

SEL 329 – CONVERSÃO ELETROMECAÂNICA DE ENERGIA

Introdução a Máquinas de Corrente Contínua

Aula de Hoje

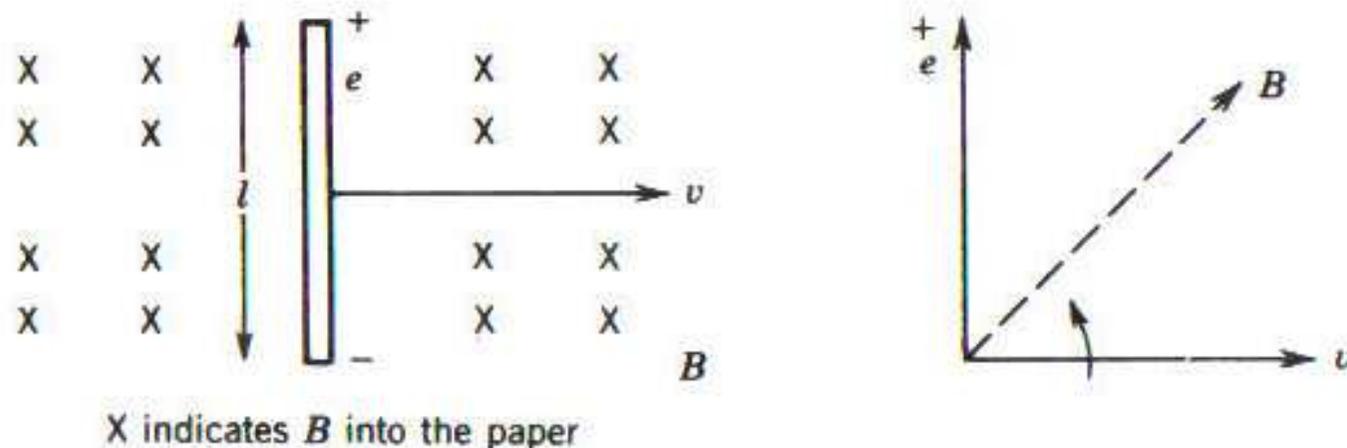
- Introdução à máquina de corrente contínua
- Produção de conjugado na máquina CC
- Ação do comutador
- Tensão gerada na armadura

Conversão Eletromecânica de Energia

- Dois fenômenos eletromagnéticos ocorrem no processo de conversão de energia, seja em motores ou geradores, sejam as máquinas CA ou CC, síncronas ou assíncronas:

EFEITO I - **Tensão de Velocidade**: quando um condutor imerso em um campo magnético é colocado em movimento, surge uma tensão induzida em seus terminais;

$$e = (B \times v) \bullet l$$

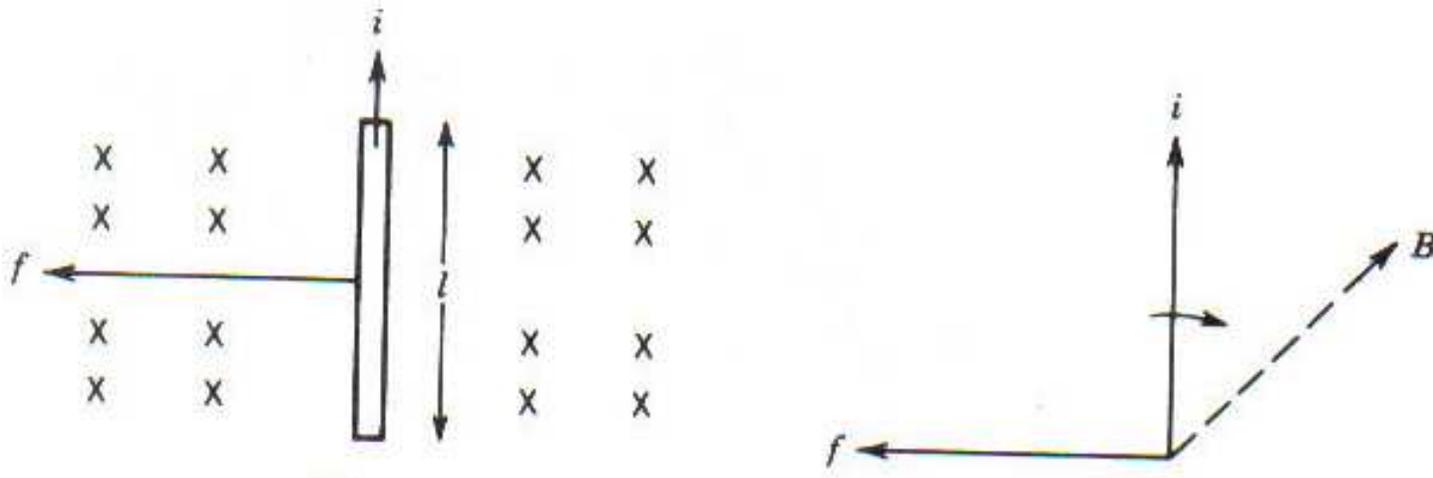


Conversão Eletromecânica de Energia

EFEITO II – **Força Eletromagnética:** quando um condutor, atravessado por corrente elétrica, é imerso em um campo magnético, surge sobre o condutor uma força mecânica;

$$F = i(l \times B)$$

(Força de Lorentz)



Conversão Eletromecânica de Energia

- Os dois processos ocorrem simultaneamente em qualquer processo de conversão eletromecânica de energia:

Como MOTOR: Ocorrem os efeitos I e II, mas o efeito II é o principal;

1. Os condutores imersos em campo magnético são alimentados com corrente contínua;
2. Uma força eletromagnética surge em cada condutor, tirando o sistema mecânico do equilíbrio (EFEITO II);
3. Se os condutores forem posicionados em uma estrutura livre para girar, esse desequilíbrio será eliminado naturalmente, e o eixo encontrará uma velocidade de regime. Tem-se então a produção de torque eletromagnético T a uma velocidade n , para alimentar uma carga mecânica;
4. Se os condutores giram imersos em campo magnético, surgirá uma tensão induzida em seus terminais (EFEITO I), denominada força contra eletromotriz, e que terá um impacto no torque e velocidade final de equilíbrio.

Conversão Eletromecânica de Energia

Como GERADOR: Ocorrem os dois fenômenos, mas o efeito I é o principal;

1. A parte girante (rotor) é colocada em movimento por uma máquina primária;
2. Os condutores agregados ao rotor giram imersos em um campo magnético;
3. Uma tensão induzida e surgirá nos terminais dos condutores (EFEITO I);
4. Se os terminais dos condutores alimentam uma carga elétrica surgirá uma corrente i , fornecida pelo gerador elétrico;
5. Os condutores transportando corrente e imersos em um campo magnético estarão sujeitos a uma força eletromecânica (EFEITO II), resultando em um torque eletromecânico de reação, ou torque resistente ao torque fornecido pela máquina primária, afetando também a tensão e corrente de equilíbrio do sistema.

Conversão Eletromecânica de Energia

Conclusões:

- Os efeitos I e II ocorrem nos dois casos;
- O campo magnético é fundamental para a produção do torque (motor) e da tensão induzida (gerador), servindo de interface entre os sistemas elétrico e mecânico.

Estrutura Básica das Máquinas Elétricas Rotativas

- Estator e rotor separados por um entreferro;
 1. **Estator** é a parte fixa da máquina
 2. **Rotor** é a parte móvel
- O estator e o rotor são constituídos por lâminas de material ferromagnético;

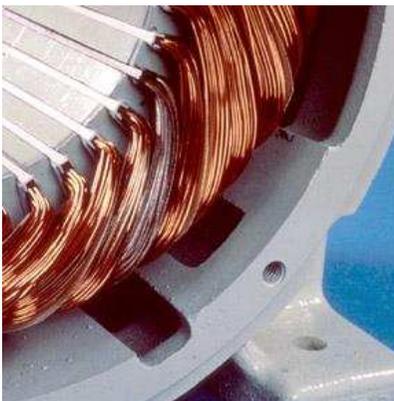
VANTAGENS:

Laminação: reduz correntes parasitas no rotor e estator, aumentando a resistência elétrica (melhoria do rendimento);

Material Ferromagnético: Aumenta a densidade de fluxo magnético na máquina (alta permeabilidade - μ); Diminui o tamanho da máquina; Diminui a dispersão de fluxo magnético;

Estrutura Básica das Máquinas Elétricas Rotativas

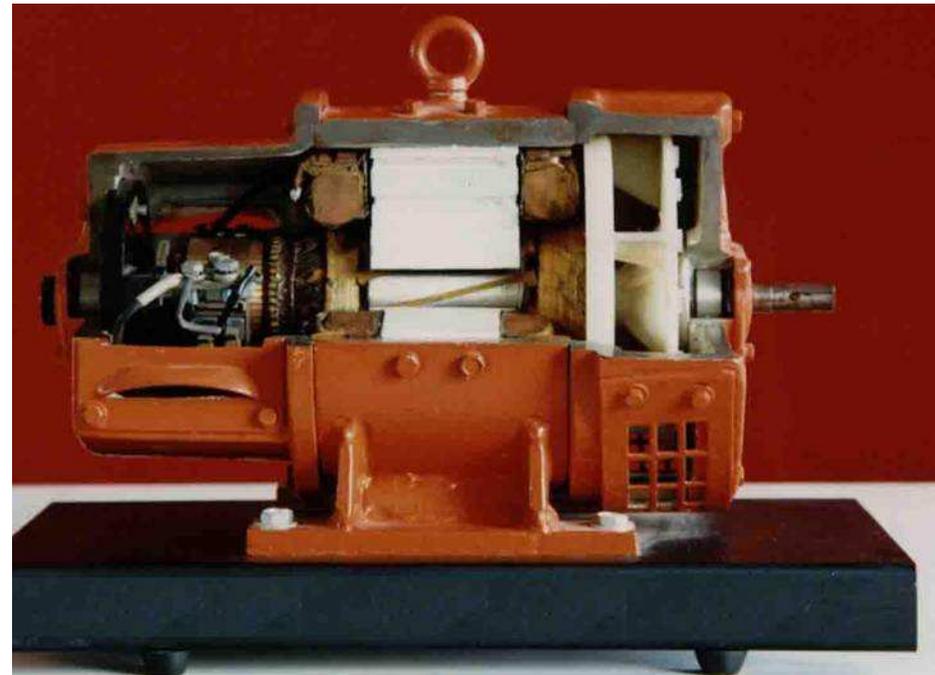
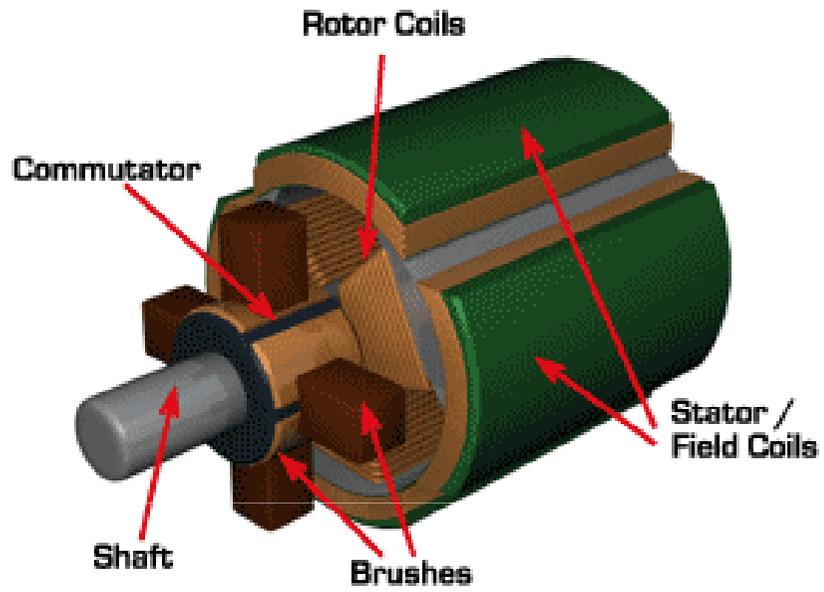
- Máquinas elétricas usualmente tem dois enrolamentos:
 - Enrolamento de campo: Compõe o eletroímã produtor do campo principal da máquina;
 - Enrolamento de armadura: Contém os condutores que serão imersos no campo principal para a produção de tensão (gerador - induzido) ou torque (motor);
- Estes enrolamentos são posicionados em ranhuras localizadas no estator e no rotor;



Máquinas CC: Características Básicas

- O enrolamento de campo é colocado no estator;
- O enrolamento de armadura é colocado no rotor;
- Como motor, os dois enrolamentos são alimentados em CC, de diversas maneiras ou configurações: independente, série, paralelo e composto (combinações de série e paralelo);
- Oferece várias opções para o controle de velocidade como motor;
- Como gerador, o enrolamento de campo é alimentado com CC, produzindo um campo constante sobre a armadura

Máquinas CC: Características Básicas

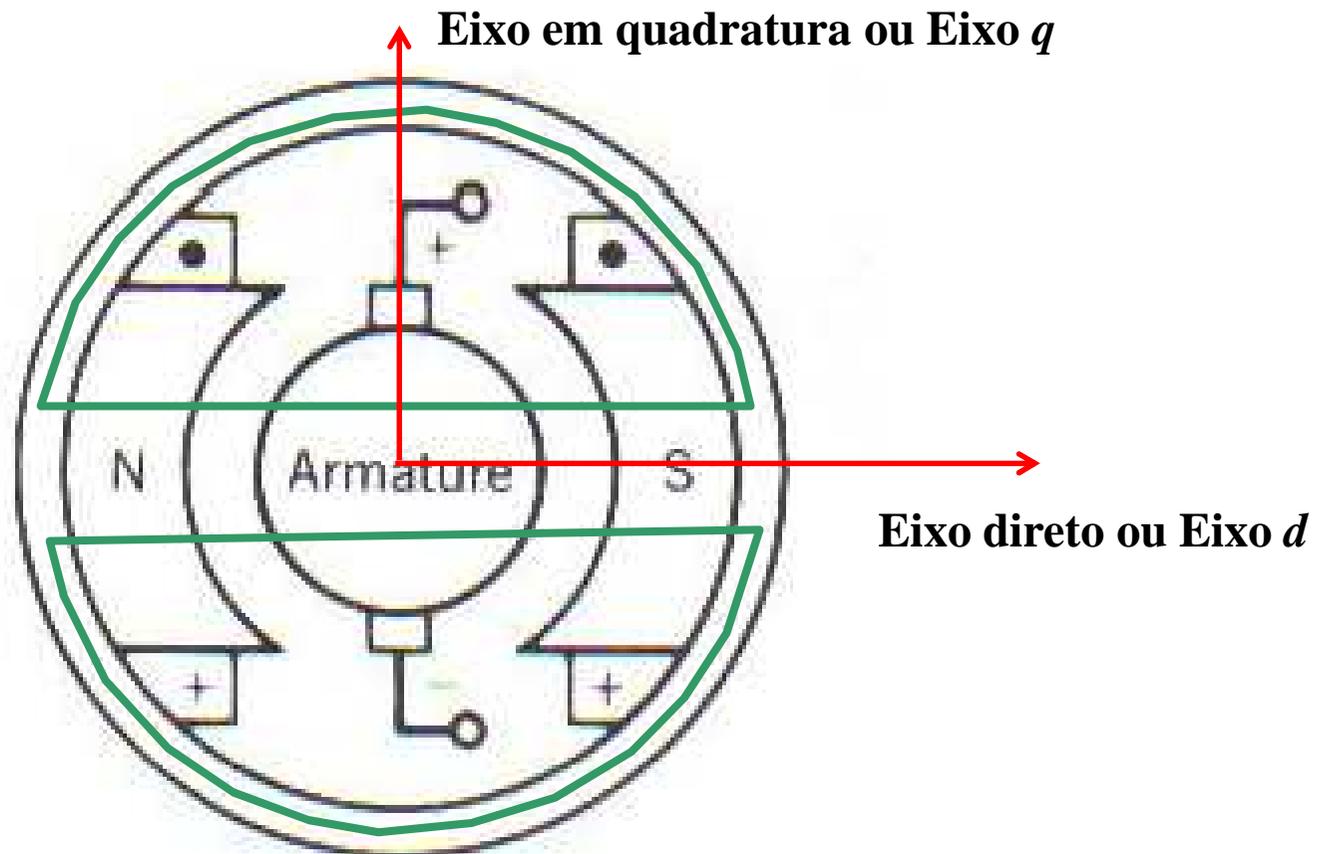


Máquinas CC: Aplicações

- Máquinas de Papel
- Bobinadeiras e desbobinadeiras
- Laminadores
- Máquinas de Impressão
- Prensas
- Elevadores
- Movimentação e Elevação de Cargas
- Moinhos de rolos
- Indústria de Borracha
- Tração elétrica

Máquinas CC

- O estator tem pólos salientes, excitados por um ou mais enrolamentos (série e shunt/paralelo/em derivação);
- O enrolamento de campo produz uma distribuição de fluxo simétrica em relação ao eixo dos pólos do estator (eixo direto, ou eixo d).



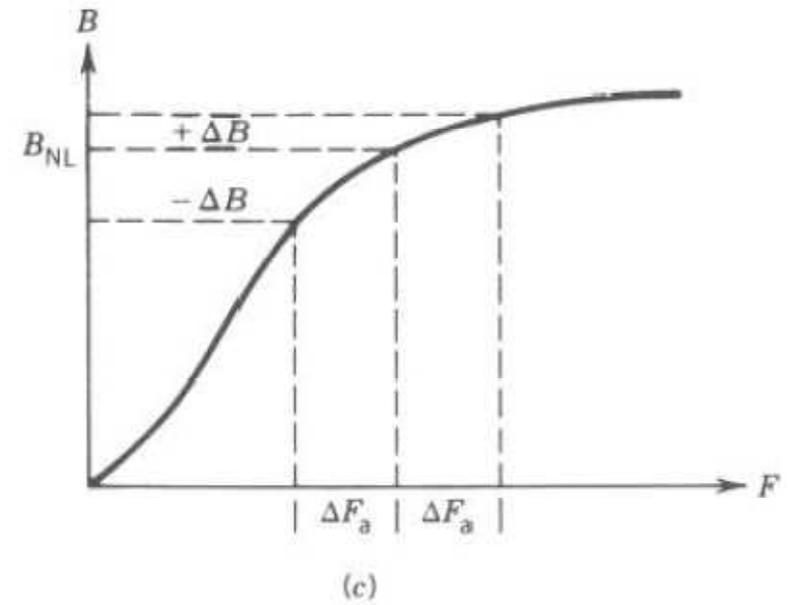
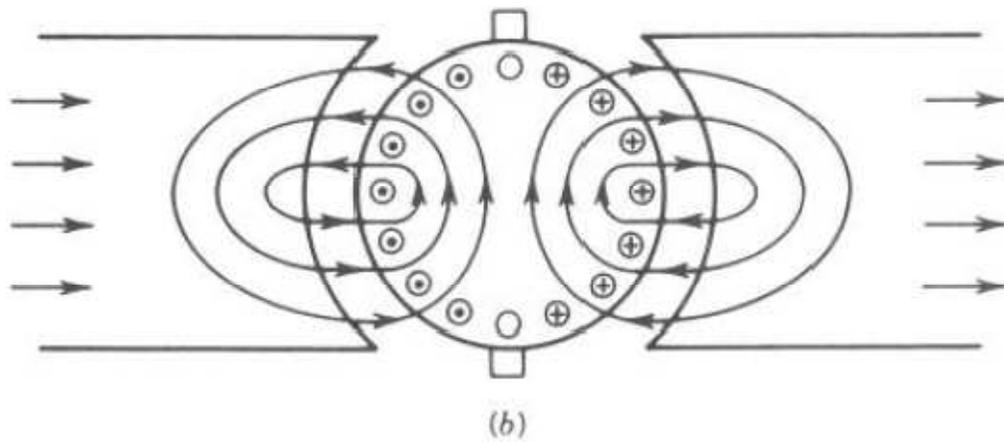
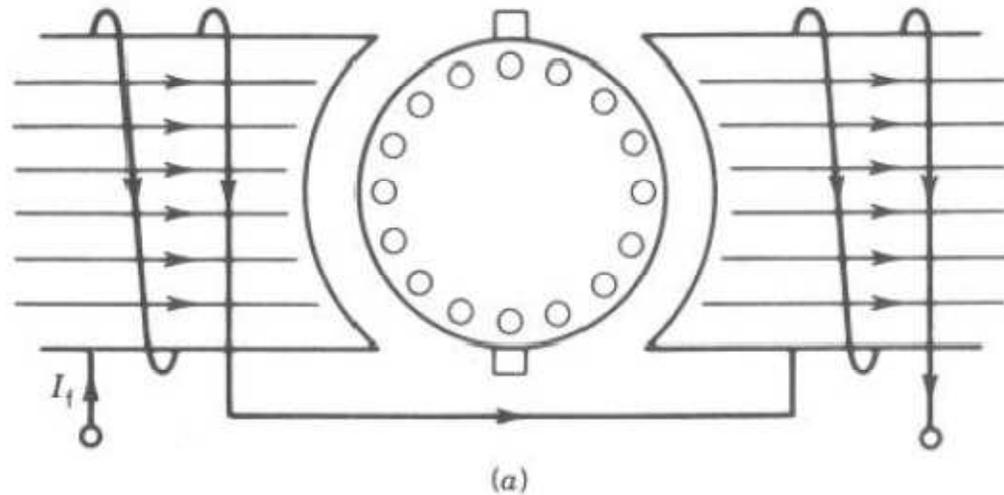
Máquinas CC – Comutador

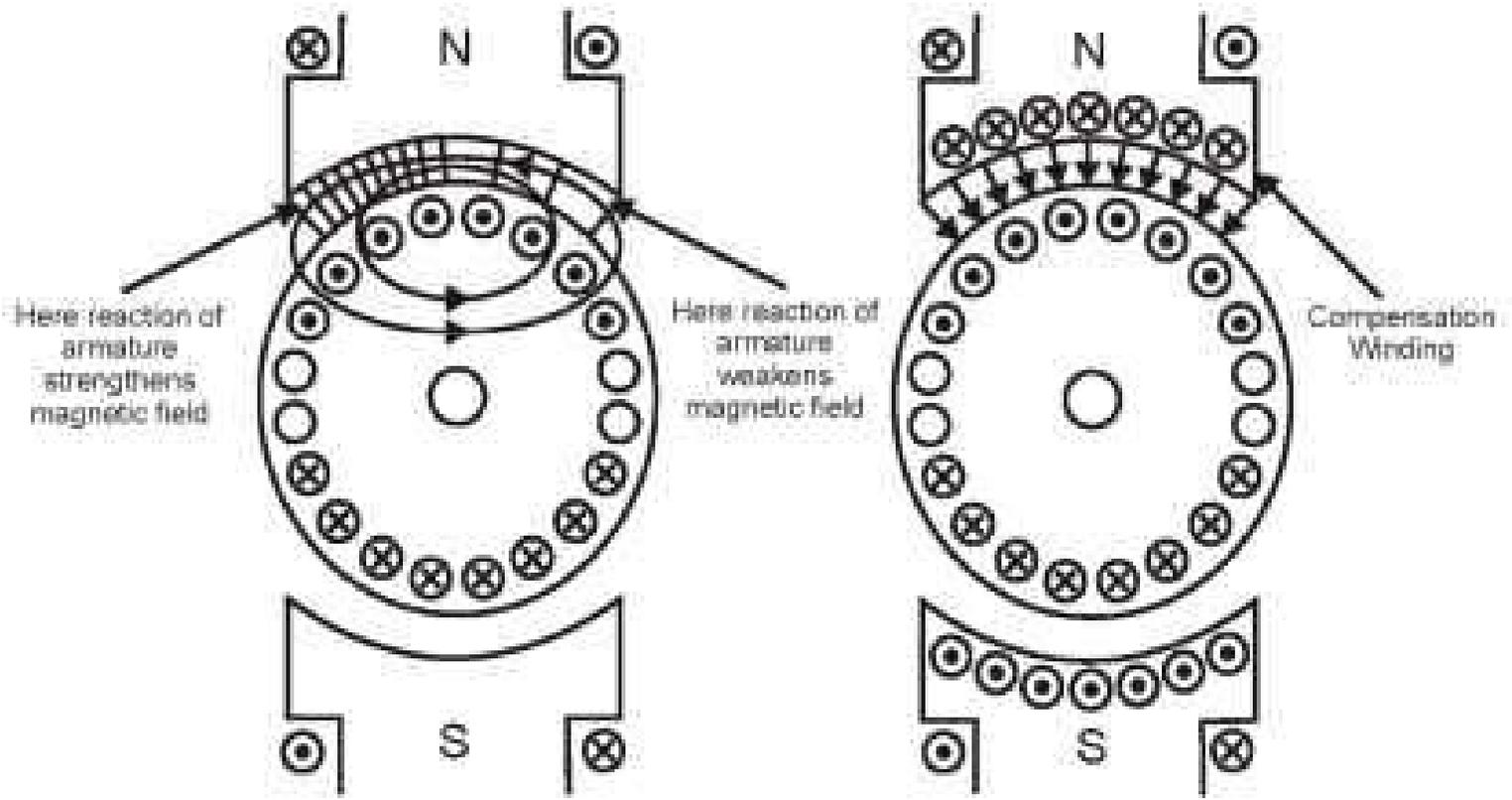
- O comutador também é fundamental para o funcionamento da máquina CC como motor, uma vez que o torque surge devido à busca de alinhamento entre os campos do rotor e do estator;
- O comutador varia continuamente a orientação do campo produzido pela armadura, não permitindo que os dois campos se alinhem e que o torque seja nulo.



Problemas na comutação

a) Reação de Armadura





Gerador CC com Excitação Independente – Reação de Armadura

- O efeito líquido da reação de armadura pode ser traduzido (imaginado/interpretado) como uma diminuição da corrente de campo, ou seja:

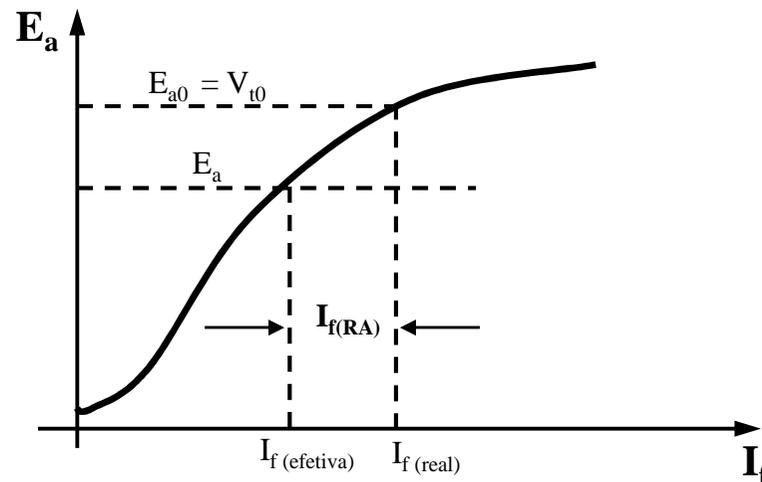
$$I_{f(\text{efetiva})} = I_{f(\text{real})} - I_{f(\text{RA})}$$

sendo:

$I_{f(\text{real})}$ – corrente que percorre o enrolamento de campo

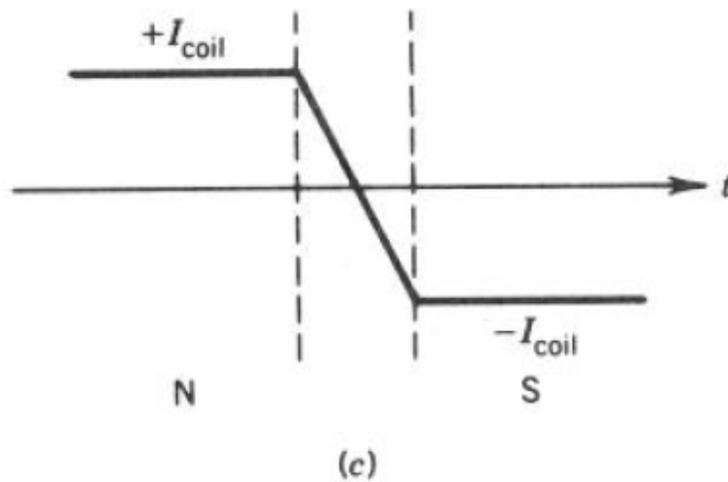
$I_{f(\text{efetiva})}$ – corrente que produz o fluxo líquido no eixo d.

$I_{f(\text{RA})}$ – é a reação de armadura traduzida como uma corrente desmagnetizante no enrolamento de campo.



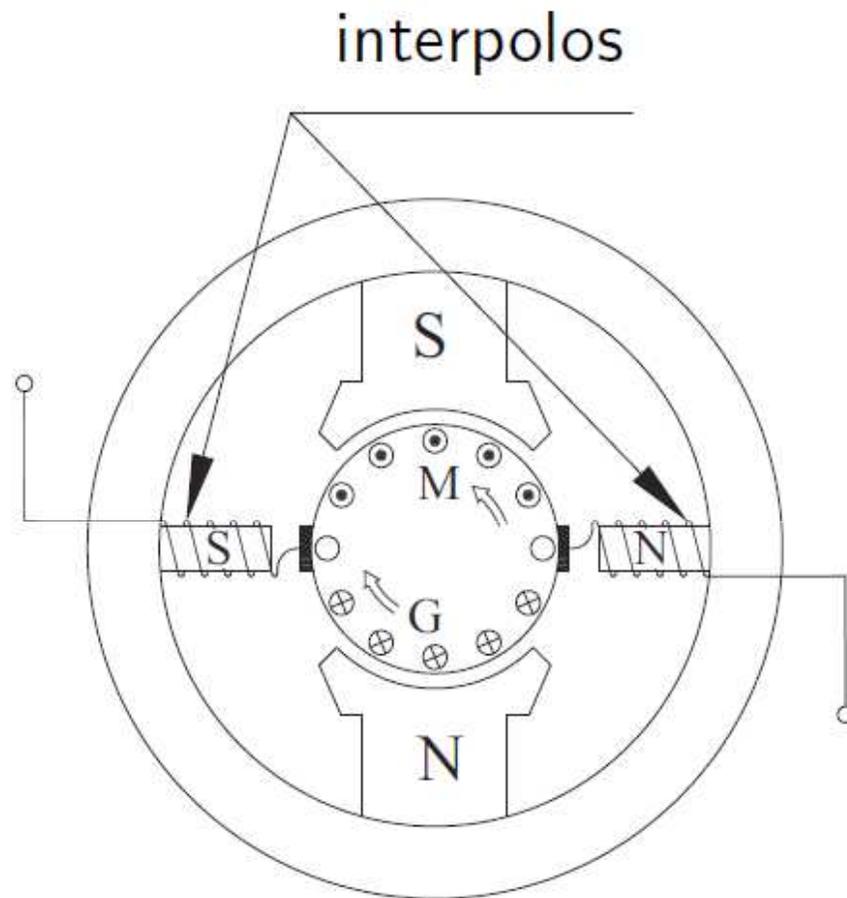
Tensões Induzida $L di/dt$

$$\blacktriangleright V = L \, di/dt$$

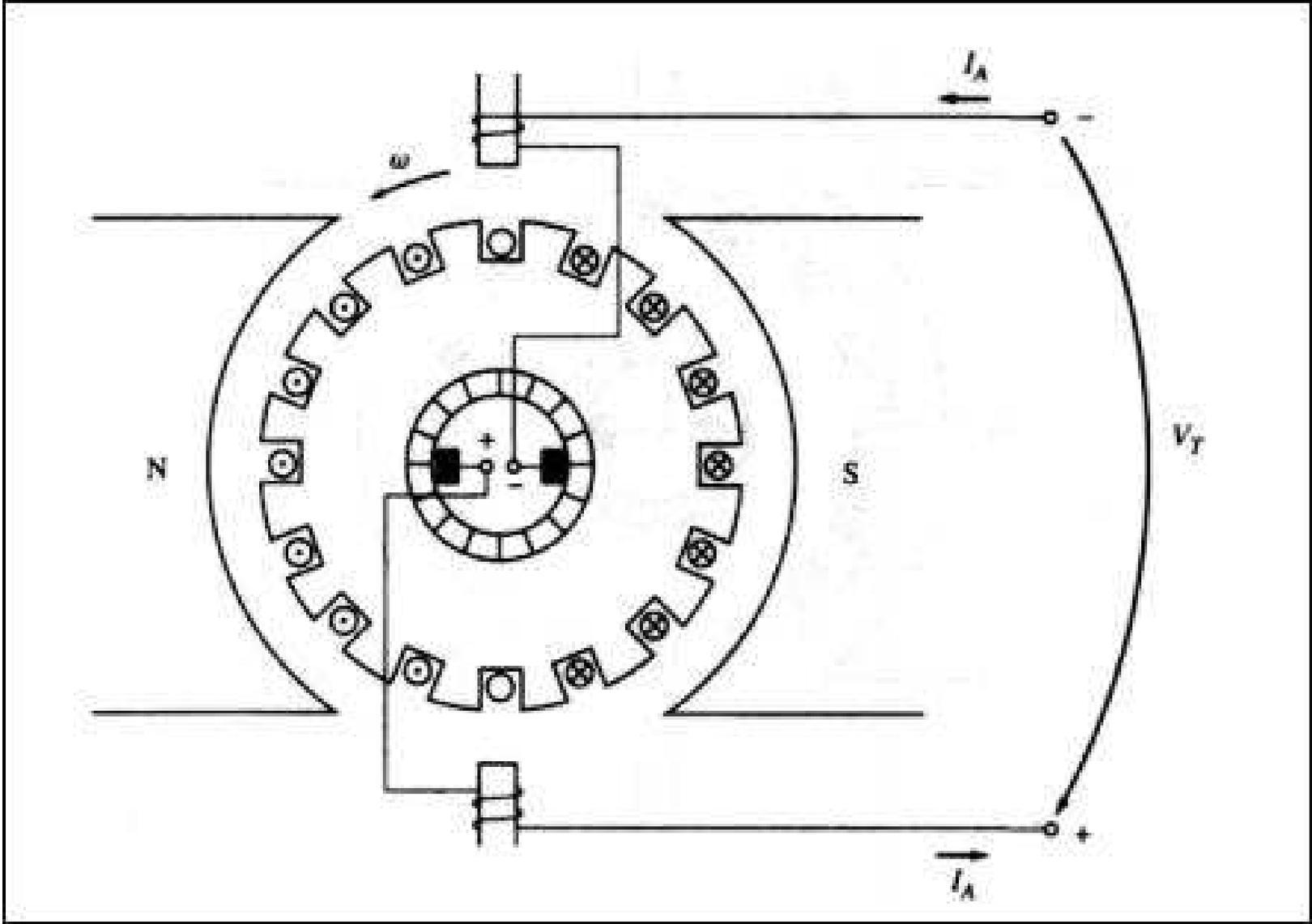


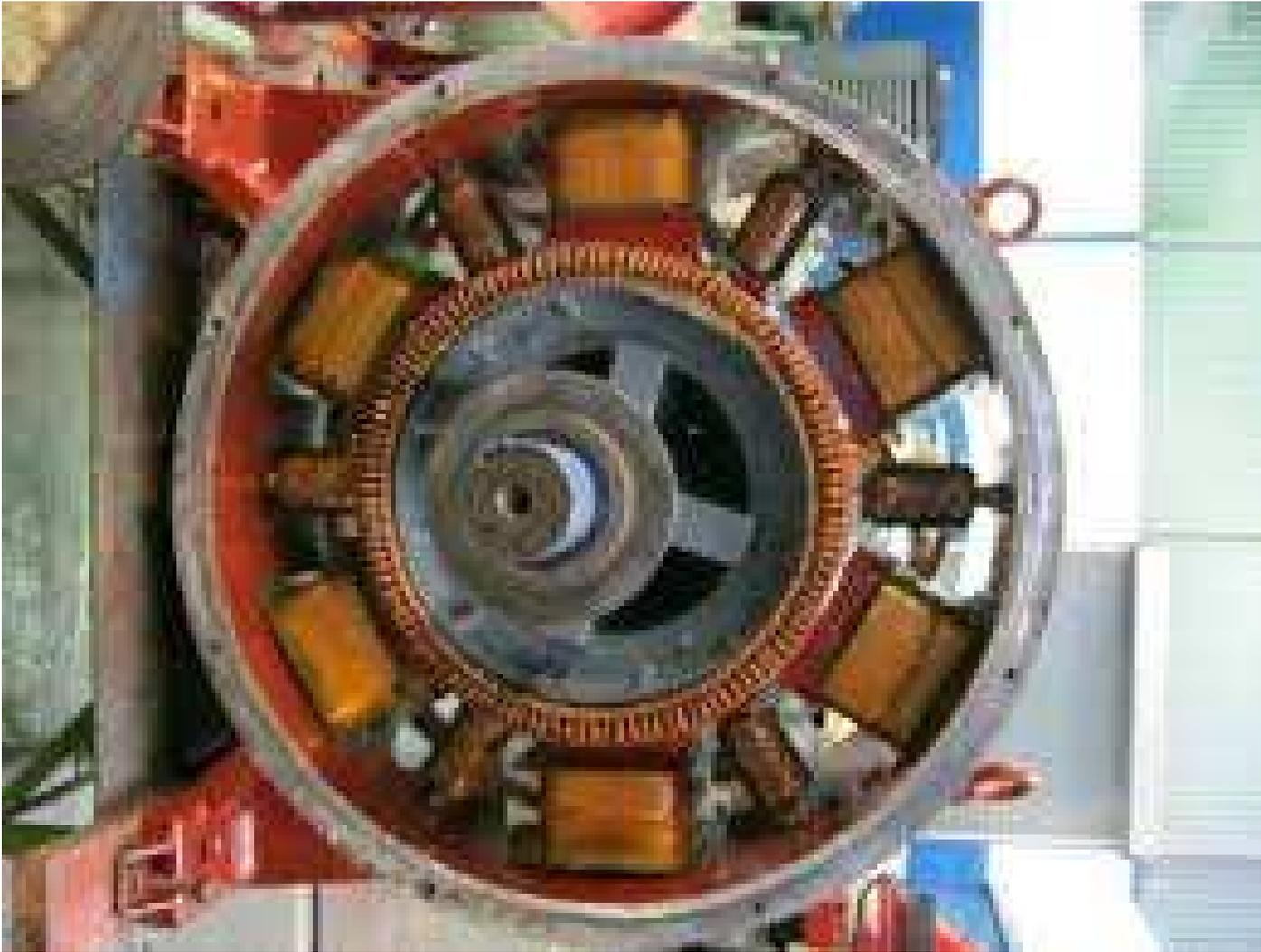
Soluções:

a) Interpólos



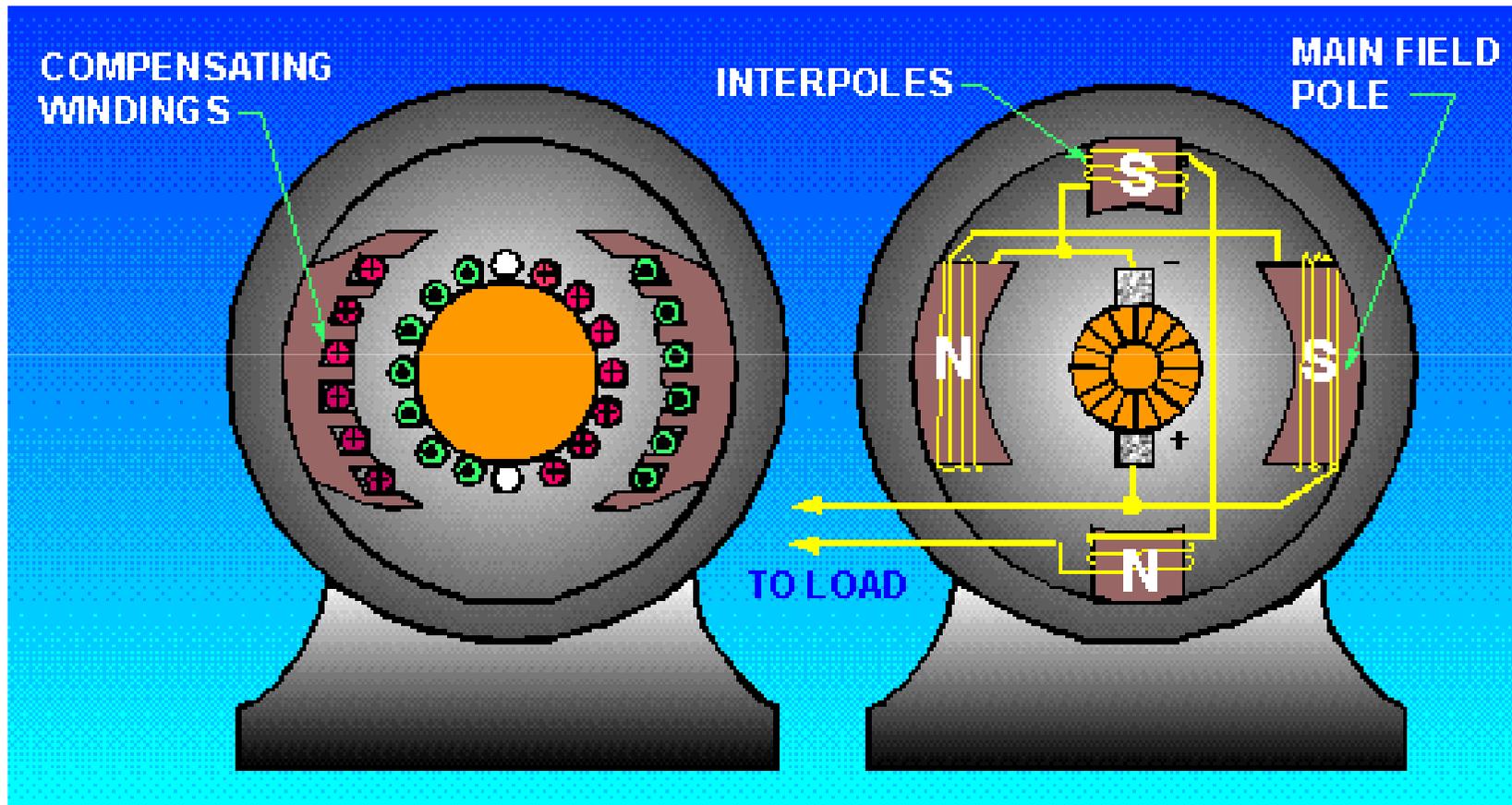
(e) Interpolos







b) Enrolamento compensador



Máquinas CC – Torque

$$T = K\Phi I_A$$

- A expressão do torque também é válida como motor ou como gerador:

Como motor: representa o torque desenvolvido para atender a carga (principal variável da máquina);

Como gerador: representa um torque de reação, ou torque resistivo ao torque fornecido pela máquina primária (tem impacto secundário);

Máquinas CC – Torque

$$P_{elet} = E_A I_A \quad T_{ind} = P_{conv} / \omega = E_A I_A / \omega$$

Exercícios Propostos do texto guia:
Electris Machinery Fundamentals 4e.

Questões:

9-1;9-2;9-3;9-4

Problemas

9-1;9-2;9-3;9-4;9-5;9-6;9-7