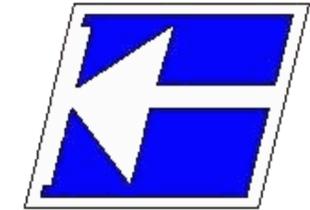




Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Acionamentos Eletrônicos



Máquinas de Corrente Alternada

Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, agosto 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>

Esta aula está organizada em:

1. Máquinas de corrente alternada:
 - Definições iniciais;
 - Princípio de funcionamento das máquinas de corrente alternada;
 - Exemplos e construção.
2. Geradores de corrente alternada:
 - Funcionamento dos geradores de corrente alternada;
 - Aplicações dos geradores de corrente alternada.
3. Motores de corrente alternada:
 - Princípio de funcionamento do motor de indução;
 - Circuito elétrico do motor de corrente alternada;
 - Campo girante no motor trifásico;
 - Campo girante no motor monofásico.
4. Tipos e aplicações de motores de corrente alternada:
 - Motores monofásicos;
 - Motores trifásicos.



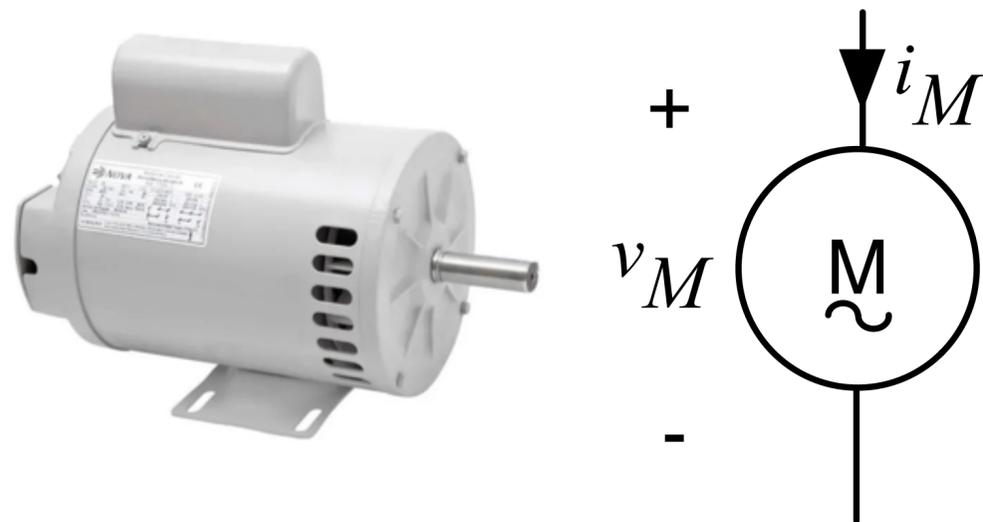
Os motores elétricos de corrente alternada são muito utilizados em diferentes aplicações residenciais, comerciais e industriais.



Funcionamento das máquinas de corrente alternada

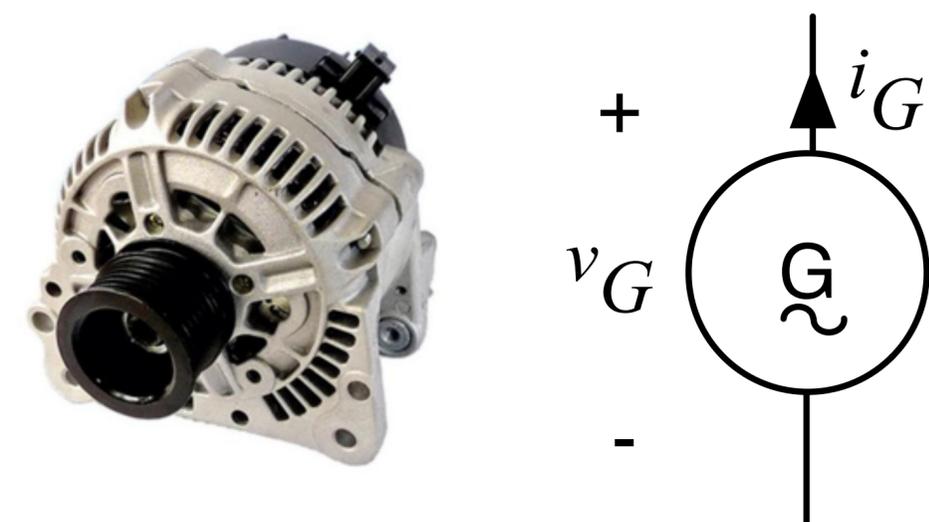
Definições e considerações:

- O motor elétrico de corrente alternada 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 alternada (ca).
- O gerador elétrico de corrente alternada 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 alternada (ca).
- Exemplos de máquinas de corrente alternada:



Motor elétrico

Fonte: <https://www.novamotores.com.br>



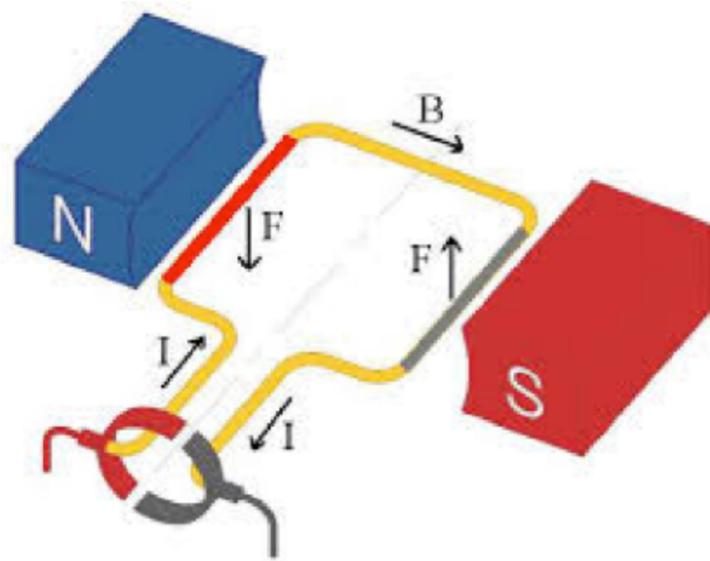
Gerador elétrico

Fonte: <https://www.bosch.com.br>

Funcionamento das máquinas de corrente alternada

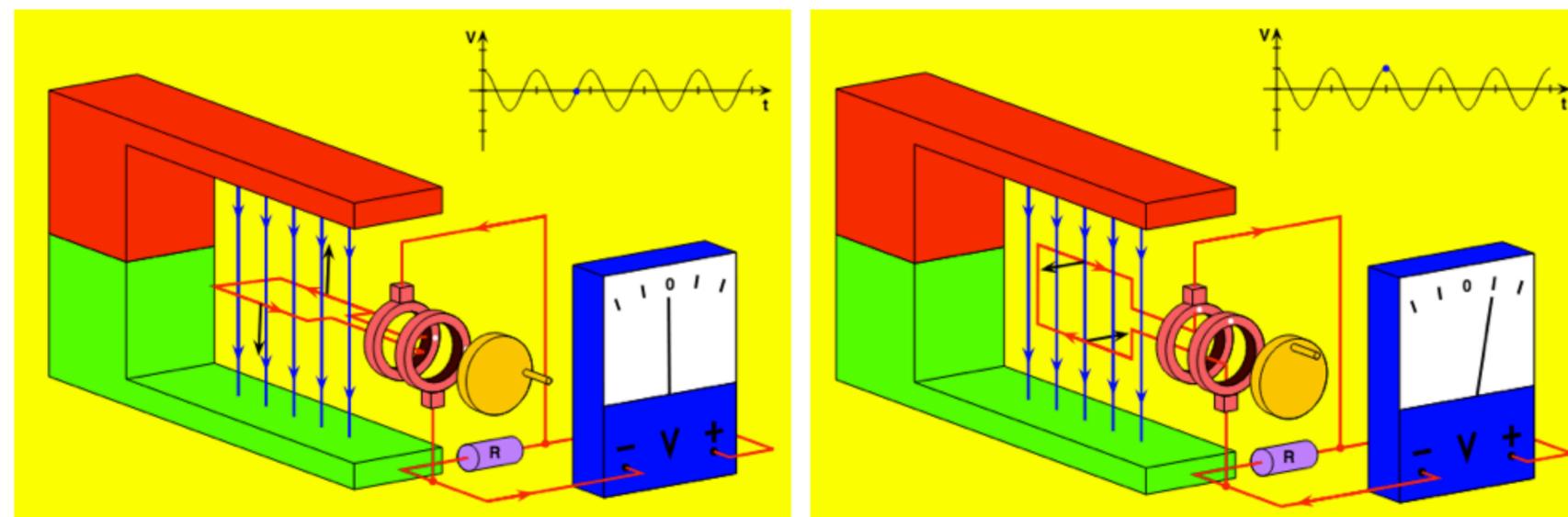
Princípios utilizando a força eletromagnética:

- 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>



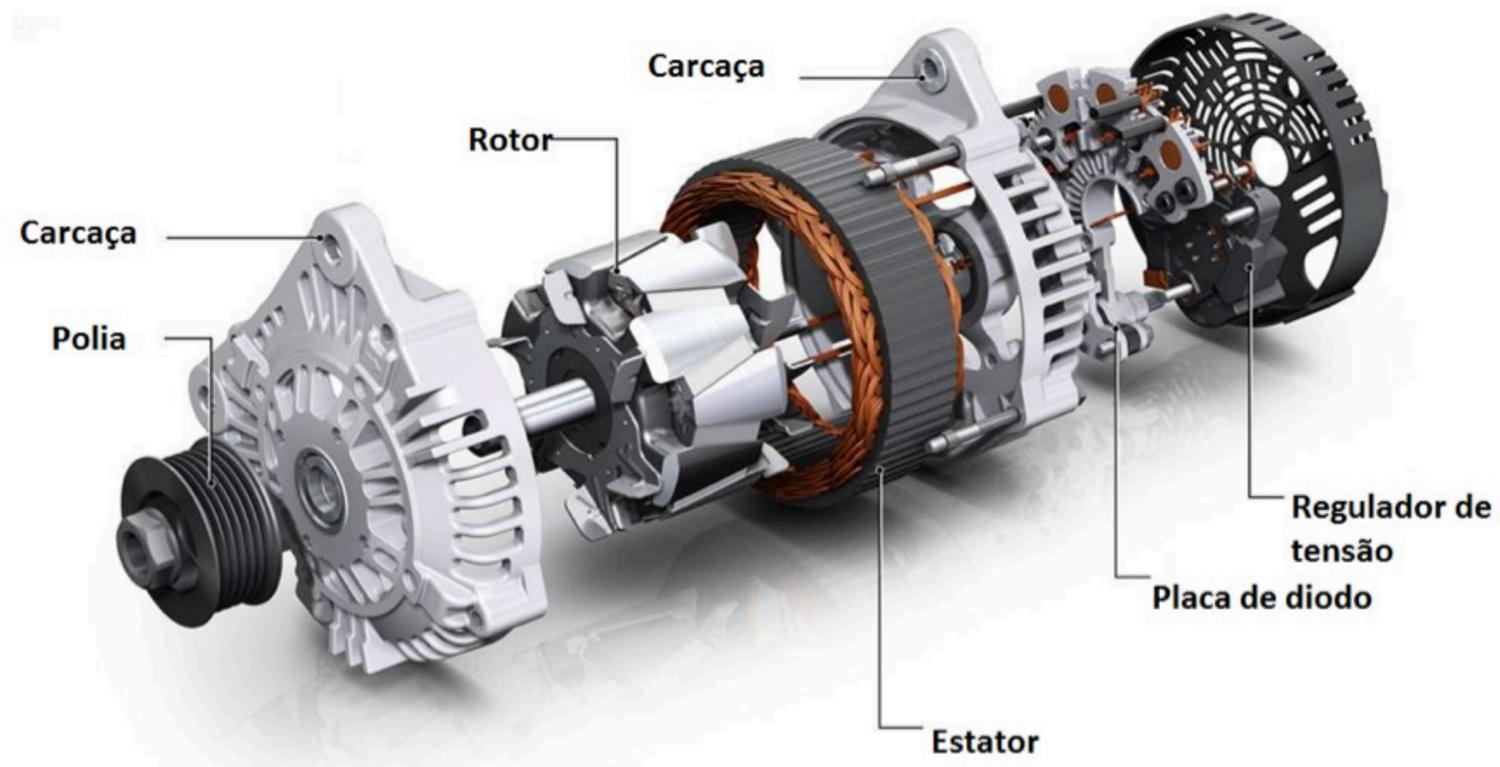
Funcionamento do gerador ca

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

Funcionamento das máquinas de corrente alternada

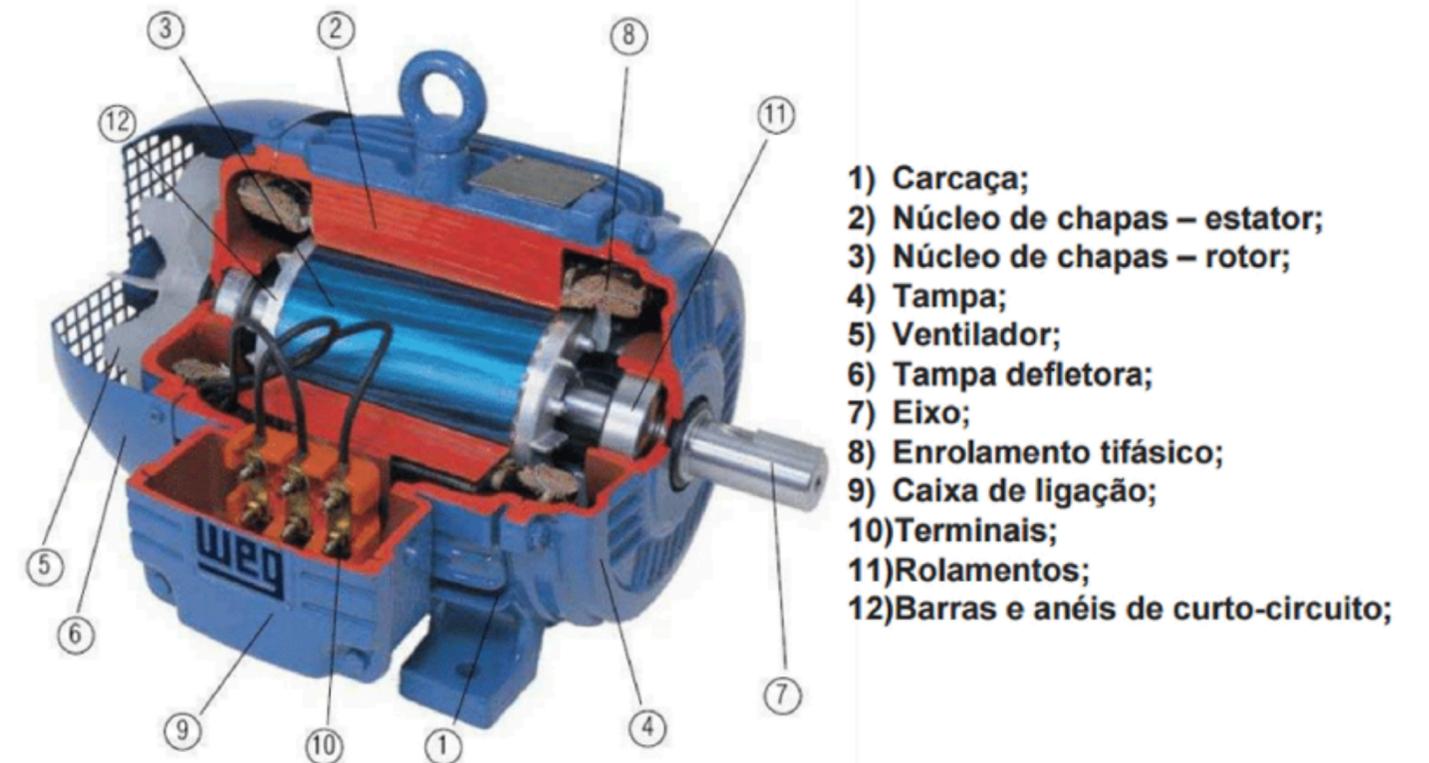
Partes de uma máquina de corrente alternada:

- Estator;
- Rotor.



Partes de um gerador de corrente alternada

Fonte: <https://www.bosch.com.br>



Partes de um motor de corrente alternada

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

Funcionamento das máquinas de corrente alternada

Partes de uma máquina de corrente alternada:

- Estator;
- Rotor.



Rotor gaiola de esquilo

Fonte: <https://www.fundicaobitencourt.com.br>



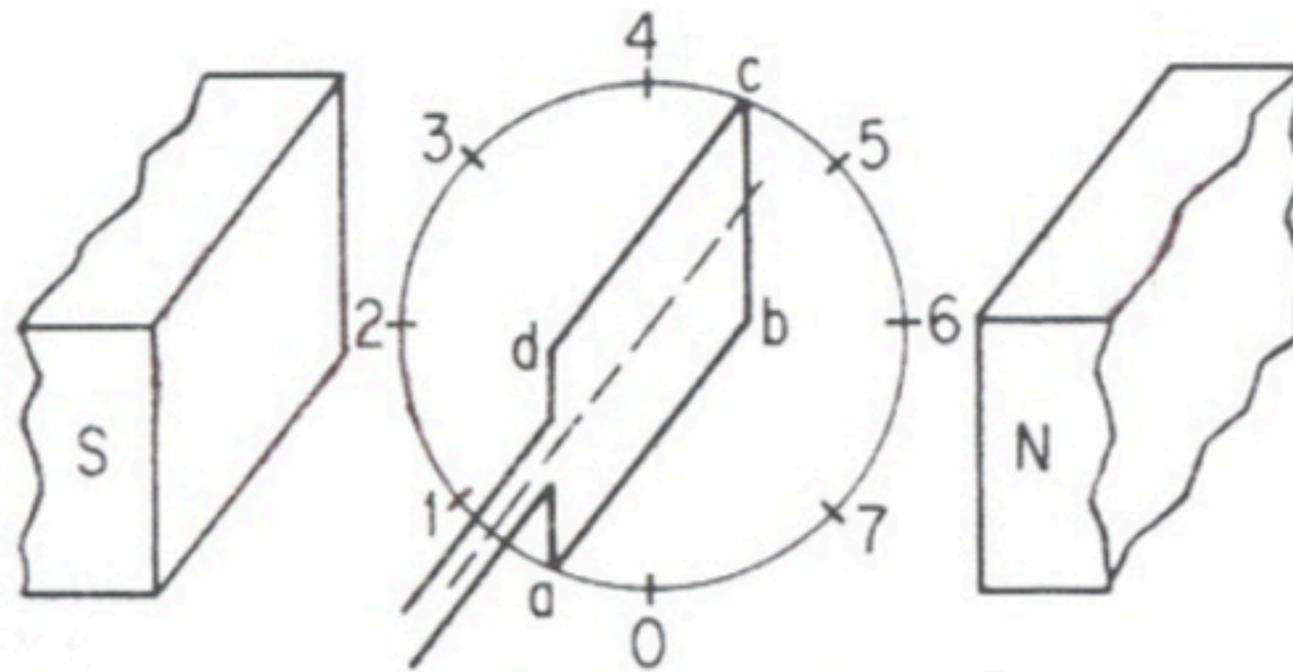
Rotor bobinado

Fonte: <https://www.bosch.com.br>

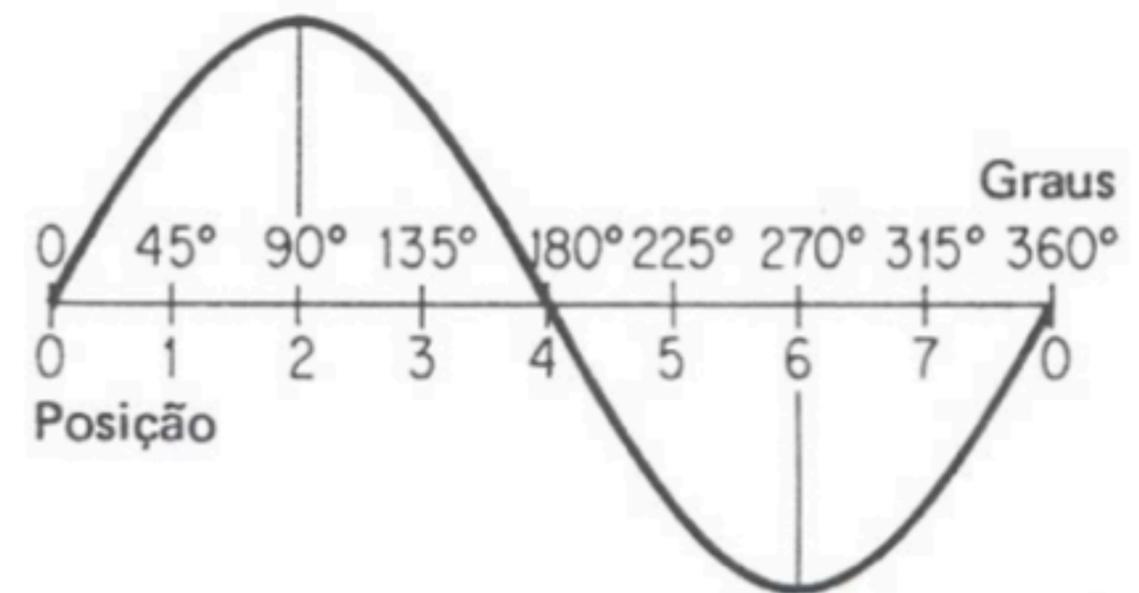
Geradores de corrente alternada

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.



Posição do rotor



Tensão (fem) produzida

Gerador de corrente alternada elementar

Fonte: (Kosow, 2005)

Geradores de corrente alternada



Gerador eólico ou para roda d'água

Fonte: <https://www.enersud.com.br>



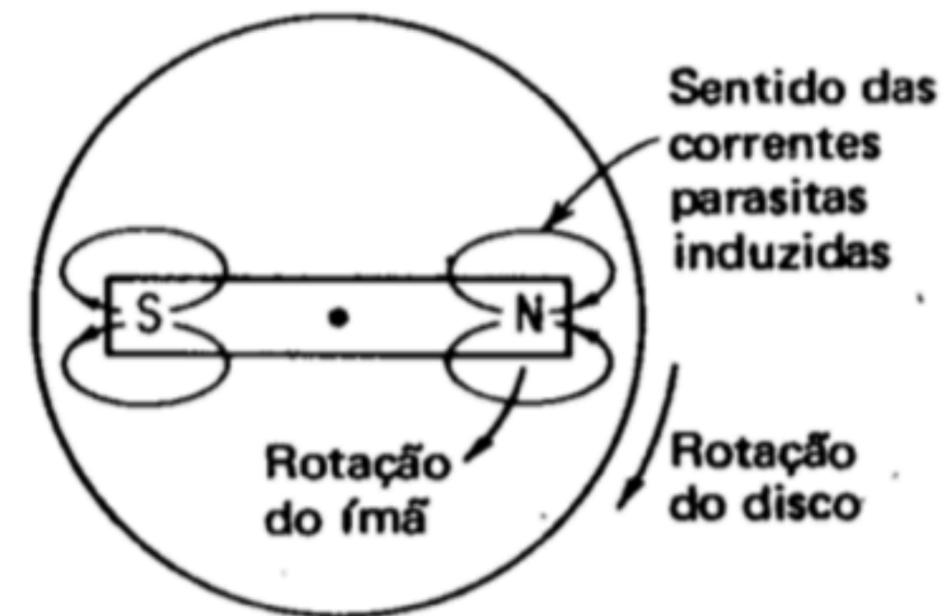
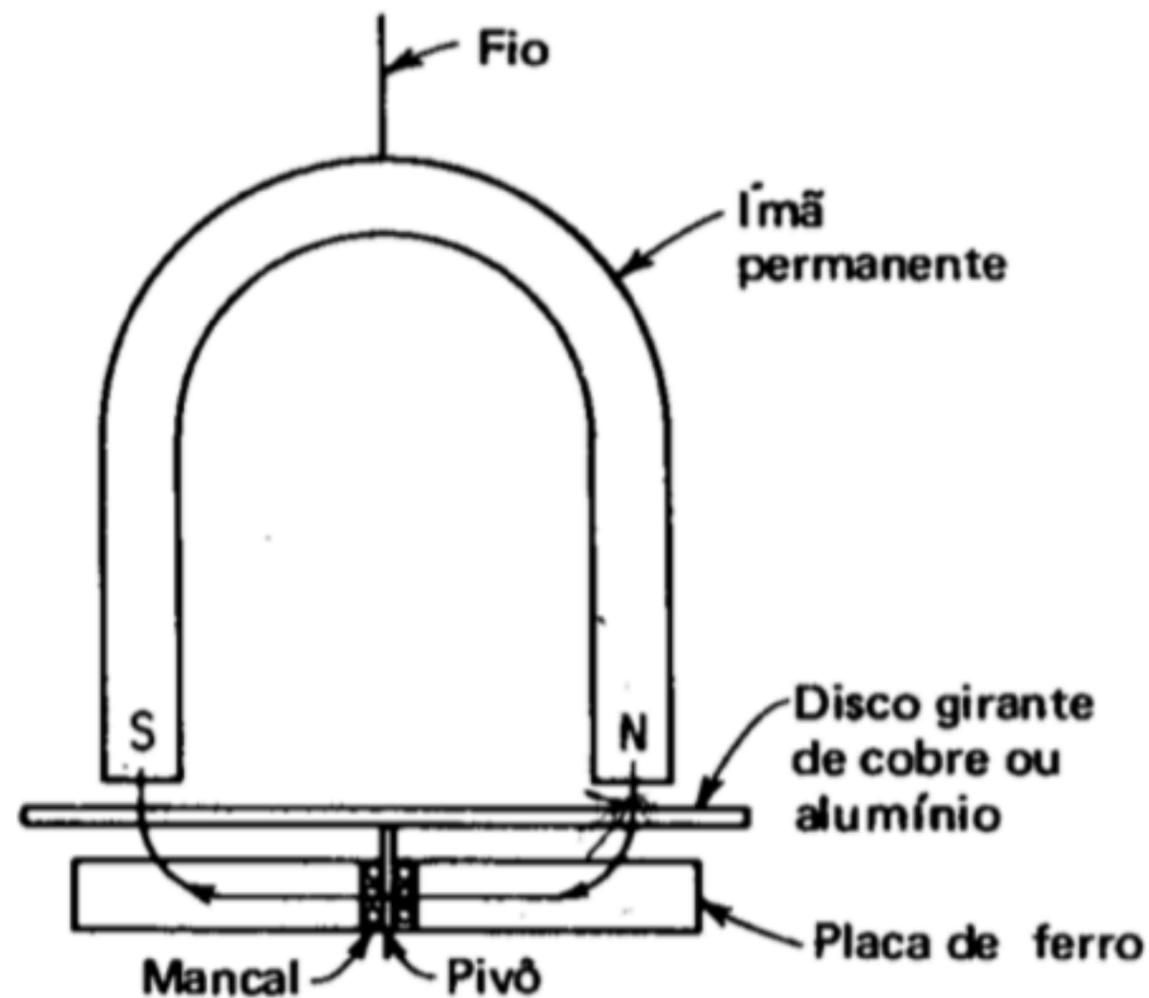
Gerador de alta potência

Fonte: <https://www.cummins.com.br>

Motores de corrente alternada

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.



Princípio de funcionamento do motor de indução

Fonte: (Kosow, 2005)

Motores de corrente alternada

Exemplos e aplicações do princípio do motor de indução:

- Principais aplicações: motores monofásicos, bifásicos e trifásicos, medidores de energia elétrica, dentre outras.



Medidor de energia elétrica



Motor monofásico

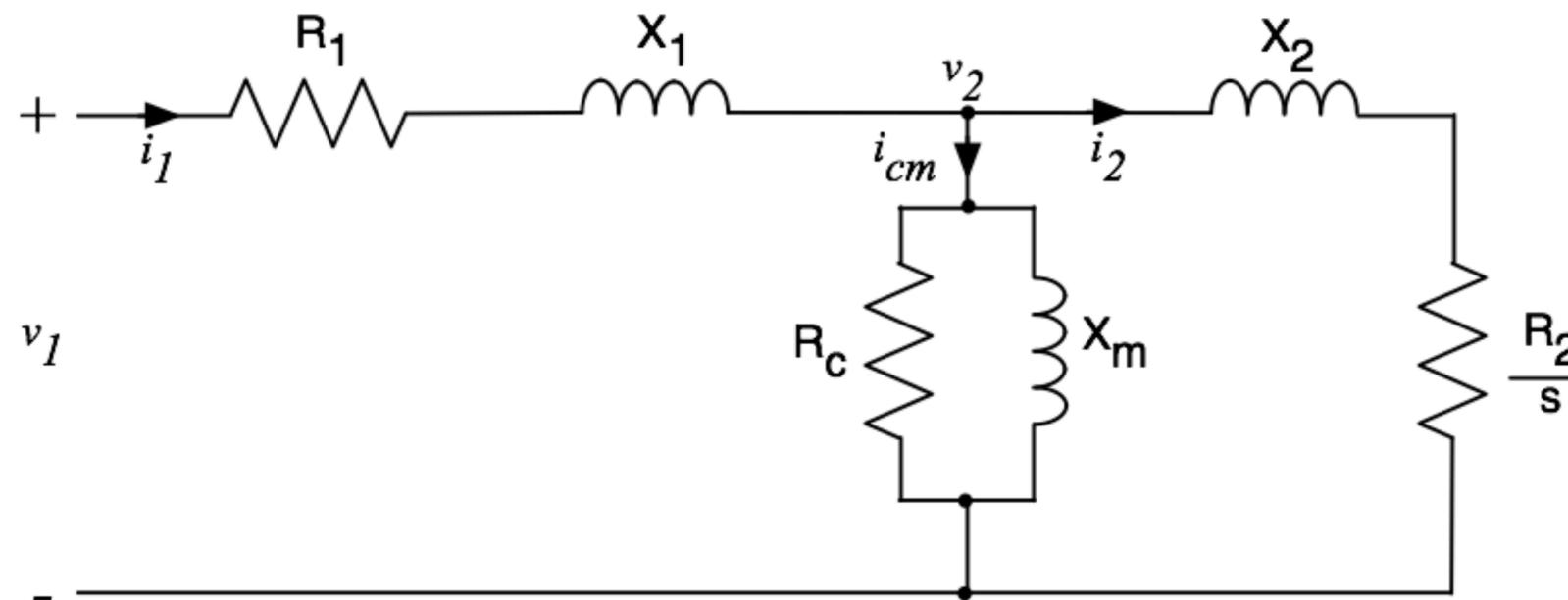


Motor trifásico

Motores de corrente alternada

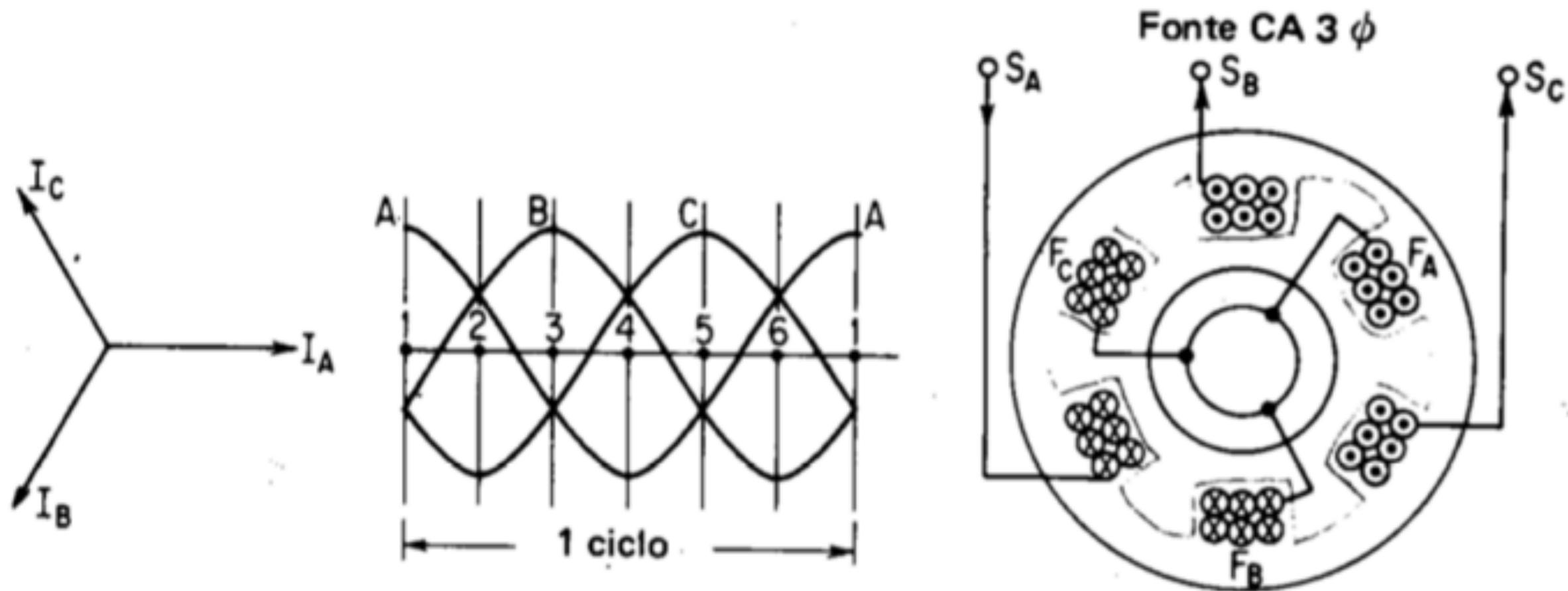
Circuito elétrico do motor de corrente alternada:

- Tensão nos terminais por fase (v_1) - Tensão terminal por fase do motor;
- Tensão induzida no estator por fase (v_2) - Tensão equivalente interna da máquina;
- Correntes do motor (i_1, i_2, i_{cm}) - Correntes na entrada, de magnetização e de perdas no motor e no rotor da máquina;
- Resistência do enrolamento (R_1) - Resistência do enrolamento por fase no estator;
- Resistência do enrolamento (R_2) - Resistência do rotor por fase;
- Perdas no núcleo (R_c) - Resistência que representa as perdas no núcleo do motor;
- Reatância de dispersão (X_1) - Reatância de dispersão por fase no estator;
- Reatância de dispersão (X_2) - Reatância de dispersão por fase no rotor;
- Reatância de magnetização (X_m) - Reatância de magnetização por fase do motor;
- Velocidade do rotor (s) - Velocidade de giro do rotor.



Motores de corrente alternada

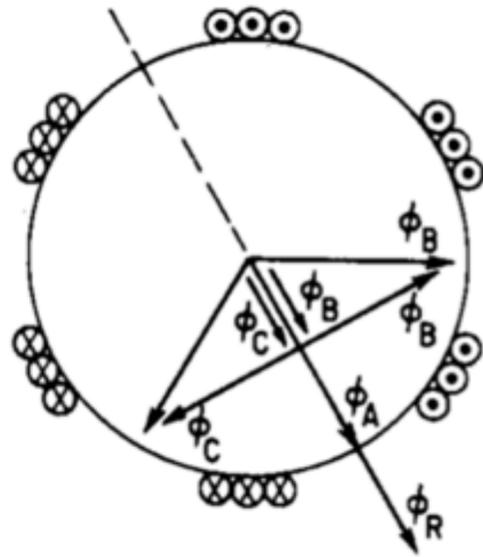
Campo girante no motor trifásico:



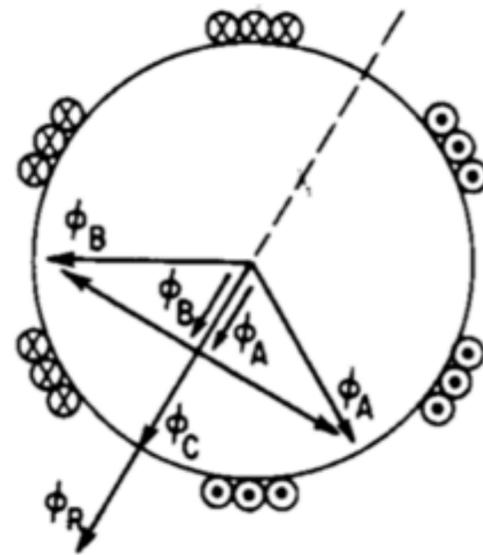
Campo girante em um motor trifásico
Fonte: (Kosow, 2005)

Motores de corrente alternada

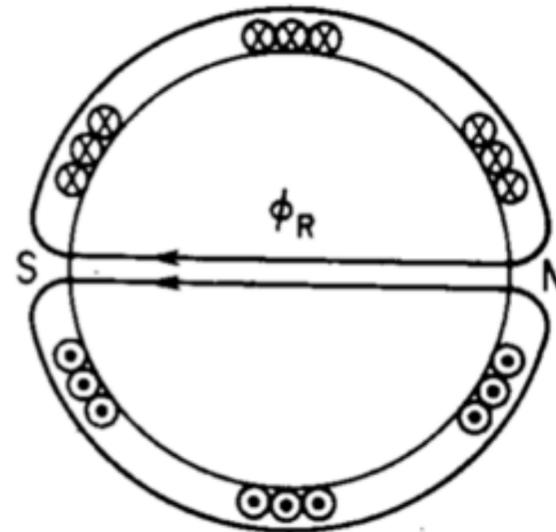
Campo girante no motor trifásico:



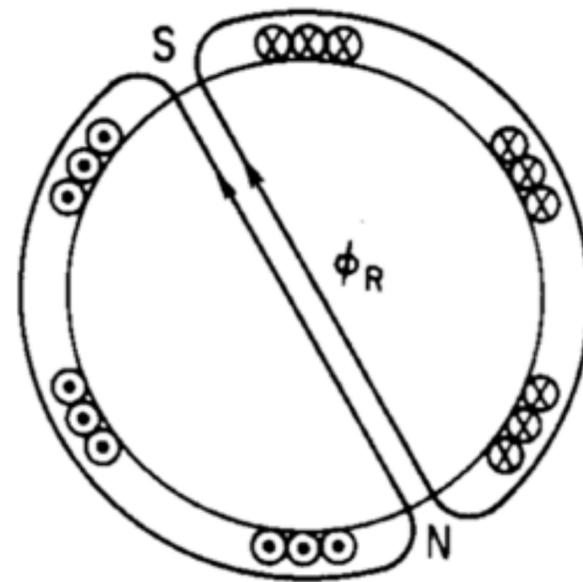
Instante 1



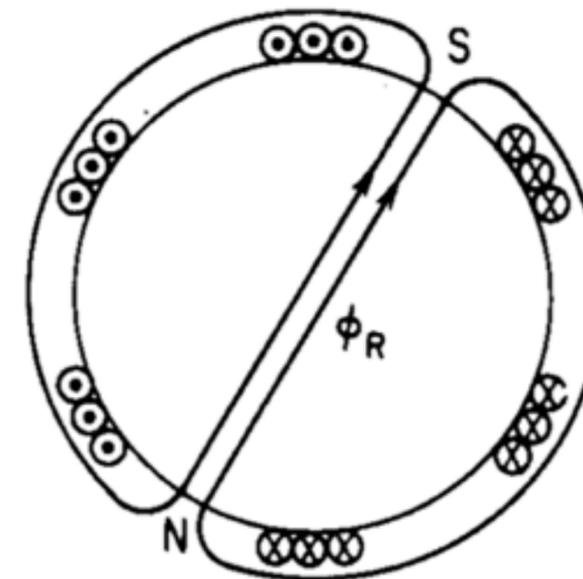
Instante 2



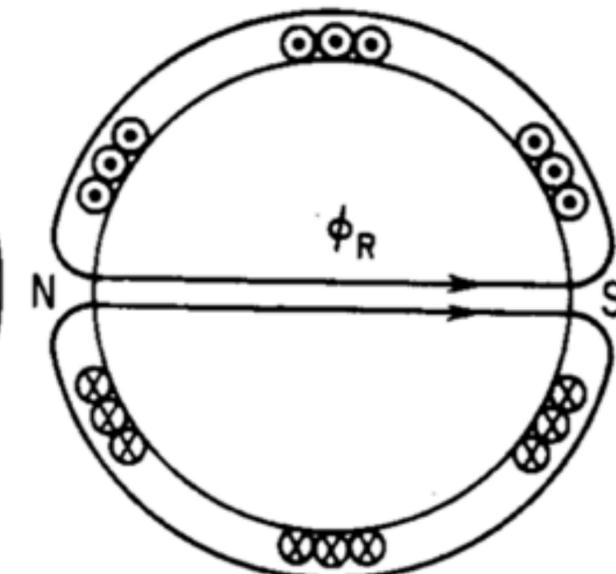
Instante 3



Instante 4



Instante 5



Instante 6

Campo girante em um motor trifásico
Fonte: (Kosow, 2005)

Motores de corrente alternada

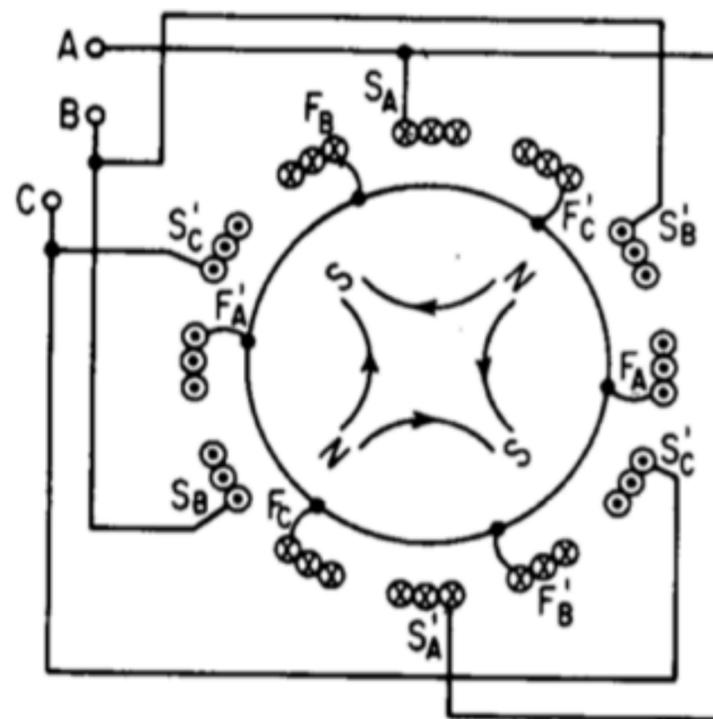
Velocidade girante ou síncrona:

- N_s - Velocidade do campo girante, denominada de velocidade girante ou síncrona em rotações por minuto (rpm);
- F - Frequência da rede de alimentação em Hertz;
- P - Número de polos formados no estator.

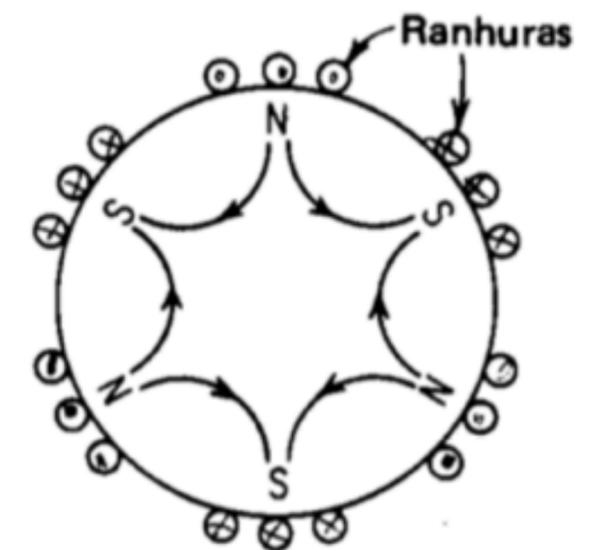
$$N_s = \frac{120 \cdot F}{P} \left[rpm \right]$$

Exemplos:

- 2 polos = 3600 rpm;
- 4 polos = 1800 rpm;
- 6 polos = 1200 rpm.



4 polos



6 polos

Motores de corrente alternada

Escorregamento:

- A diferença de velocidade entre o campo girante e a velocidade do rotor é denominada de escorregamento.

$$s = \frac{(N_s - N_r)}{N_s} \cdot 100 [\%]$$

Onde:

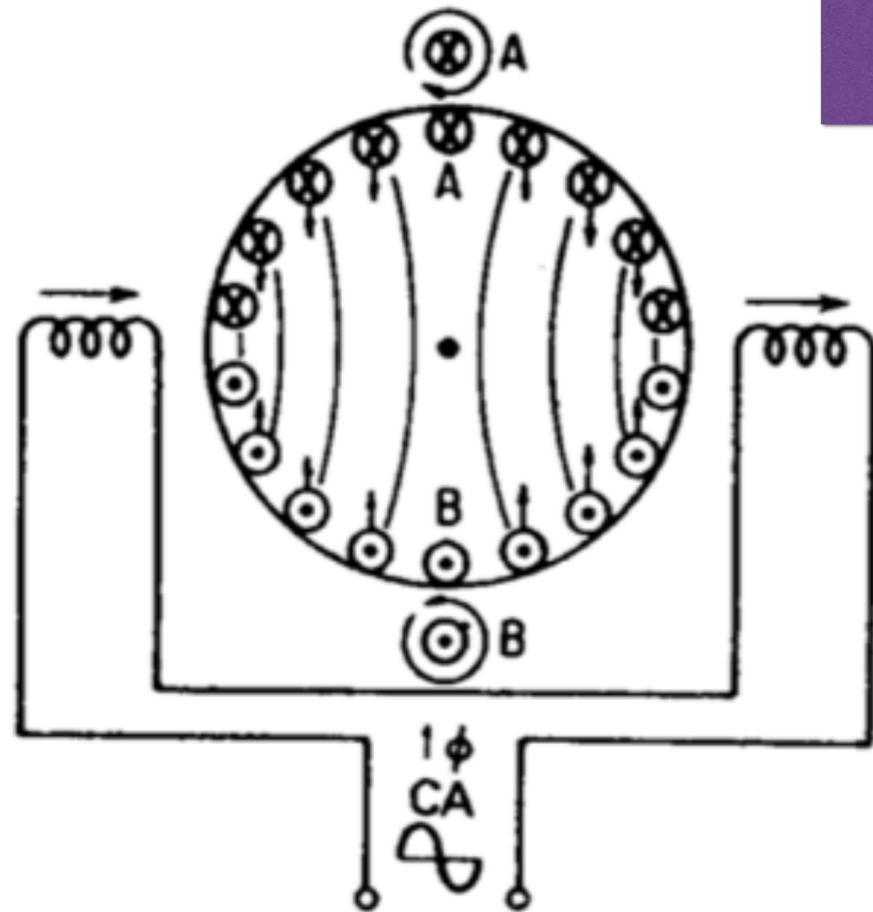
- s - Escorregamento percentual da máquina;
- N_s - Velocidade do campo girante, denominada de velocidade girante ou síncrona em rotações por minuto (rpm);
- N_r - Velocidade do rotor em rotações por minuto (rpm).

Motores de corrente alternada

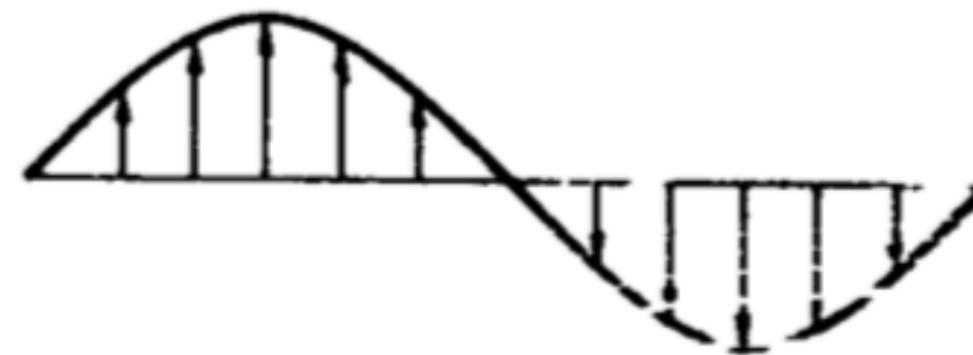
Campo girante no motor monofásico:

Importante:

O rotor do motor monofásico não gira, se estiver em repouso, pois o campo é pulsante, mas estacionário.



Torques no rotor do motor



Torque pulsante

Campo girante em um motor monofásico

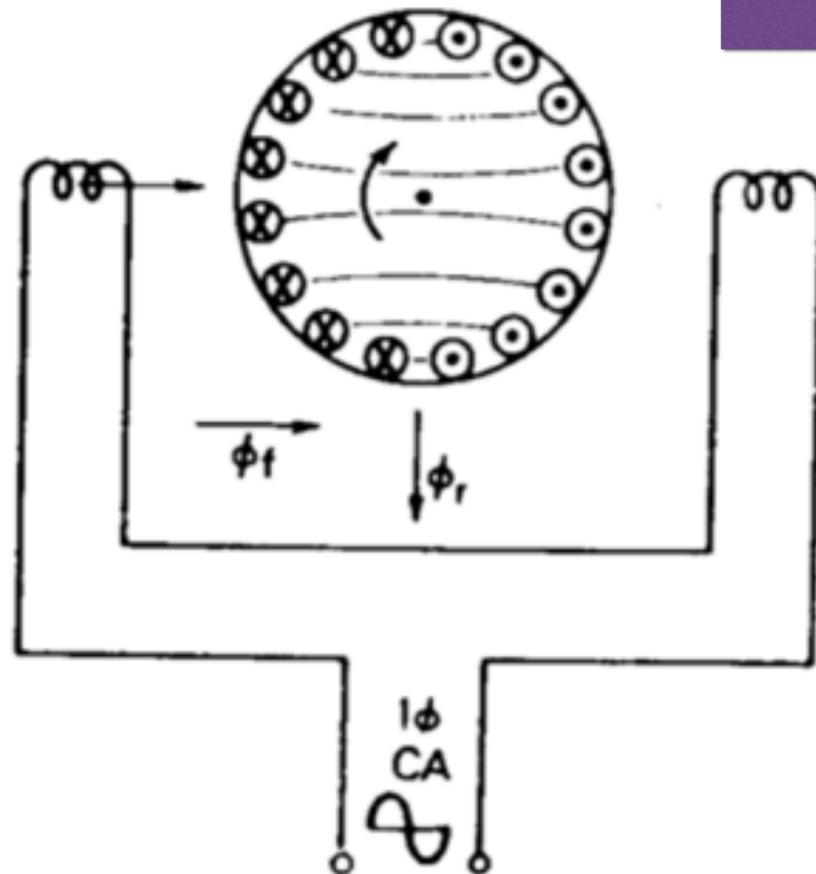
Fonte: (Kosow, 2005)

Motores de corrente alternada

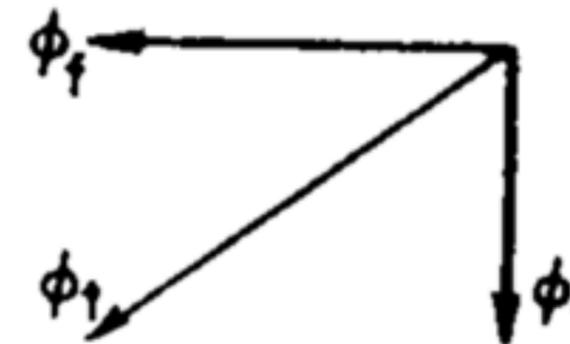
Campo girante no motor monofásico:

Importante:

Ao mover o rotor, auxiliando na partida, o motor continua em funcionamento.



Torques em um rotor girante



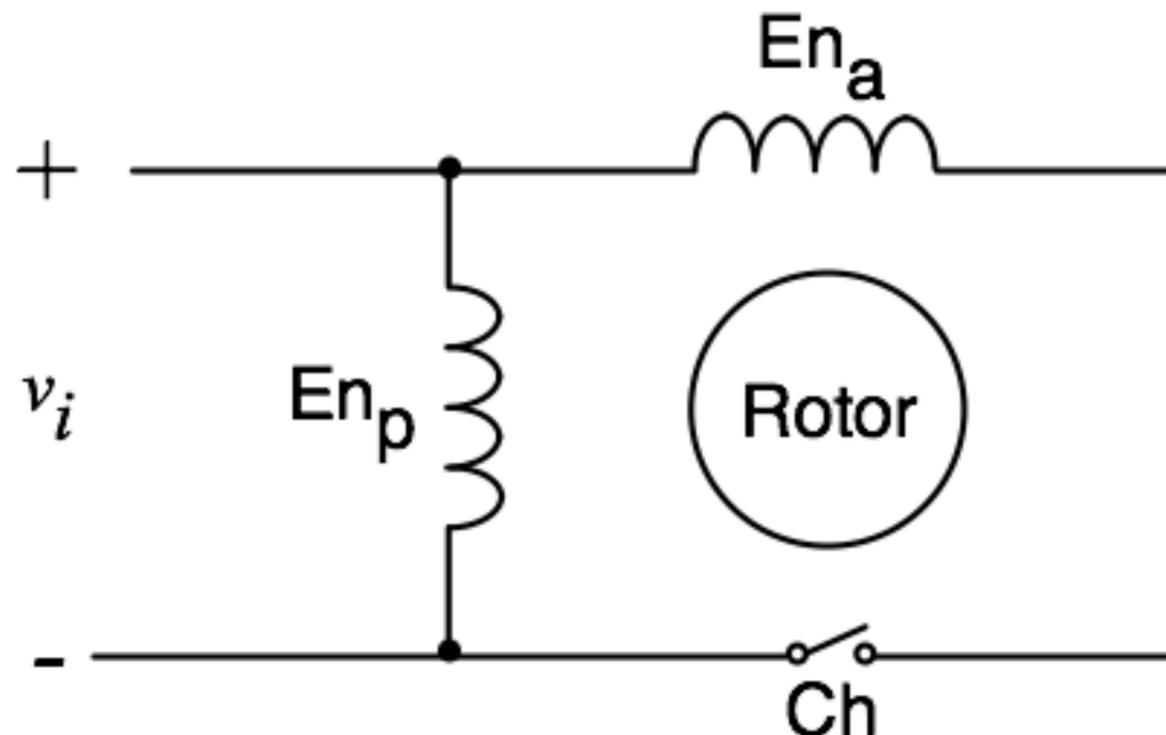
Torque resultante

Campo girante em um motor monofásico
Fonte: (Kosow, 2005)

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico de fase auxiliar ou fase dividida:

- Baixo torque de partida;
- Não permitem reversão direta durante seu funcionamento;
- Exemplos de aplicações: ventiladores, sistemas de bombeamento de água, bombas comerciais e industriais, bombas centrífugas, bombas hidráulicas, polidores, compressores, máquinas de escritório, dentre outras.



Circuito simplificado do motor

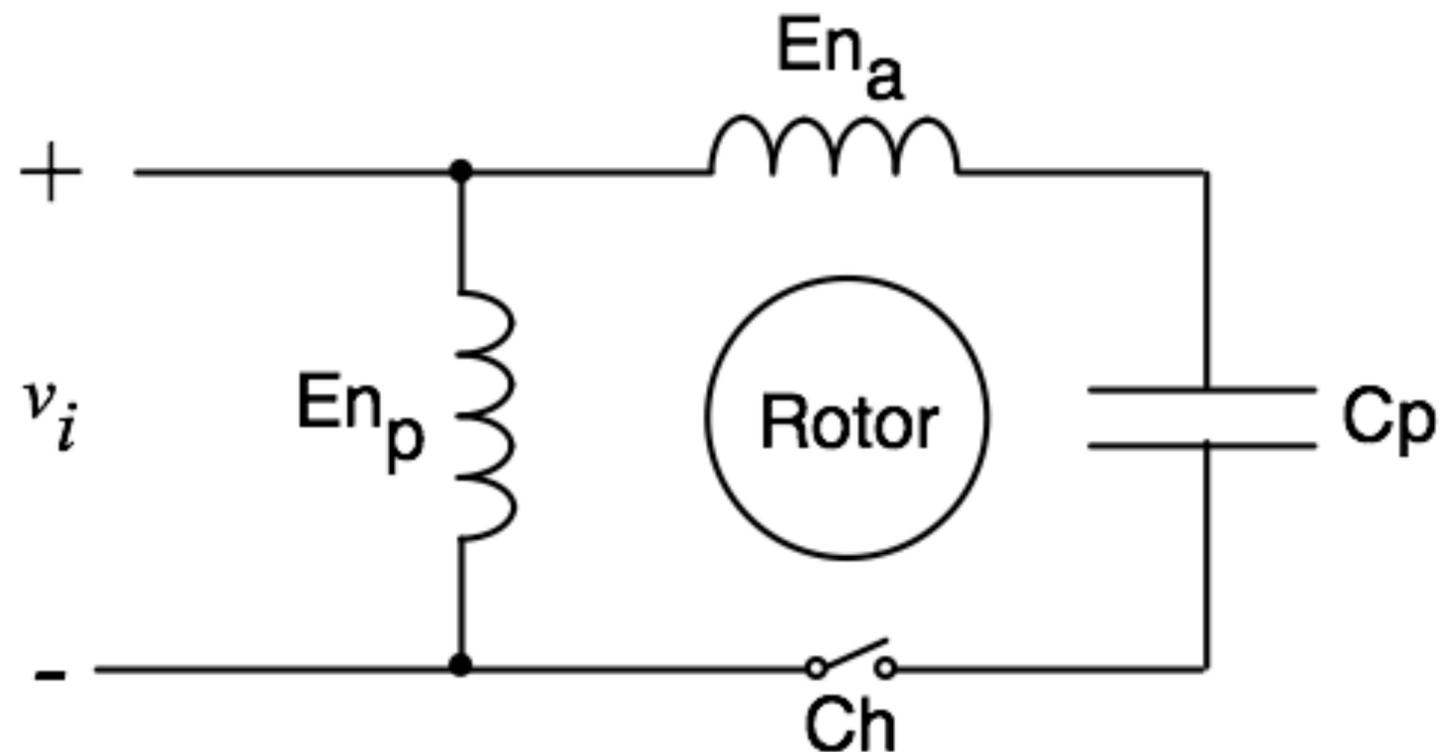


Exemplo de motor de fase dividida

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico com capacitor de partida:

- Maior torque de partida;
- Exemplos de aplicações: bombas, compressores, lavadoras de roupas, geladeiras industriais, ventiladores, trituradores, dentre outras aplicações.



Circuito simplificado do motor

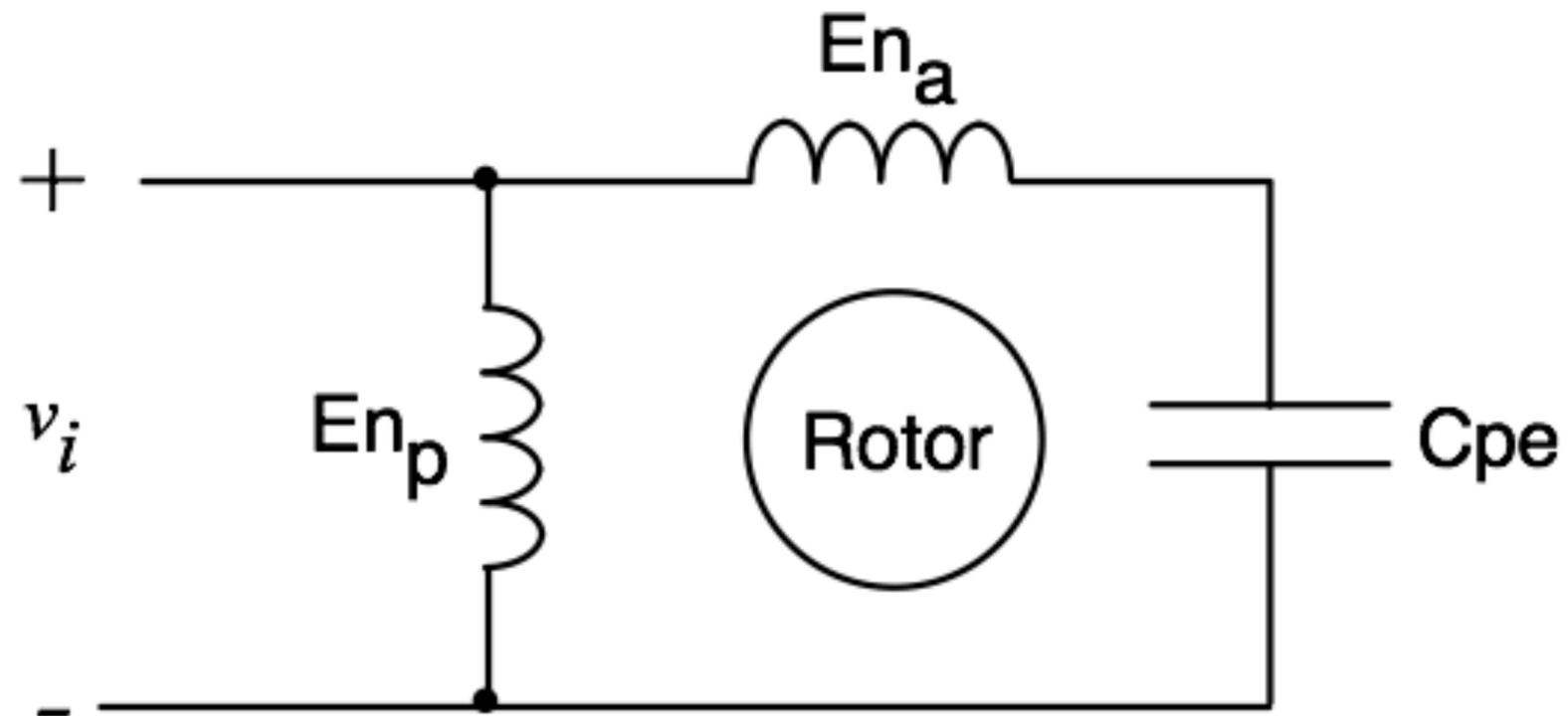


Exemplo de motor de com capacitor de partida

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico com capacitor permanente:

- Baixo torque de partida;
- Exemplos de aplicações: condicionadores de ar, condensadores, ventiladores, dentre outras aplicações.



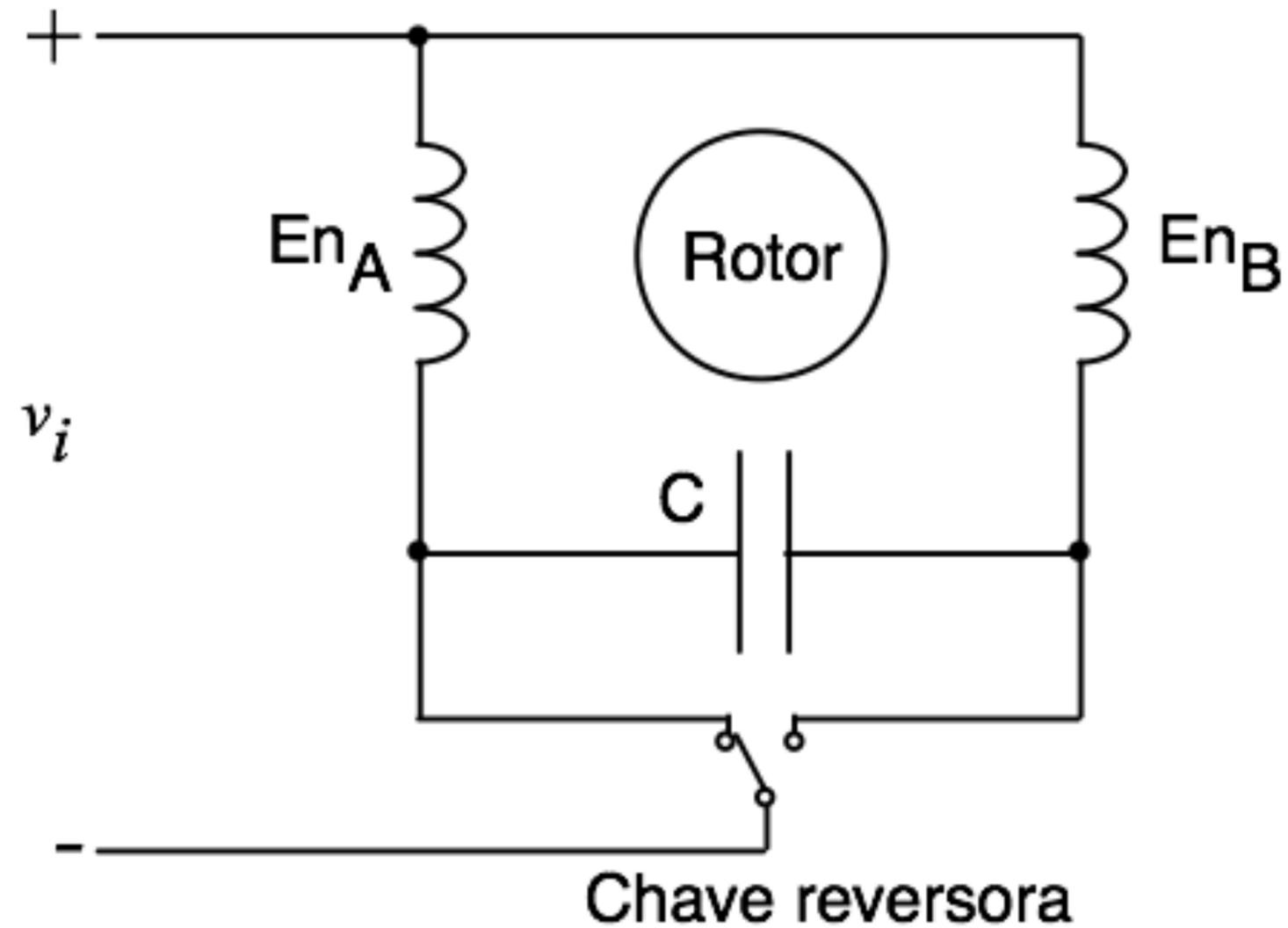
Circuito simplificado do motor



Exemplo de motor de capacitor permanente

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico com capacitor permanente:

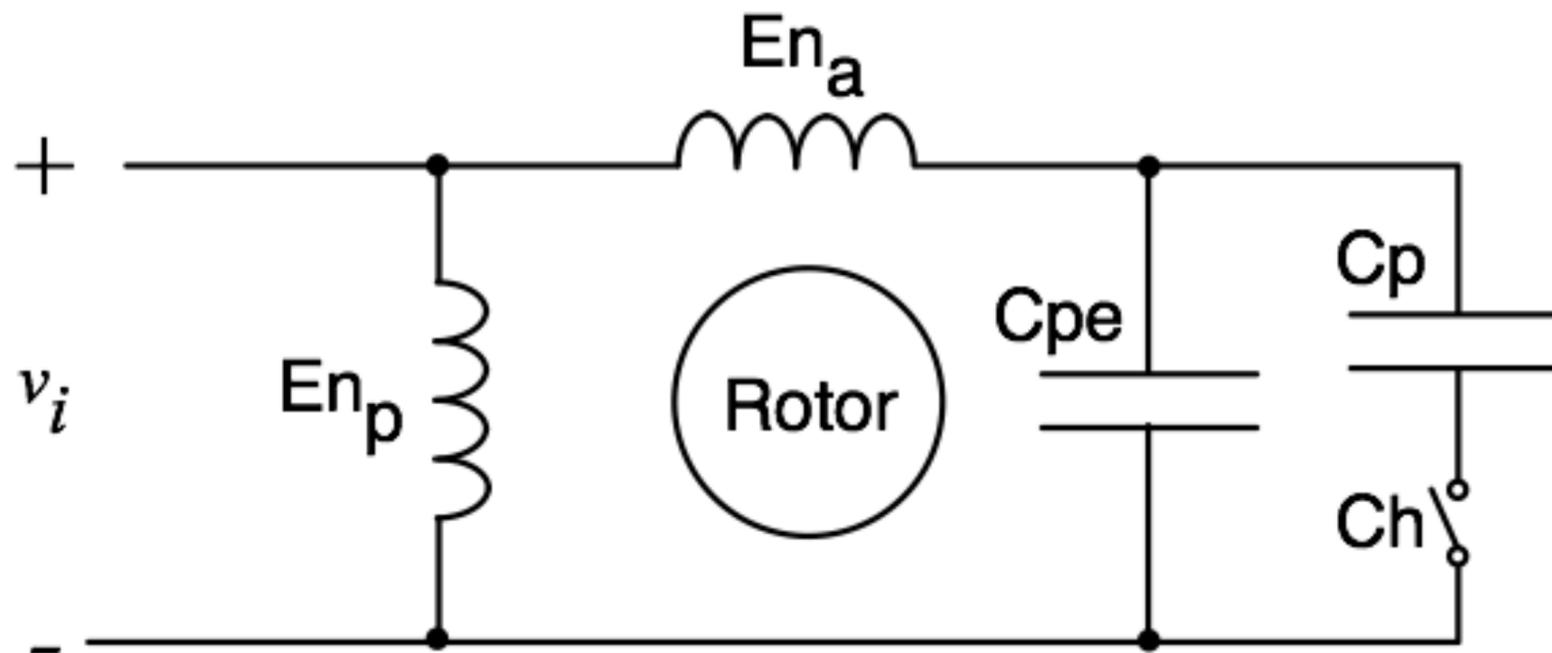


Fonte: Adaptado de (Kosow, 2005).

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico com dois capacitores:

- Combinam as características dos anteriores;
- Tem maior custo;
- Aplicações em potências acima de 1 cv.



Circuito simplificado do motor

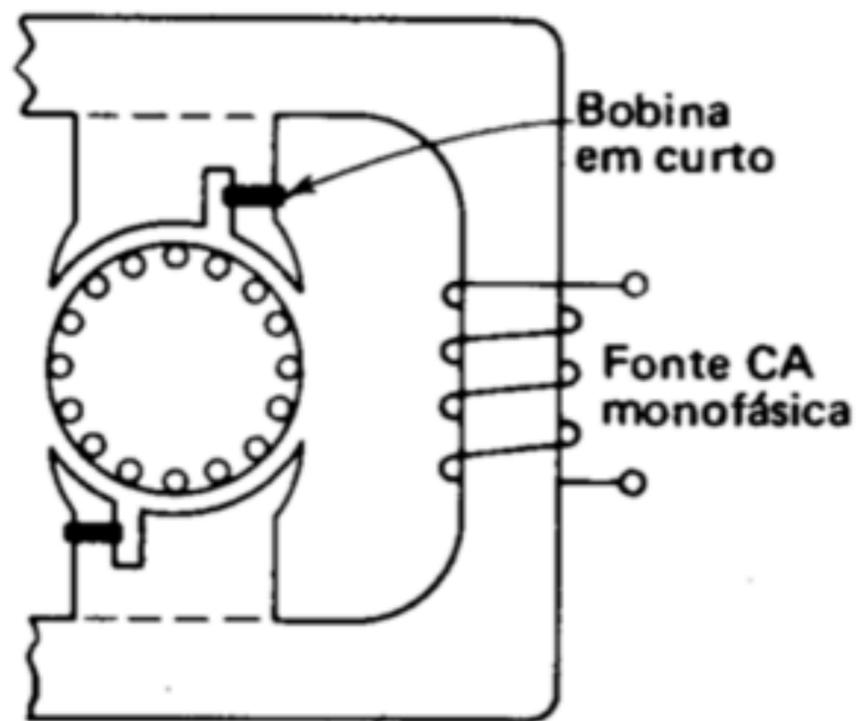


Exemplo de motor com dois capacitores

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motor monofásico com campo distorcido ou polos sombreados:

- Sentido de giro definido pela localização dos polos sombreados;
- Aplicações com potências abaixo de 1/2 cv;
- Exemplos de aplicações: ventiladores, exaustores, purificadores de ambientes, unidades de refrigeração, secadores de roupa, bombas, compressores, coifas, secadores de cabelo profissionais, condensadores, desumidificadores, dentre outras.



Esquema construtivo simplificado do motor



Exemplo de motor com polos sombreados

Tipos e aplicações dos motores de Indução

Motores trifásicos:



Motor trifásico jet pump



Motor trifásico IP21



Motor trifásico Dahlander

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

Acionamento de motores de indução monofásicos



<https://www.weg.net>

