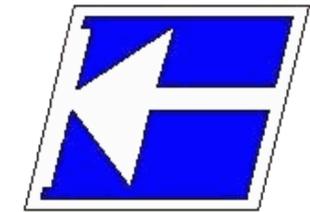




Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Acionamentos Eletrônicos



Máquinas de Corrente Contínua

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, julho de 2021.

Curso Básico de Acionamentos Eletrônicos

O material do curso está disponível em:

1. Moodle para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://moodle.ifsc.edu.br>



www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

Agenda

Esta aula está organizada em:

1. Máquinas de corrente contínua:
 - Definições iniciais;
 - Princípio de funcionamento das máquinas de corrente contínua;
 - Exemplos e construção.
2. Geradores de corrente contínua:
 - Funcionamento dos geradores de corrente contínua;
 - Aplicações dos geradores de corrente contínua.
3. Motores de corrente contínua:
 - Funcionamento dos motores de corrente contínua;
 - Circuito elétrico do motor de corrente contínua;
 - Tipos de motores de corrente contínua;
 - Aplicações dos motores de corrente contínua.
4. Seleção de motores de corrente contínua:
 - Vantagens e desvantagens dos acionamentos em corrente contínua;
 - Seleção de motores de corrente contínua.



Os motores elétricos de corrente contínua são utilizados em diversas aplicações e em vários níveis de potências.



Funcionamento das máquinas de corrente contínua

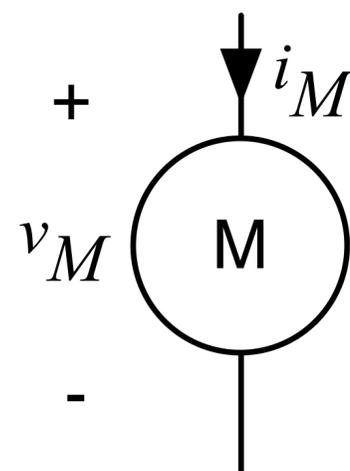
Definições e considerações:

- O motor elétrico de corrente contínua é uma máquina elétrica rotativa que converte energia elétrica em energia mecânica para acionamento de cargas acopladas em seu eixo, sendo alimentado por uma fonte de alimentação em tensão contínua (cc).
- O gerador elétrico de corrente contínua é uma máquina elétrica rotativa que converte energia mecânica em energia elétrica a partir da rotação provida ao seu eixo, servindo como fonte de alimentação de circuitos em tensão contínua (cc).
- Exemplos de máquinas de corrente contínua:



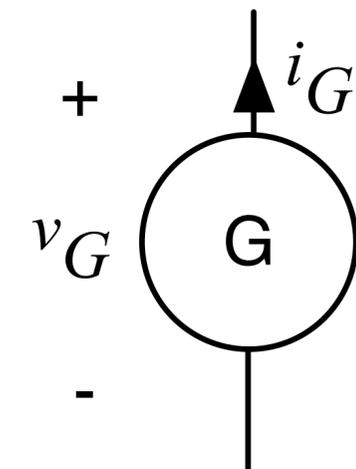
Motor elétrico

Fonte: <http://www.asten.com.br>



Gerador elétrico

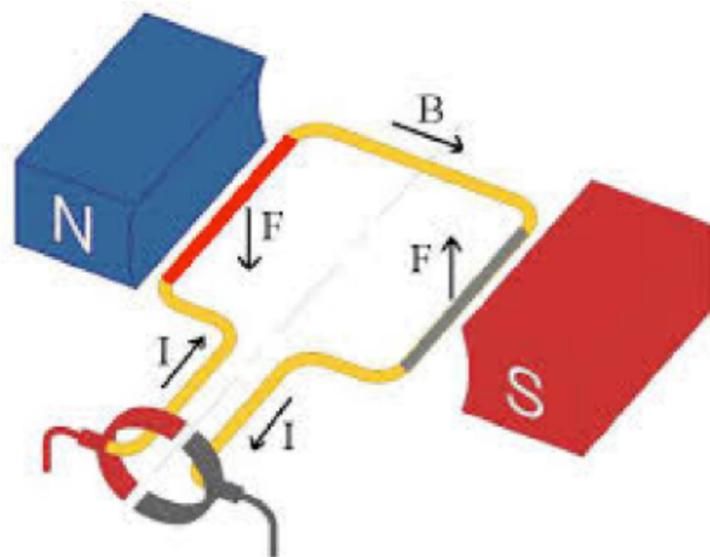
Fonte: <https://www.auroragenerators.com>



Funcionamento das máquinas de corrente contínua

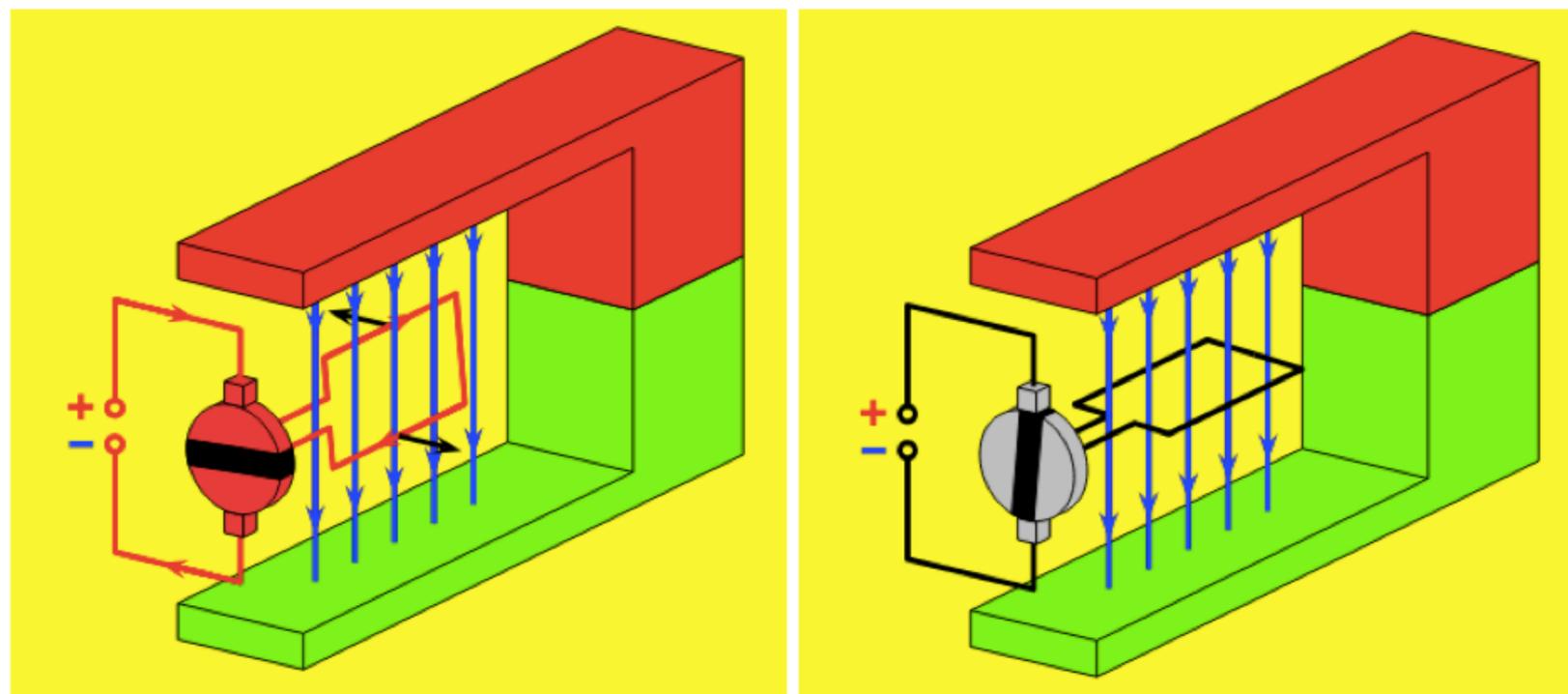
Princípios utilizando a força eletromagnética:

- Princípio motor - o princípio motor determina que um conjunto de espiras imerso em um campo magnético estará sujeito a uma força, denominada de Força de Lorentz, em decorrência dos estudos e descobertas de Hendrik Antoon Lorentz, por volta do ano 1892;
- Princípio gerador - o princípio gerador, por sua vez, determina que uma espira ou bobina, imersa em um campo magnético variante no tempo, estará sujeita a uma corrente induzida, constituindo um gerador eletromagnético.



Espira em um campo magnético

Fonte: <https://www.dt.fee.unicamp.br>



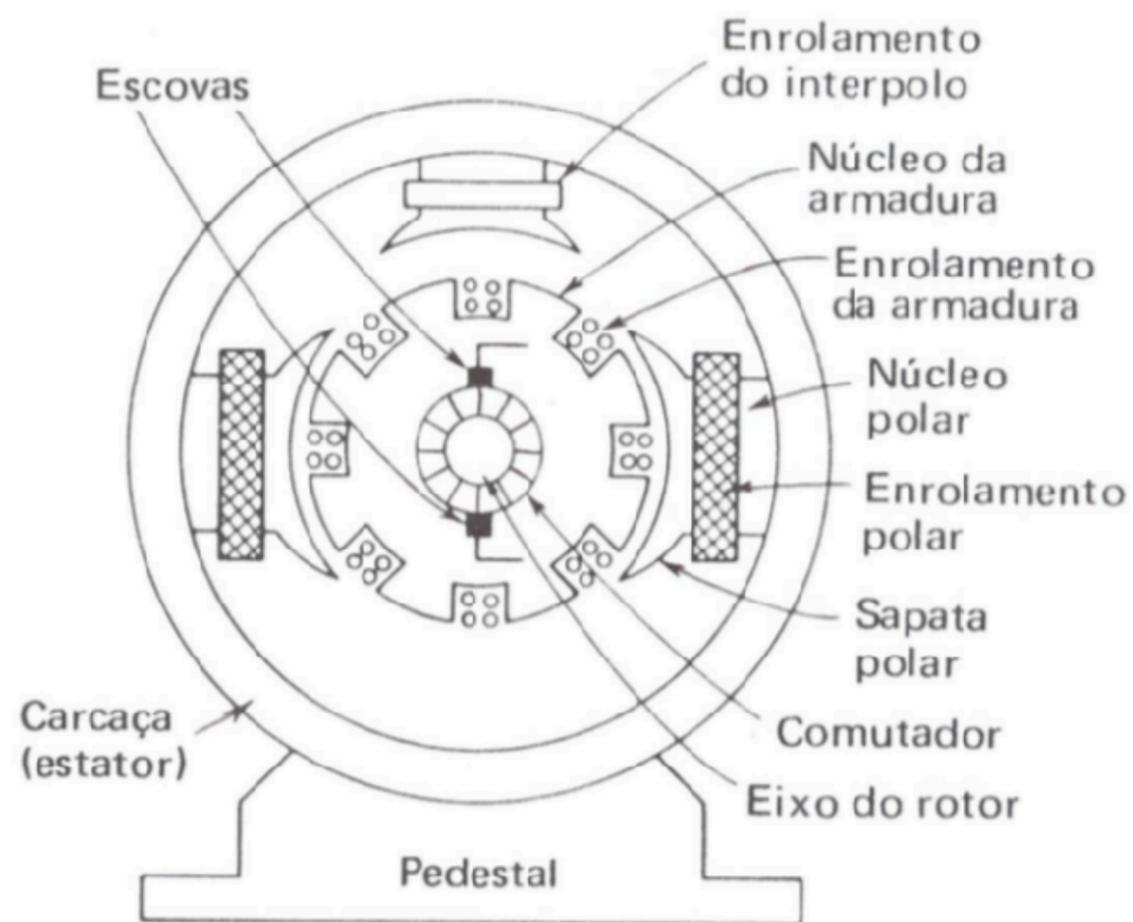
Funcionamento do motor cc

Fonte: <https://www.walter-fendt.de>

Funcionamento das máquinas de corrente contínua

Partes de uma máquina de corrente contínua:

- Estator ou campo;
- Rotor ou armadura;
- Coletor comutador;
- Escovas.



Partes da máquina de corrente contínua
Fonte: (Kosow, 2005)



Estator



Coletor



Rotor



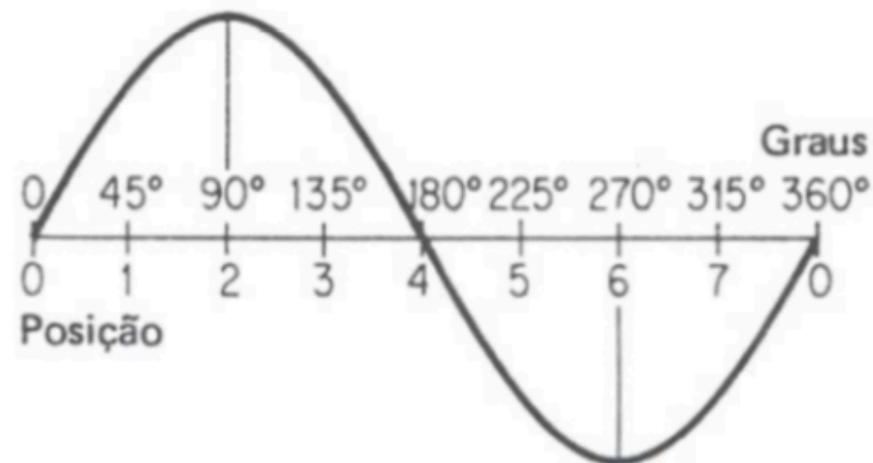
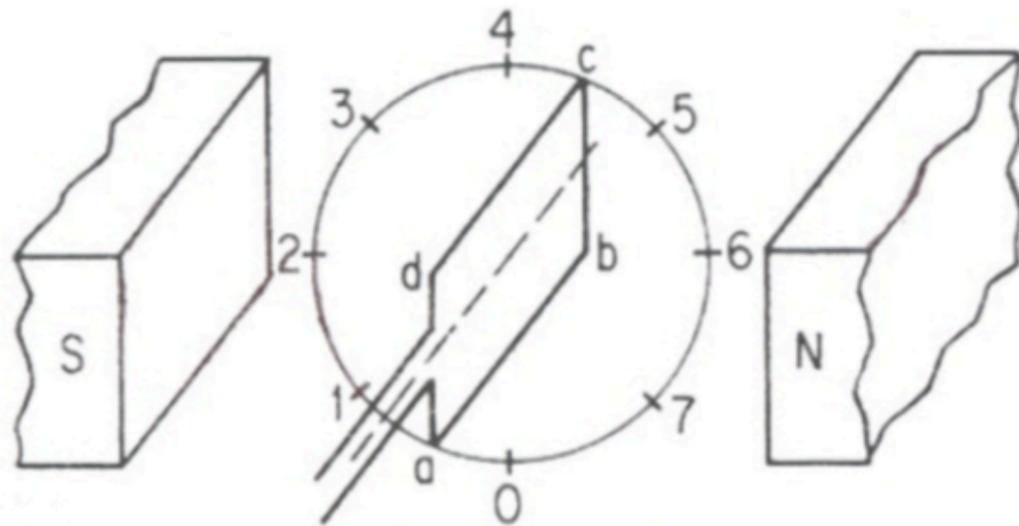
Escovas

Partes de um motor elétrico
Fonte: <https://www.americanas.com.br>

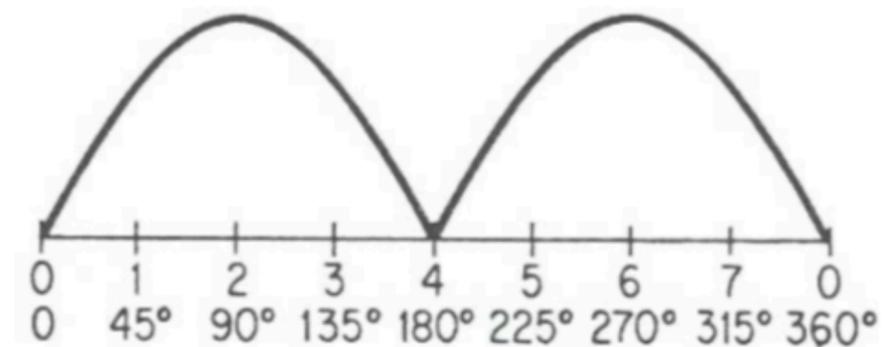
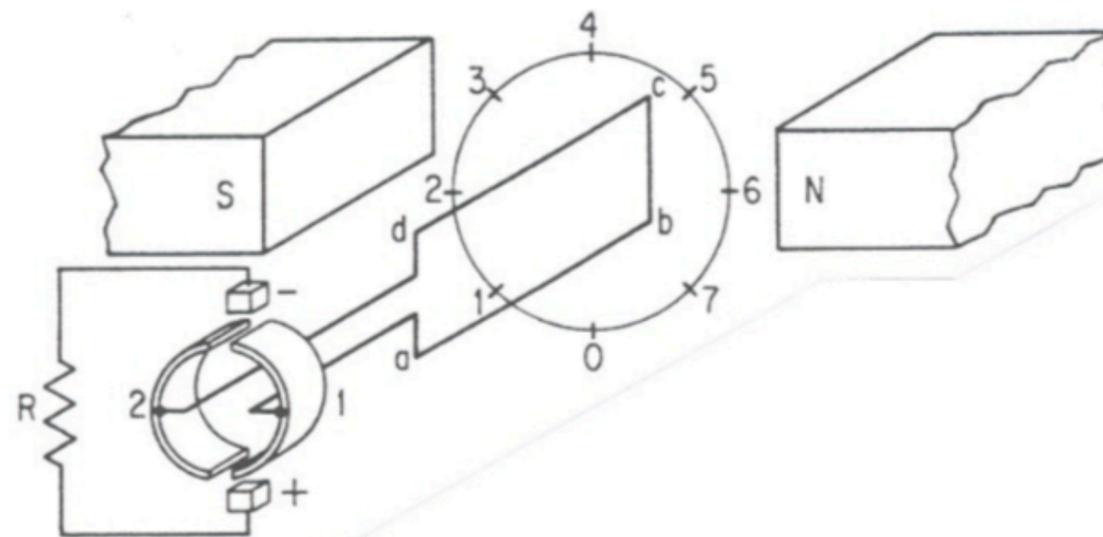
Geradores de corrente contínua

Lembrando:

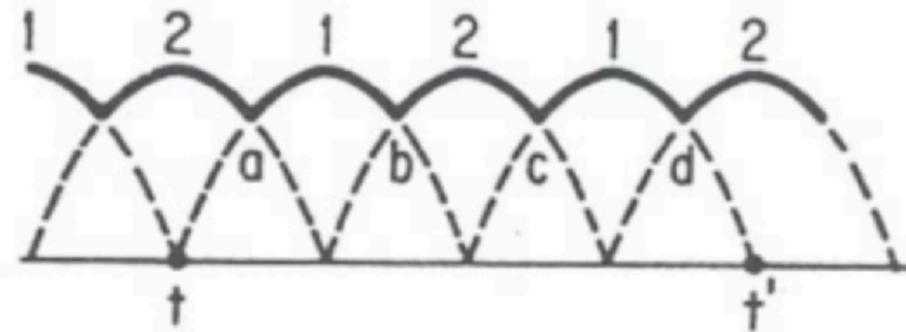
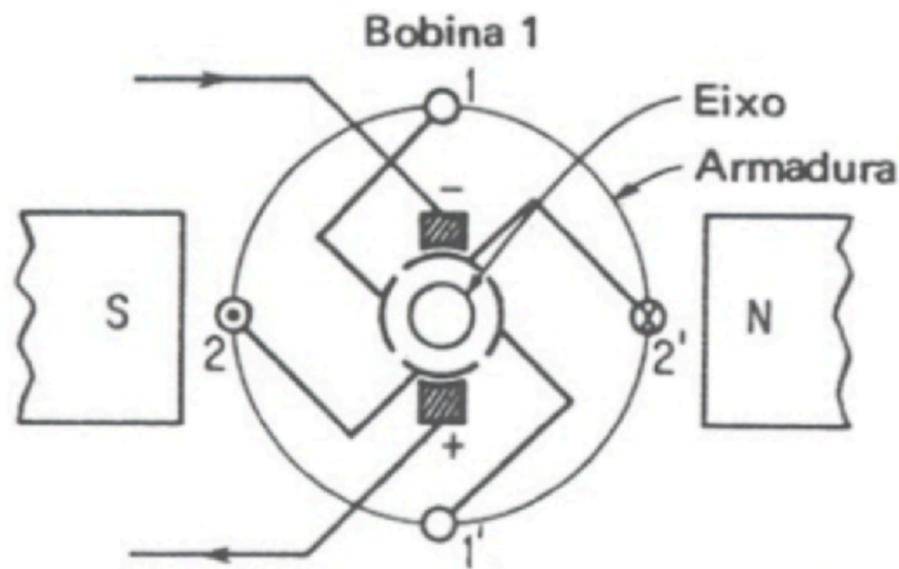
- Princípio gerador - o princípio gerador, por sua vez, determina que uma espira ou bobina, imersa em um campo magnético variante no tempo, estará sujeita a uma corrente induzida, constituindo um gerador eletromagnético.



Geradores ca e cc
Fonte: (Kosow, 2005)



Geradores de corrente contínua



Funcionamento do gerador de corrente contínua

Fonte: (Kosow, 2005)



Gerador eólico

Fonte: <https://www.alternative-energy-tutorials.com>



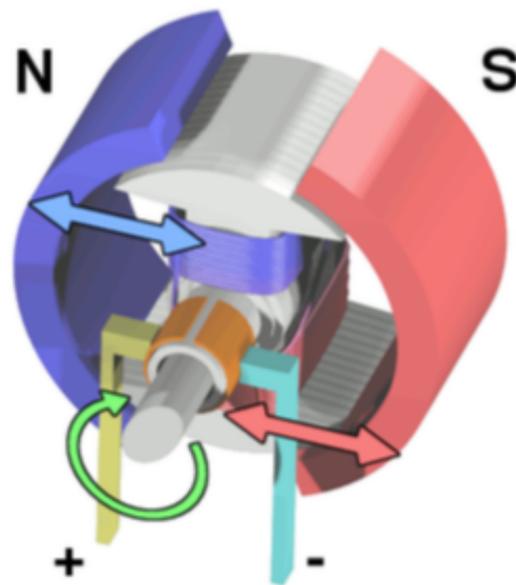
Encoder

Fonte: <https://www.globalsources.com>

Motores de corrente contínua

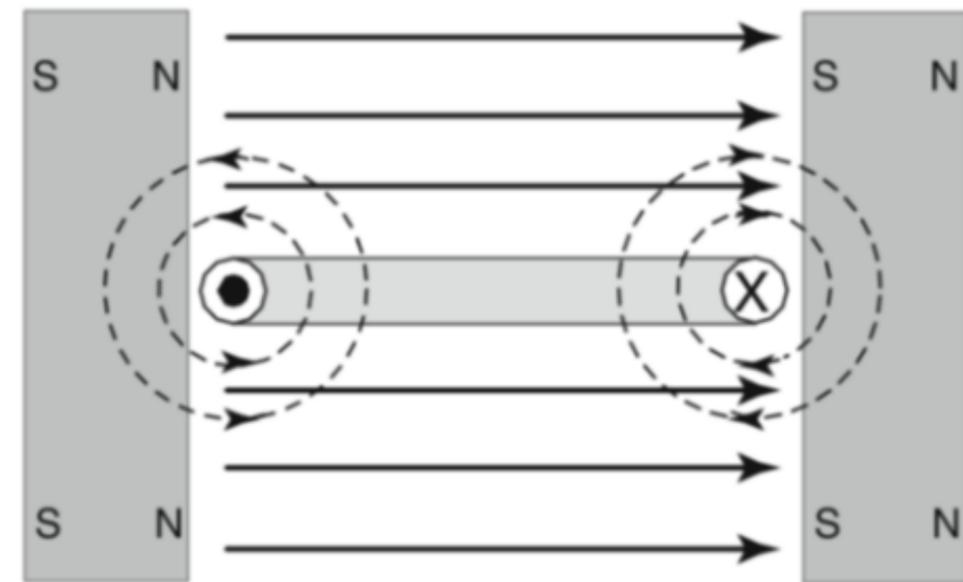
Lembrando:

- Princípio motor - o princípio motor determina que um conjunto de espiras imerso em um campo magnético estará sujeito a uma força, denominada de Força de Lorentz, em decorrência dos estudos e descobertas de Hendrik Antoon Lorentz, por volta do ano 1892.



Motor simples

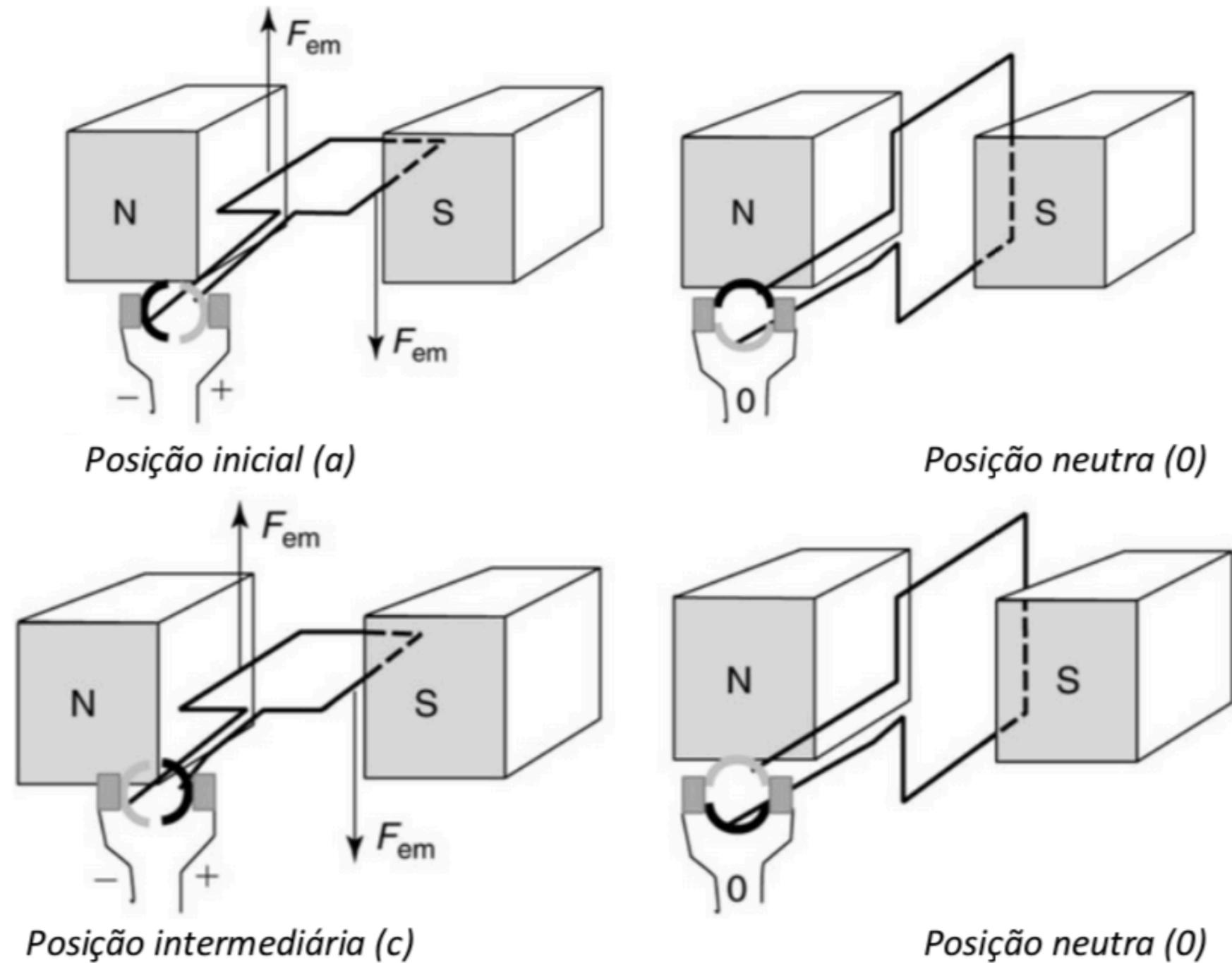
Fonte: <https://en.wikipedia.org>



Fluxo magnético no motor de corrente contínua

Fonte: <https://electricalacademia.com>

Motores de corrente contínua



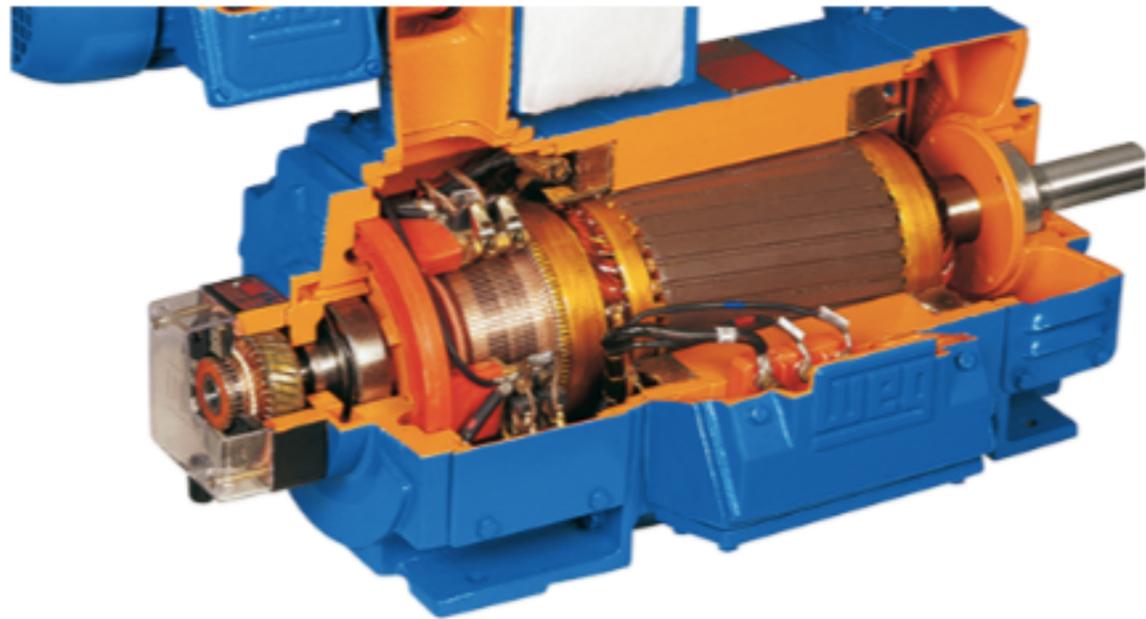
Funcionamento do motor de corrente contínua

Fonte: <https://electricalacademia.com>

Motores de corrente contínua

Exemplos e aplicações dos motores de corrente contínua:

- Principais aplicações: impressoras, limpadores de para-brisas, vidros elétricos, fresadoras, robótica, brinquedos, parafusadeiras, furadeiras, motores de partida, dentre outras.



Motor de alta potência

Fonte: <https://www.weg.net>



Motor com imã permanente

Fonte: <https://www.robotgear.com.au>



Motor sem escovas

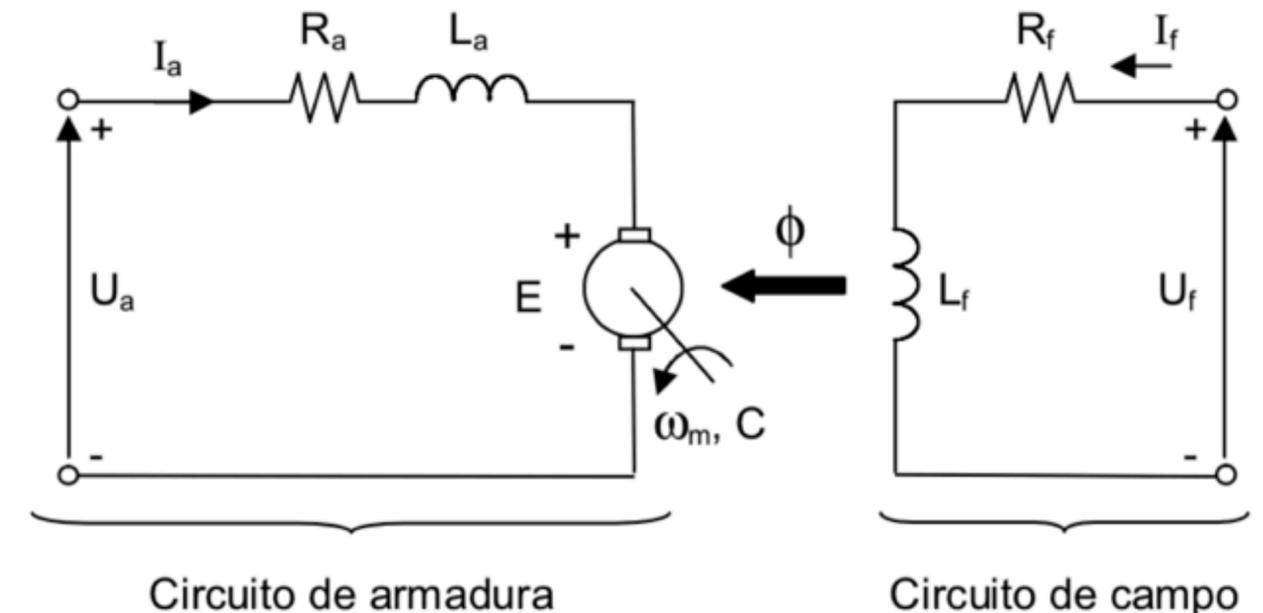
Fonte: <https://www.faulhaber.com>

Motores de corrente contínua

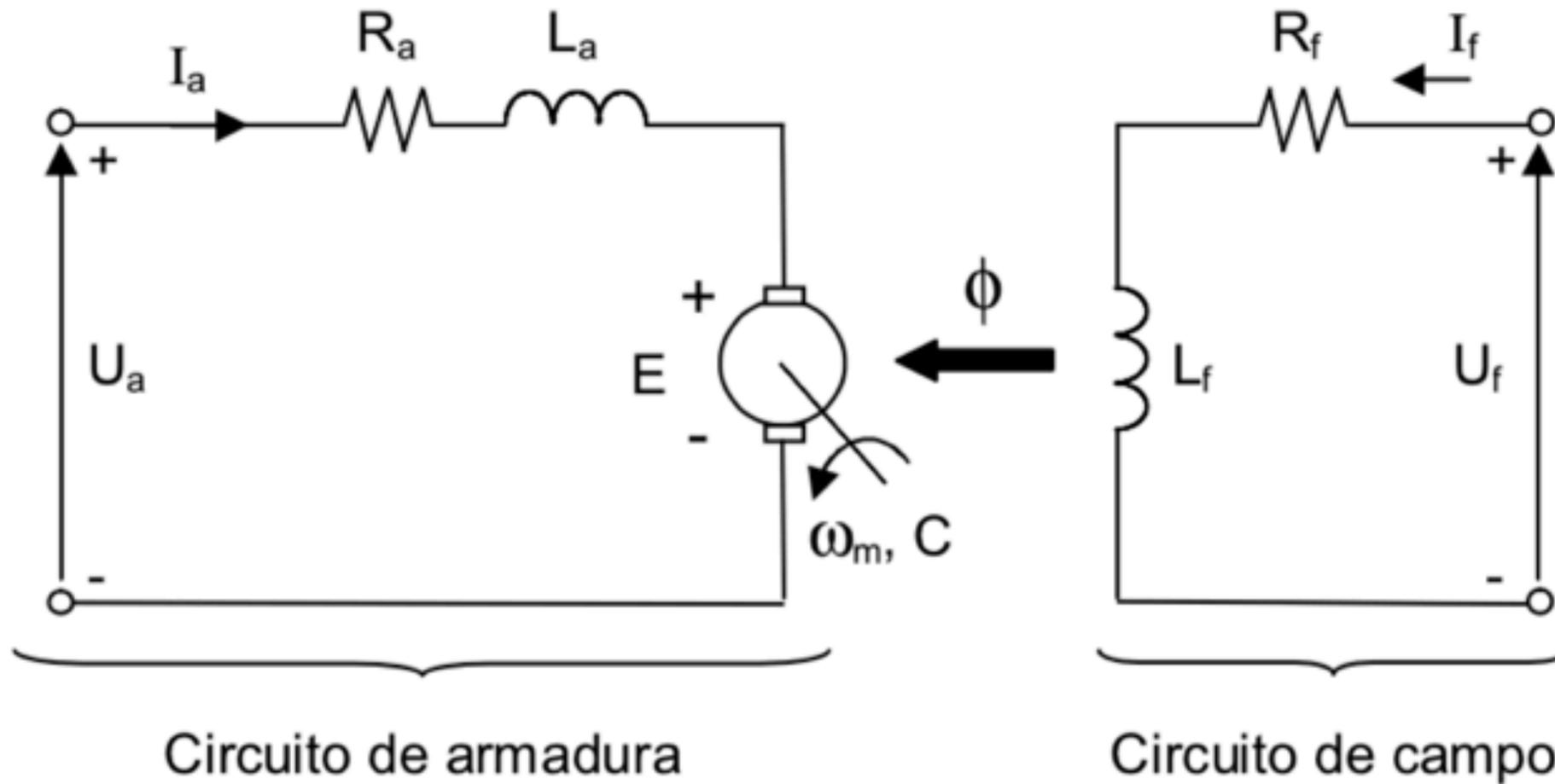
Circuito elétrico do motor de corrente contínua:

- Tensão de armadura (U_a) - Tensão terminal na bobina de armadura do motor;
- Corrente de armadura (I_a) - Corrente no enrolamento de armadura do motor;
- Resistência de armadura (R_a) - Resistência do enrolamento de armadura, incluindo a resistência das escovas e dos contatos do comutador;
- Indutância de armadura (L_a) - Indutância de armadura;
- E - Força eletromotriz induzida ou força contra-eletromotriz de armadura ou ainda, tensão de armadura do motor;
- Resistência de campo (R_f) - Resistência do enrolamento de campo do motor;
- Indutância de campo (L_f) - Indutância de campo do motor;
- Tensão de campo (U_f) - Tensão terminal na bobina de campo do motor;
- Corrente de campo (I_f) - Corrente no enrolamento de campo do motor;
- Fluxo magnético (ϕ) - Fluxo no entreferro da máquina;
- Velocidade angular (ω_m) - Velocidade angular no eixo do motor;
- Conjugado (C) - Conjugado no eixo do motor.

Circuito equivalente do motor cc
Fonte: (Siemens, 2006)



Motores de corrente contínua



Circuito equivalente do motor cc
Fonte: (Siemens, 2006)

$$U_a = R_a \cdot I_a + E$$

$$E = k_1 \cdot \phi \cdot n$$

$$n = k_1 \cdot \frac{(U_a - R_a \cdot I_a)}{\phi}$$

$$R_a \cdot I_a \cong 0$$

$$n = k_1 \cdot \frac{U_a}{\phi} \rightarrow \text{Velocidade}$$

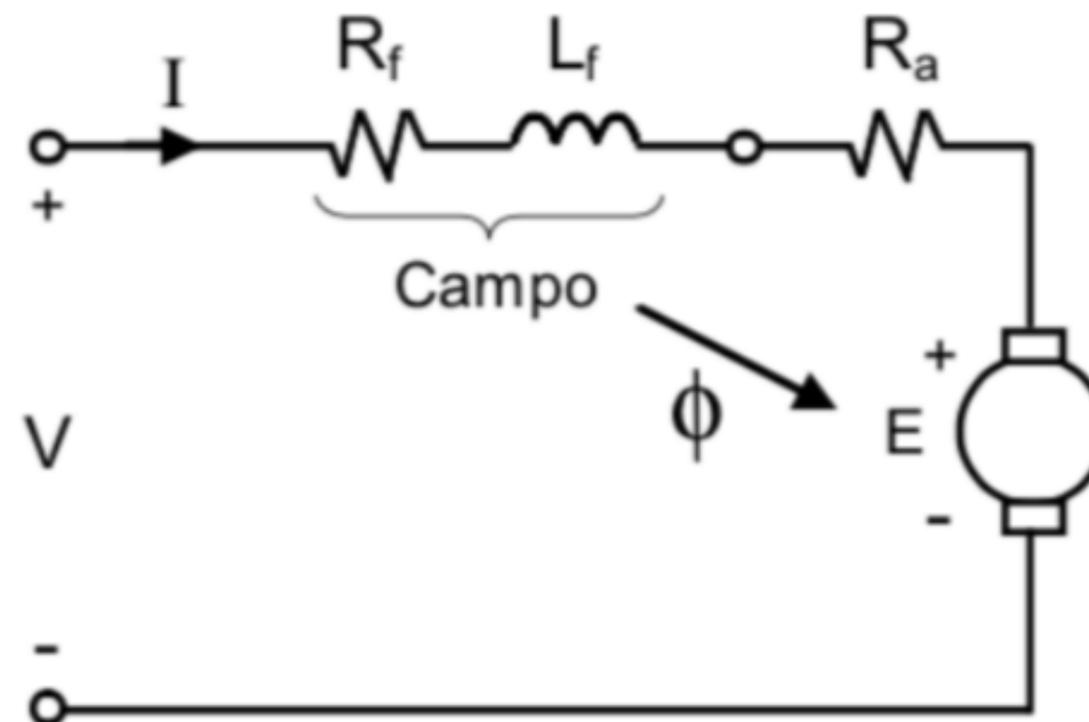
$$\phi = k_2 \cdot I_f$$

$$C = k_3 \cdot I_a \cdot \phi$$

Motores de corrente contínua

Motor de corrente contínua série:

- Bobinas de campo estão em série com o enrolamento da armadura;
- Só há fluxo no entreferro da máquina quando a corrente da armadura for diferente de zero (máquina carregada);
- Conjugado é função quadrática da corrente, uma vez que o fluxo é praticamente proporcional à corrente de armadura;
- Conjugado elevado em baixa rotação;
- Potência constante;
- Velocidade extremamente elevada quando o motor é descarregado, por isso não se recomenda utilizar transmissões por meio de polias e correias.

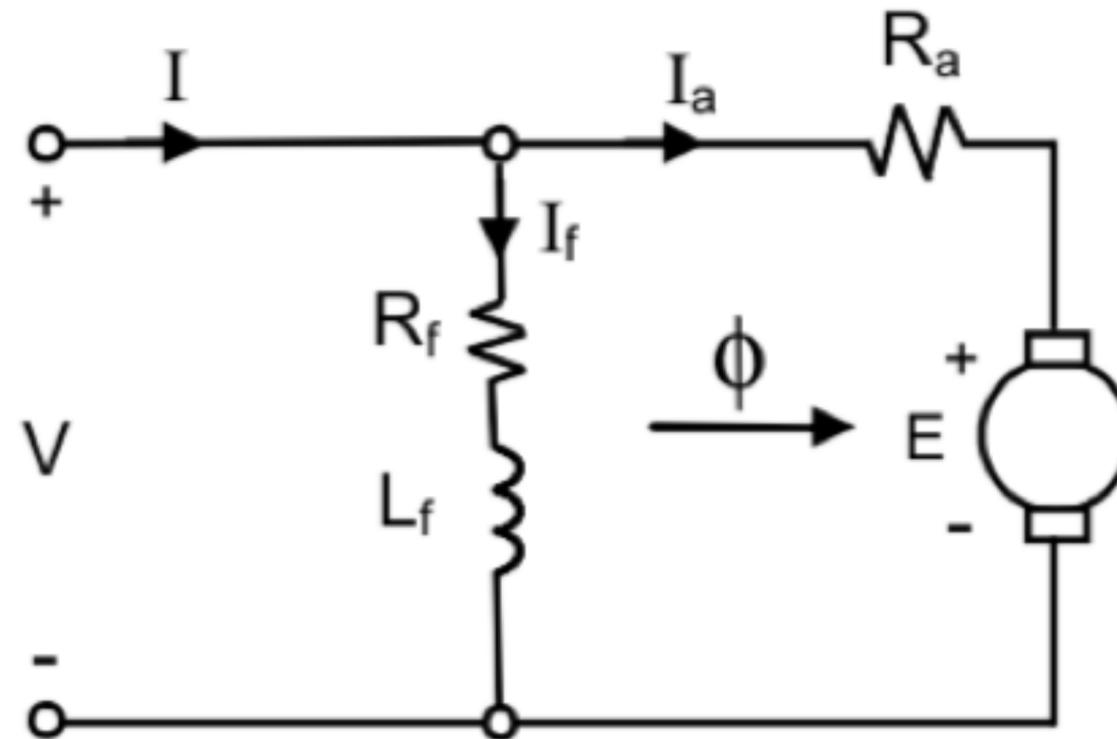


Ligação série
Fonte: (Siemens, 2006)

Motores de corrente contínua

Motor de corrente contínua paralelo:

- Velocidade praticamente constante;
- Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura.

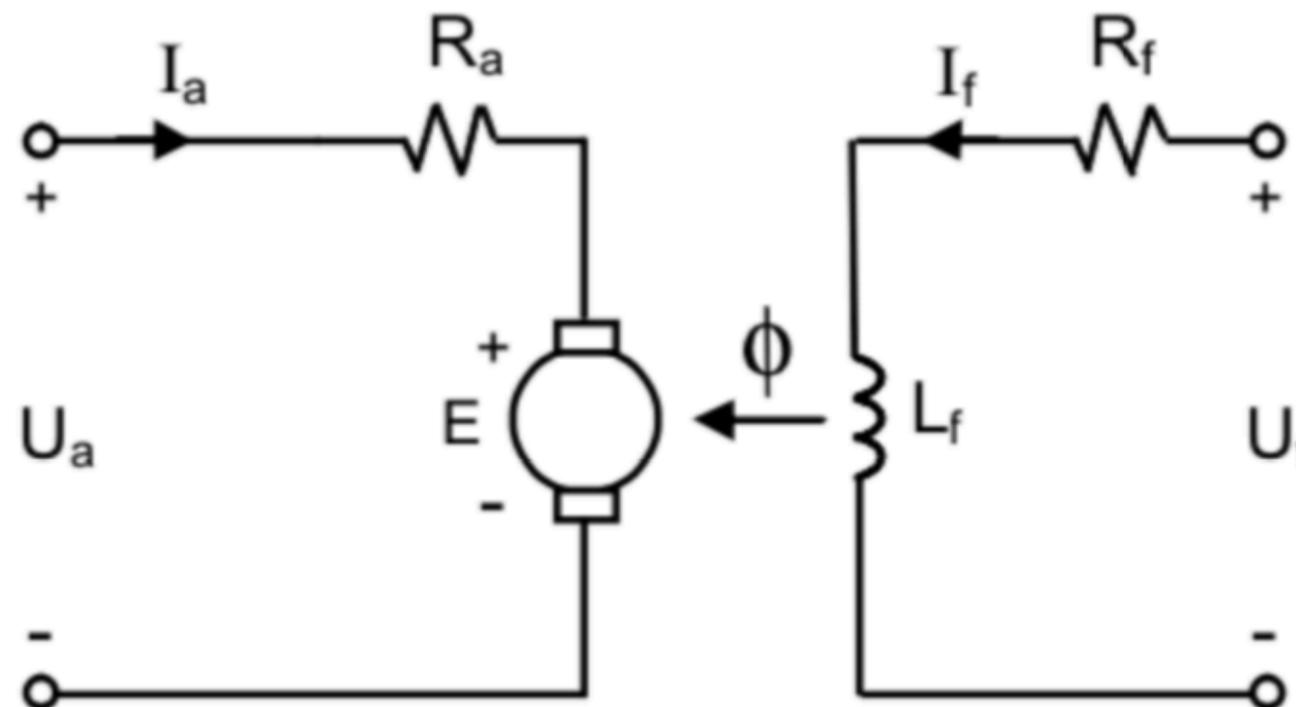


Ligação paralela
Fonte: (Siemens, 2006)

Motores de corrente contínua

Motor de corrente contínua com ligações independentes:

- Motor excitado externamente pelo circuito de campo;
- Velocidade praticamente constante;
- Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura e também por enfraquecimento de campo;
- São os motores mais aplicados com conversores ca-cc na indústria;
- Aplicações mais comuns: máquinas de papel, laminadores, extrusoras, fornos de cimento, etc.

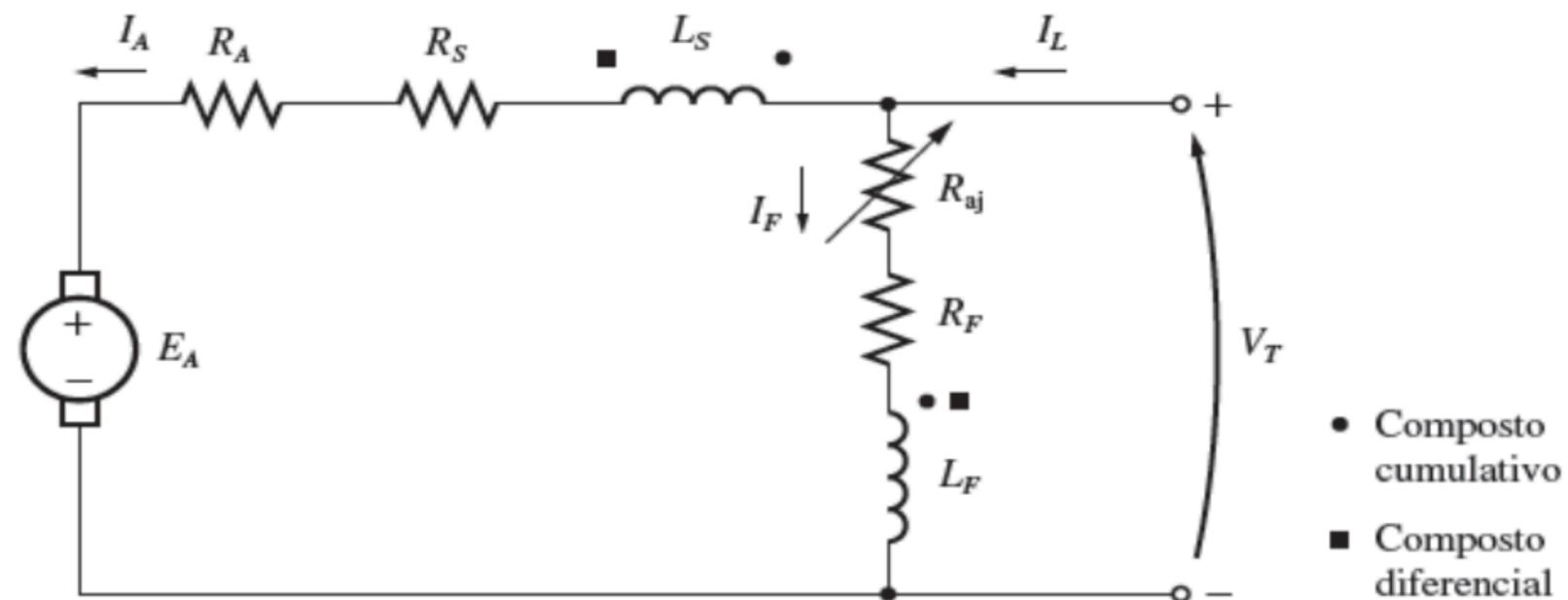


Ligações independentes
Fonte: (Siemens, 2006)

Motores de corrente contínua

Motor de corrente contínua composto:

- Enrolamento de campo independente e dividido;
- Apresenta um fluxo mínimo mesmo com o motor em vazio;
- Não utilizado para fins práticos.



Ligação composta

Fonte: <https://edisciplinas.usp.br>

Seleção de motores de corrente contínua

Vantagens e desvantagens do acionamento com motores de corrente contínua:

- Vantagens:
 - Custos mais baixos para operação em quatro quadrantes;
 - Ciclo contínuo de operação, inclusive em baixas rotações;
 - Alto torque de partida e em baixas rotações;
 - Facilidade para variação e controle de velocidade;
 - Menores circuitos de acionamento (conversores ca-cc);
 - Alta confiabilidade;
 - Grande flexibilidade com diferentes tipos de acionamentos;
 - Simplicidade e facilidade de acionamento usando conversores cc-cc.
- Desvantagens:
 - Para potência semelhante, os motores de corrente contínua são maiores e mais caros que os motores de indução;
 - Maior necessidade de manutenção em virtude da presença do comutador;
 - Apresenta arcos e faíscas elétricas em virtude da comutação, não podendo ser aplicado em ambientes perigosos, como os inflamáveis, por exemplo;
 - A tensão de alimentação, em virtude da operação em corrente contínua, não pode exceder 900 V, enquanto motores de indução podem ser para milhares de volts;
 - Necessidade de atenção na partida, mesmo em pequenos motores.

Seleção de motores de corrente contínua

Fatores para seleção e escolha de motores de corrente contínua:

- Grau de proteção - É a proteção do motor contra a entrada de elementos (corpos) estranhos, tais como poeiras, fibras, etc; também contra contato acidental e penetração de água. O grau de proteção é identificado por um código, do tipo IPxx, onde se pode ter letras intermediárias (W ou R) identificando as condições específicas de ensaio do motor, dois algarismos que identificam o comportamento do motor em relação a entrada de objetos sólidos e líquidos, e letras finais também identificando as condições para ensaio da máquina;
- Tipo de refrigeração - O tipo de refrigeração em conjunto com o grau de proteção determina as características do ambiente onde o motor será instalado. Em termos de refrigeração os motores podem ser abertos ou fechados, por exemplo;
- Ciclo de carga ou regime de serviço - Representa o grau de regularidade da carga acoplada ao motor. Podem ser para regime contínuo, para operação com carga constante ou regime variável, onde a carga é alterada ao longo do tempo;

Seleção de motores de corrente contínua

Fatores para seleção e escolha de motores de corrente contínua:

- Classe de temperatura ou classe de isolamento - Em virtude das perdas elétricas e mecânicas no motor, ocorre o aquecimento do mesmo e sua elevação de temperatura. Assim, a classe de temperatura ou isolamento garante que os materiais isolantes manterão suas características funcionais durante a operação do motor. As classes são: A até 105 °C, E até 120 °C, B suportam 130 °C, classe F 155 °C e classe H 180 °C;
- Temperatura ambiente e altitude de instalação - Temperatura ambiente máxima e altitude limite para operação adequada do motor sem sobreaquecimento e danos aos elementos construtivos do mesmo;
- Forma construtiva - Características e geometria do motor, que influenciam na sua instalação e acomodação no interior dos equipamentos, por exemplo;
- Posição e forma das conexões - São características importantes para se prever a montagem e instalação do motor no ambiente e/ou equipamento onde irá operar.

Tensão de operação, corrente elétrica, potência mecânica.

Acionamento de motores de corrente contínua

