 13 A, a corrente de campo é 4,8 A e a velocidade do motor é 1150 rpm.

- a) Qual é a potência de saída desse motor em condições nominais?
- b) Qual é a eficiência do motor?

• Solução: a) Resistência da armadura: $R_A = \frac{10}{150} = 0,067 \, \Omega$, resistência de campo: $R_F = \frac{230}{5} = 46 \, \Omega$.

Perdas a plena carga na armadura: $P_A = R_A I_A^2 = 0,067 \times 150^2 \rightarrow P_A = 1507,5 \, W$

Perdas a plena carga no campo: $P_F = R_F I_F^2 = 46 \times 5^2 \rightarrow P_A = 1150 \, W$

Perdas nas escovas: $P_{escovas} = V_{escovas} I_A = 1 \times 150 = 150 \, W$

Perdas rotacionais = potência de entrada da armadura a vazio: $P_{Rot} = V_t I_{A,vazio} = 220 \times 13 = 2860 \, kW$

Exercício

Potência de entrada (carga nominal): $P_{entrada} = V_t I_L = 230 \times (150 + 5) = 35,65 \text{ kW}$

Potência de saída: $P_{saída} = P_{entrada} - P_{escovas} - P_{cobre} - P_{núcleo} - P_{mec} - P_{suplementares}$
 $P_{saída} = 36,65k - 150 - 1507,5 - 1150 - 2860 - 0,01 \times 36,65k$
 $P_{saída} = 29,62 \text{ W}$

Eficiência: $\eta = \frac{P_{saída}}{P_{entrada}} \rightarrow \eta = \frac{29,62k}{36,65k} \rightarrow \eta = 80,8\%$