



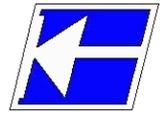
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Acionamentos Eletrônicos



GUIA DE ESTUDO

- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM - MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

Objetivo de Aprendizagem

Estudar as máquinas de corrente contínua.

Objetivos parciais

- Conhecer o princípio de funcionamento das máquinas de corrente contínua;
- Conhecer os principais tipos de motores de corrente contínua;
- Conhecer as aplicações dos motores de corrente contínua.

Aulas relacionadas

Este objetivo de aprendizagem está relacionado com a aula 07 da disciplina.

Pré-requisitos

Ter estudado o objetivo de aprendizagem 06 relacionado aos princípios de funcionamento de máquinas elétricas rotativas.

Continuidade dos Estudos

O próximo objetivo de aprendizagem será o estudo do acionamento dos motores de corrente contínua.

Roteiro para estudos

Os estudos referentes a este objetivo de aprendizagem consistem em:

1. Estudar este documento resumo, realizando as atividades propostas no mesmo;
2. Responder o quiz relacionado a este objetivo de aprendizagem;
3. Caso perceba necessidade, estudar a apresentação deste assunto ou consultar os livros texto indicados para esta disciplina;
4. Realizar os exercícios deste tópico da matéria;
5. Realizar a avaliação final para progredir ao próximo conteúdo.

Referências

- Material disponibilizado para a disciplina de Acionamentos Eletrônicos – 2021/1. Departamento Acadêmico de Eletrônica, Instituto Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis.
- STEPHAN, Richard M. Acionamento Comando e Controle de Máquinas Elétricas. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009.
- Kosow, Irving L. Máquinas Elétricas e Transformadores. 15ª edição. São Paulo: Globo, 2005.

Check-list

Caro estudante, verifique se você completou as atividades deste objetivo de aprendizagem e obteve êxito para continuar seus estudos.

Assinale as atividades realizadas:

Estudo do documento resumo:

- Leitura do documento resumo;
- Exercícios do documento resumo;
- Atividade avaliativa do documento resumo.
- Obtive êxito e entendi o conteúdo deste documento;
- Ainda não entendi bem o conteúdo e estudarei o mesmo com mais profundidade.

Estou com dúvidas, irei estudar com mais detalhes este conteúdo:

- Assistir a apresentação relacionada ao conteúdo (apresentação 07);
- Ler este guia de estudo (objetivo de aprendizagem 07).

Ainda estou com dúvidas:

- Entrarei em contato com o professor.

Obtive êxito, então seguirei em frente:

- Responder ao quiz deste conteúdo no Moodle;
- Informar ao professor que estou avançando com o conteúdo.

Parabéns, continue estudando com afinco e vamos em frente!!

CONTEÚDO

- OBJETIVO DE APRENDIZAGEM - MÁQUINAS DE CORRENTE CONTÍNUA

1 Introdução

O capítulo anterior abordou os aspectos e princípios gerais das máquinas elétricas rotativas, mostrando-se os diferentes tipos de motores elétricos e suas aplicações.

A partir deste capítulo serão estudados os principais motores elétricos utilizados comumente, iniciando-se pelos motores de corrente contínua, a seguir os motores de passo e por fim os motores de indução.

Assim, este capítulo tem como objetivo o estudo das máquinas de corrente contínua (cc), com foco nos motores elétricos de corrente contínua.

1.1 Conteúdo – O que irei estudar

Estudaremos neste tópico:

- Princípio de funcionamento das máquinas de corrente contínua;
- Principais tipos de motores de corrente contínua;
- Aplicações dos motores de corrente contínua.

1.2 Metodologia – O que devo fazer e como fazer

Leia com atenção o conteúdo a seguir. Ao final deste tópico são apresentados exercícios resolvidos. Após são apresentados alguns exercícios propostos.

Ao realizar estas atividades e se sentir confiante para progredir, siga os passos indicados na primeira página deste documento.

Espera-se que após estudar este assunto, você consiga:

- Descrever o funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua;
- Citar as principais partes de um motor de corrente contínua;
- Comentar sobre algumas aplicações dos motores elétricos de corrente contínua.

A atividade avaliativa deste objetivo de aprendizagem consistirá em perguntar ao estudante para descrever o funcionamento de um motor de corrente contínua, por exemplo.

Exemplo de atividade avaliativa:

1. Explicar com suas palavras o funcionamento de um motor elétrico de corrente contínua.
2. Citar aplicações dos motores de corrente contínua.
3. Comentar sobre as conexões dos motores de corrente contínua.
4. Comentar sobre a escolha de motores de corrente contínua.
5. Citar as principais partes de um motor de corrente contínua.

2 Máquinas de Corrente Contínua

2.1 Introdução

As máquinas elétricas de corrente contínua podem funcionar tanto como motor e como gerador, dependendo da sua conexão e aplicação. De todo modo, o projeto de uma máquina elétrica leva em conta seu modo de funcionamento, sendo otimizada para ser utilizada como motor ou gerador, conforme cada caso em específico.

Este capítulo irá abordar o princípio de funcionamento das máquinas de corrente contínua, focando-se nos elementos comuns aos motores e geradores de corrente contínua.

2.1 Definição de motor elétrico de corrente contínua

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).

2.2 Definição de gerador elétrico de corrente contínua

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).

2.3 Princípio de funcionamento da máquina de corrente contínua

A partir dos estudos realizados nos capítulos anteriores deste curso, pode-se lembrar que a partir da interação da força resultante sobre uma espira ou conjunto de espiras (bobina) conforme se observa na Figura 1, e o campo magnético no qual a espira está imersa, se terá duas possibilidades, que darão origem aos motores e aos geradores.

Os princípios motor e gerador são:

- 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;
- 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.

A Figura 2 mostra o funcionamento da máquina elétrica rotativa operando como motor de corrente contínua, onde se aplica uma corrente elétrica na espira, fazendo com que ocorra o surgimento de uma força que irá movimentar a espira, girando a mesma. A depender do ângulo entre a espira e o campo magnético se terá força máxima ou nula.

Por sua vez, a Figura 3 mostra a máquina elétrica rotativa configurada como gerador de corrente contínua, onde se movimenta a espira imersa no campo magnético, fazendo surgir uma corrente induzida na mesma. Em função do uso de coletor, que altera a conexão do circuito externo, fazendo com que a parte da espira próxima ao mesmo polo do campo magnético esteja conectada no mesmo condutor externo, se tem o surgimento de uma tensão contínua retificada em onda completa, lembrando um conversor ca-cc de onda completa (retificador onda completa).

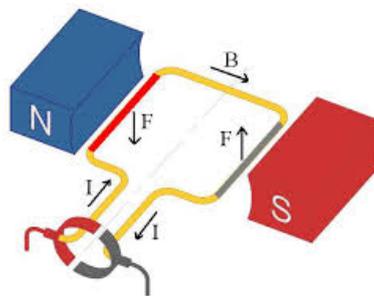


Figura 1 – Espira imersa em um campo magnética.

Fonte: <https://www.dt.fee.unicamp.br>. Acessado em 17/06/2021.

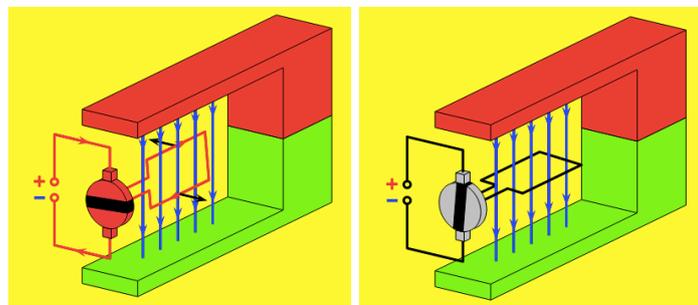


Figura 2 – Funcionamento do motor de corrente contínua.

Fonte: <https://www.walter-fendt.de>. Acessado em 17/06/2021.

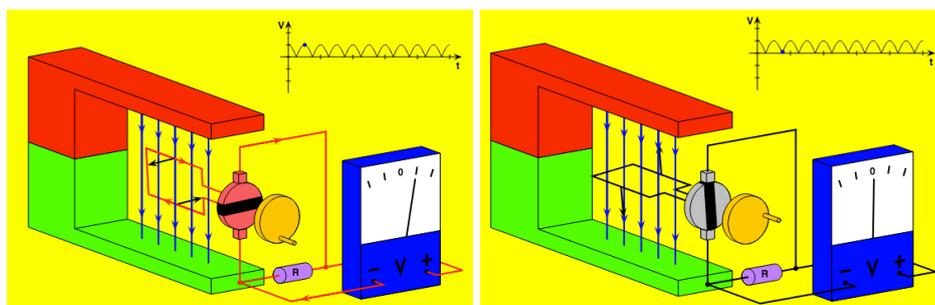
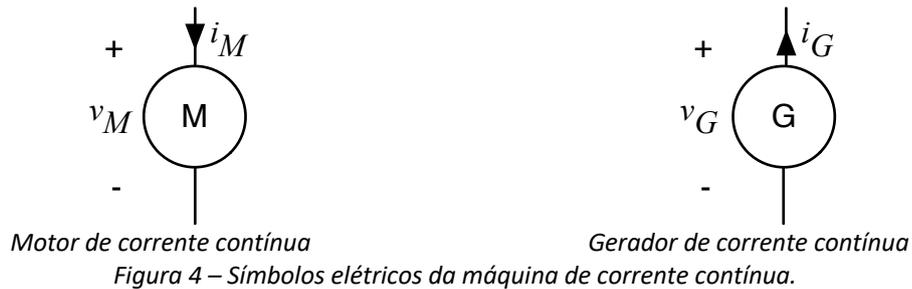


Figura 3 – Funcionamento do gerador de corrente contínua.

Fonte: <https://www.walter-fendt.de>. Acessado em 13/07/2021.

2.4 Símbolos elétricos da máquina de corrente contínua

Os motores elétricos podem ter diferentes símbolos, mas em geral são representados por um círculo com a letra M de motor. A Figura 4 mostra o símbolo típico para um motor elétrico, identificando-se sua tensão e corrente. De modo similar, um gerador de corrente contínua terá símbolo semelhante, mas com a corrente saindo do mesmo e a letra G no interior do círculo, como mostrado na mesma figura.



2.5 Exemplos de máquinas de corrente contínua

A Figura 5 mostra exemplos de máquinas rotativas de corrente contínua, neste caso de um motor e de um gerador de corrente contínua. O gerador tem potência da ordem de 4,8 kW, com tensão de 48 V e corrente de 100 A, aplicado em geração de energia elétrica a partir da energia eólica. Por sua vez, o motor de corrente contínua com ímãs permanentes, tem potência de 200 W e tensão de alimentação de 90 V.

Os exemplos mostrados são de máquinas de potência baixa, indo de centenas de watts até alguns quilowatts. Em diferentes aplicações podem se encontrar motores e geradores desde alguns microwatts, no caso de micromotores, até milhares de quilowatts, em usos específicos de potências muito altas.



Motor de corrente contínua

Gerador de corrente contínua

Figura 5 – Exemplos de máquinas de corrente contínua.

Fonte: <http://www.asten.com.br> e <https://www.auroragenerators.com>. Acesso em 13/07/2021.

2.6 Construção de máquinas de corrente contínua

A construção de uma máquina de corrente contínua pode ter alterações conforme seu tipo, aplicação, potência e tecnologias empregadas. De todo, em geral, as máquinas de corrente contínua tem como partes principais aquelas mostradas na Figura 5.

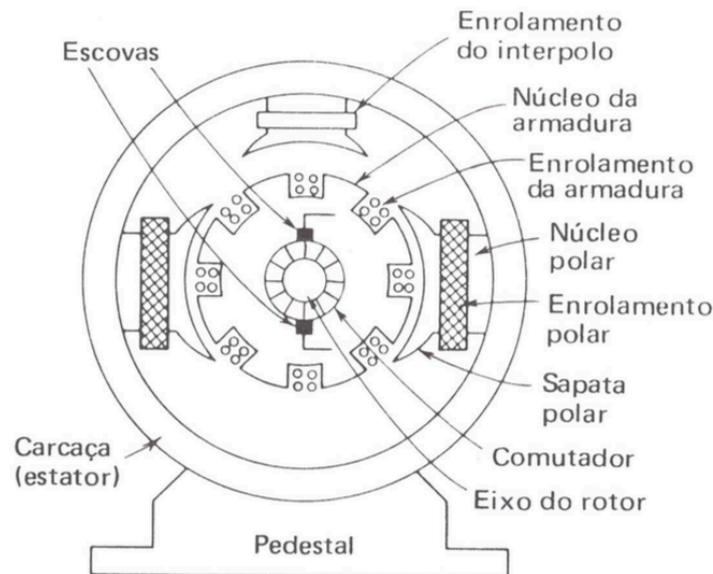


Figura 6 – Principais partes de uma máquina de corrente contínua.

Fonte: (Kosow, 2005).

As principais partes de uma máquina de corrente contínua são listadas a seguir e mostradas na Figura 6:

- Estator ou campo – É a parte fixa da máquina, tendo as sapatas polares formadas por lâminas de aço ou ferro silício e ao seu redor as bobinas enroladas, formando o enrolamento de campo;
- Rotor ou armadura – É a parte móvel do motor transmitindo movimento pelo eixo do mesmo. Também possui um conjunto de lâminas de aço ou ferro silício formando ranhuras, que irão alojar as espiras, constituindo o enrolamento de armadura;
- Coletor ou comutador – Elemento que conecta o bobinado da parte móvel (rotor) ao circuito externo por meio das escovas;
- Escovas – Constituídas de carvão grafite ou carbono, permitem conectar os contatos do comutador ao circuito externo, sem afetar seu movimento, provendo contato por pressão, ocorrendo atrito entre os mesmos e desgaste ao longo do tempo.

Em virtude do atrito constante entre as escovas e os contatos do comutador, deve ser realizada a manutenção periódica destes elementos e sua substituição após seu desgaste.



Estatador

Rotor

Coletor

Escovas

Figura 7 – Partes de motores elétricos de corrente contínua.

Fonte: <https://www.americanas.com.br>. Acesso em 13/07/2021.

3 Geradores de Corrente Contínua

3.1 Introdução

A seguir se apresentam aspectos particulares dos geradores de corrente contínua, do ponto de vista de seu funcionamento e aplicações, de maneira resumida, visto este curso focar no acionamento eletrônico, principalmente aplicado aos motores elétricos.

3.2 Funcionamento do gerador de corrente contínua

A tensão gerada (fem = força eletromotriz) por um gerador elementar, isto é, que possui apenas uma espira, é mostrada na Figura 8. Os trechos da espira, de a até b, b até c e c até d, podem ser utilizados, em conjunto com a Regra de Fleming para se determinar o sentido da corrente elétrica ou do movimento, conforme for o caso, considerando o funcionamento da máquina de corrente contínua como gerador ou motor, respectivamente.

Assim, tomando como referência os trechos a até b e c até d, nota-se que se a espira estiver na posição 0, a tensão induzida será nula, pois o ângulo entre a mesma e o campo magnético é zero, pois a tensão induzida depende do valor do seno do ângulo entre as linhas de campo

magnético e o plano formado pela bobina, conforme visto na Figura 3.

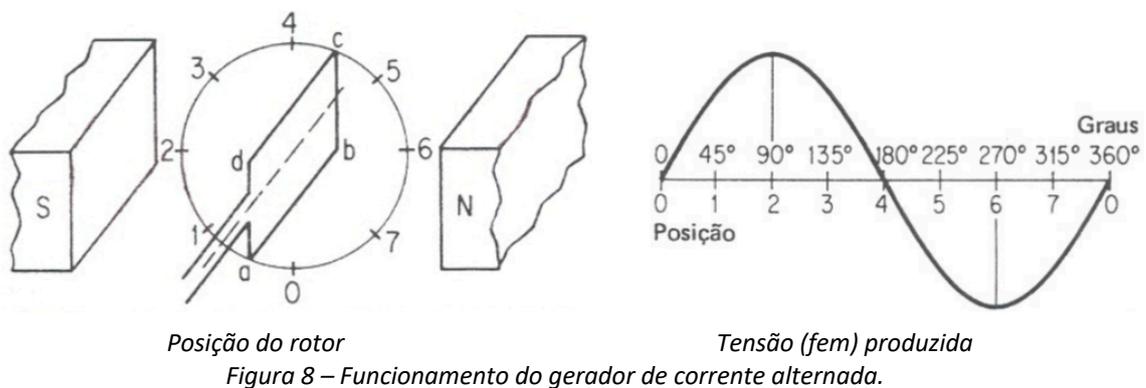
Por sua vez, quando a bobina estiver na posição 2 o ângulo será de 90° , com seno valendo um, e a tensão gerada será máxima positiva.

As posições 1 e 3 serão intermediárias, com ângulos de 45° e 135° e amplitudes de tensão maiores que zero e menores que o valor máximo. Ao se posicionar a bobina em 4, o ângulo será de 180° e o valor de tensão será nulo novamente.

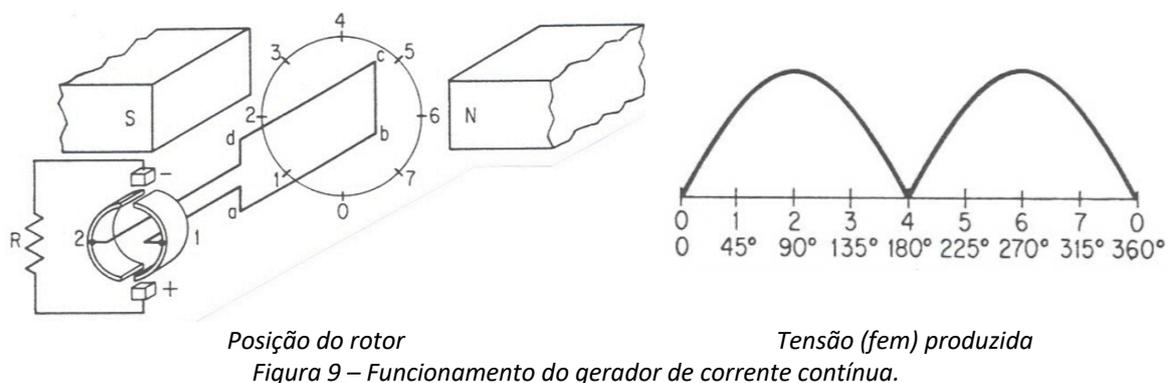
Por outro lado, ao se percorrer as posições de 4 até 0, passando por 5, 6 e 7, a tensão gerada será negativa, caracterizando o funcionamento como um gerador de corrente alternada.

Note que o coletor utilizado na Figura 8 é simples, isto é, não é um coletor comutador, conforme se mostra na Figura 9. Ao utilizar um coletor comutador, o resultado é uma retificação na tensão gerada, isto é, a amplitude produzida pelo gerador é apenas positiva, conforme se observa na figura, caracterizando o funcionamento como gerador de corrente contínua.

Ao se inserir mais bobinas no gerador elementar, conforme mostrado na Figura 10, se tem formas de onda geradas para cada bobina, fazendo com que a tensão produzida seja a soma destas formas de onda, resultando em uma tensão mais próxima de contínua e com menos ondulação (*ripple*), o que é benéfico para o funcionamento das cargas conectadas ao gerador.



Fonte: (Kosow, 2005).



Fonte: (Kosow, 2005).

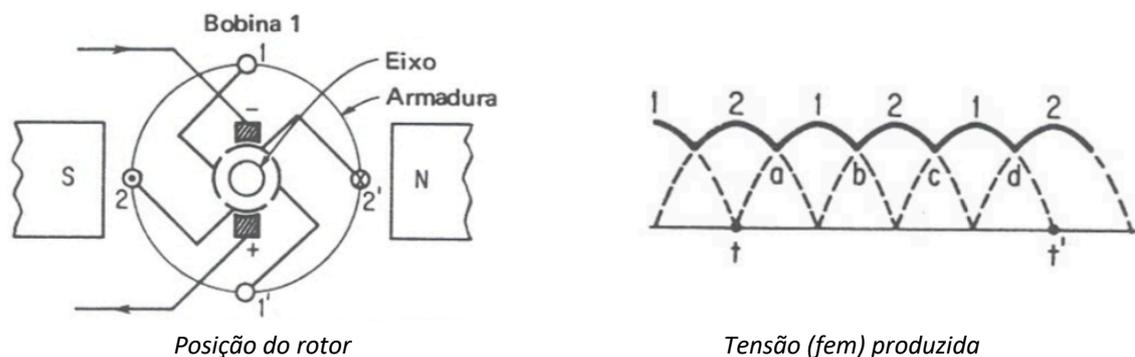


Figura 10 – Efeito de mais bobinas no funcionamento do gerador de corrente contínua.

Fonte: (Kosow, 2005).

3.3 Aplicações dos geradores de corrente contínua

Os geradores de corrente contínua podem ser aplicados em diversas situações, tais como: sistemas de geração de aeronaves, barcos e veículos, geração de energia (hidroelétrica, térmica, eólica, etc), eletrodeposição, carregadores de baterias, máquinas de solda, alimentação de cargas isoladas, controle de velocidade (*encoder*), laboratórios, equipamentos médicos, odontológicos e hospitalares, dentre outras.



Gerador eólico



Encoder

Figura 11 – Exemplos de geradores de corrente contínua.

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

Acesso em 13/07/2021.

4 Motores de Corrente Contínua

4.1 Introdução

A seguir se apresentam aspectos particulares dos motores de corrente contínua, do ponto de vista de sua construção e funcionamento, além de suas aplicações e tipos.

4.2 Funcionamento do motor de corrente contínua

A Figura 12 mostra um exemplo construtivo de motor de corrente contínua com imãs

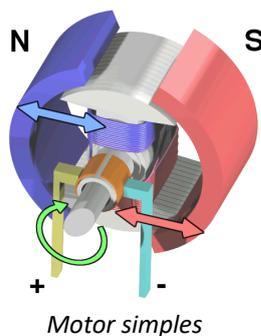
permanentes. Note que o estator (parte fixa) é representada por um ímã com seus polos norte e sul, enquanto o rotor (parte móvel) tem uma bobina conectada ao circuito externo por meio do coletor do tipo comutador. Ao se aplicar uma corrente elétrica na bobina do rotor, aparecerá uma força elétrica que irá prover movimento ao eixo do motor, conforme mostrado na figura.

O fluxo magnético gerado pelos ímãs permanentes do estator é mostrado na Figura 12, atravessando o plano da bobina e espiras do rotor, mostrando-se as linhas de campo magnético geradas nos condutores da bobina, perpendiculares ao sentido da corrente elétrica que circula pela mesma. Em frente ao polo norte do ímã se tem a corrente saindo do plano da figura, apontando no sentido do leitor; já em frente ao polo sul do ímã, a corrente está entrando pelos condutores da bobina, apontando para o interior da figura.

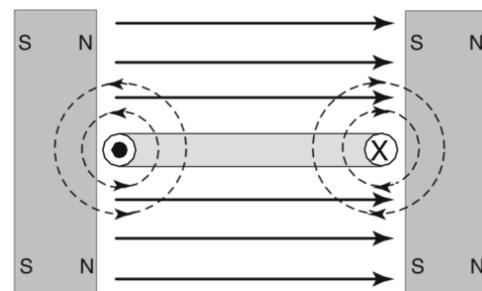
A partir da interação entre o campo magnético gerado pelo estator de ímãs permanentes e o rotor bobinado, se tem o surgimento de forças, conforme mostrado na Figura 13, onde se tem duas posições neutras (0) onde o campo magnético gerado pelo estator e o plano da bobina são perpendiculares, isto é, com ângulo de 90° , provocando força nula. Neste caso se tem a conexão do comutador na posição neutra ou de curto-circuito, isto é, as escovas tocam simultaneamente em dois contatos do coletor.

A posição inicial (a) mostrada na Figura 13, com o sentido da corrente elétrica entrando pela espira pela escova conectada no lado cinza do comutador, corresponde ao fluxo magnético mostrado na Figura 12, tendo-se a soma das linhas de força próximo ao polo sul, e a subtração das mesmas próximo ao polo norte. Desta interação e aplicando a Regra de Fleming se conclui que próximo ao polo norte a força irá apontar para cima, enquanto próximo ao polo sul a força apontará para baixo, fazendo surgir um braço de alavanca, com uma força apontando em uma direção e a outra na direção contrária, o que provoca o giro da parte móvel (eixo) do motor.

A posição intermediária (c) corresponde a comportamento similar a posição inicial (a), pois o coletor comutador faz com que a corrente elétrica na bobina, próxima ao polo sul, esteja novamente entrando no plano da figura, mantendo-se assim as forças como na posição inicial.



Motor simples



Fluxo magnético no motor de corrente contínua

Figura 12 – Motor de corrente contínua simples.

Fonte: <https://en.wikipedia.org> e <https://electricalacademia.com>. Acesso em 14/07/2021.

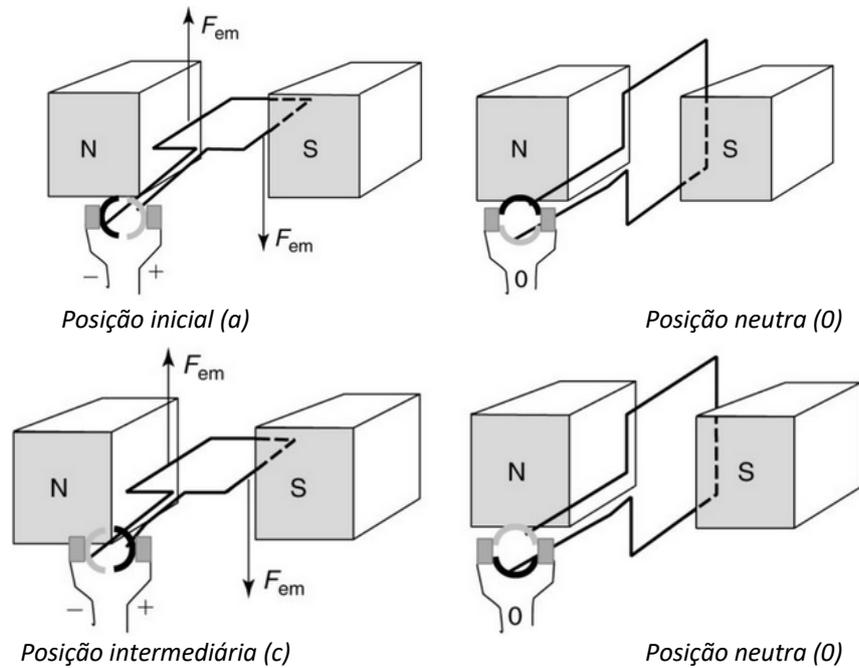
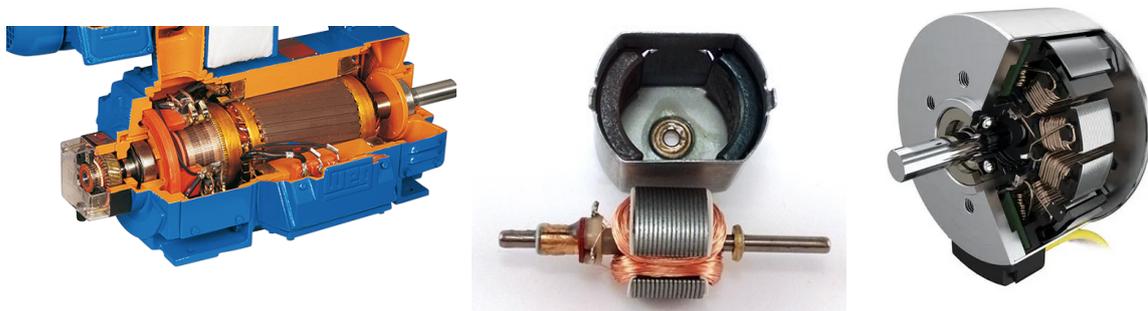


Figura 13 – Funcionamento do motor de corrente contínua.

Fonte: <https://electricalacademia.com>. Acesso em 14/07/2021.

A Figura 14 mostra os aspectos construtivos de alguns motores de corrente contínua, onde se nota que em virtude do modelo e potência pode-se ter diferenças significativas entre os mesmos.

É importante destacar que atualmente, pela sua robustez e pouca necessidade de manutenção, tem-se preferido o uso de motores sem escovas (*brushless*), principalmente em aplicações como veículos elétricos, por exemplo. Estes motores serão estudados posteriormente neste curso, quando se estudará mais detalhadamente seu funcionamento, aspectos construtivos e circuitos de acionamento.



Motor de alta potência

Motor com ímã permanente

Motor sem escovas

Figura 14 – Aspecto interno de um motor de corrente contínua.

Fonte: <https://www.weq.net>, <https://www.robotgear.com.au> e <https://www.faulhaber.com>.

Acesso em 14/07/2021.

4.3 Circuito elétrico do motor de corrente contínua

O circuito elétrico de uma máquina de corrente contínua, e deste modo, também dos motores de corrente contínua, conforme mostrado na Figura 15, é formado por dois circuitos principais: o circuito de armadura ou rotor e o circuito de campo ou estator. Os diversos elementos elétricos que constituem o motor de corrente contínua são:

- 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, em radianos por segundo;
- Conjugado (C) – Conjugado no eixo do motor.

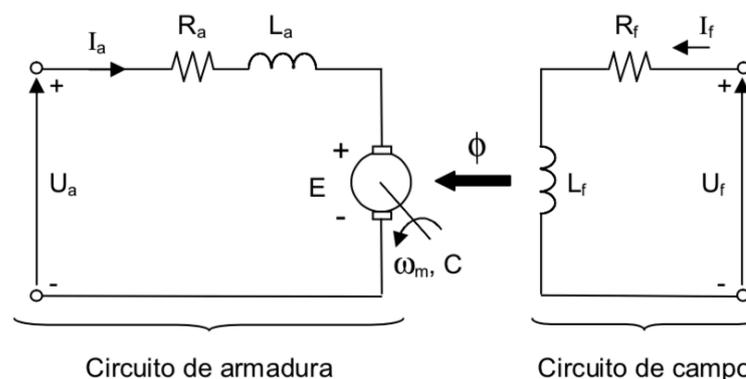


Figura 15 – Circuito elétrico equivalente de uma máquina de um motor de corrente contínua.

Fonte: (Siemens, 2006)¹.

¹ SIEMENS. *Motores de Corrente Contínua – Guia rápido para uma especificação precisa, edição 01, 2006.* Disponível em: <https://new.siemens.com/br/pt.html>.

A partir do circuito elétrico equivalente da Figura 15 se pode escrever a tensão de armadura como sendo:

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

De acordo com (Siemens, 2006), utilizando a Lei de Indução de Faraday, a tensão de armadura (força eletromotriz induzida) é proporcional ao fluxo e a rotação do motor, então:

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

A partir das duas expressões anteriores se obtém:

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

Onde:

- n – Velocidade de rotação da armadura;
- k_1 – Constante dependente do tamanho do rotor, número de polos e da interconexão dos enrolamentos do motor;
- ϕ - Fluxo no entreferro da máquina.

Em particular, se a queda de tensão na armadura for pequena, então se tem:

$$n = k_1 \cdot \frac{U_a}{\phi}$$

Assim, se conclui que a velocidade do motor é diretamente proporcional a tensão de armadura e inversamente proporcional ao fluxo magnético no entreferro.

Por sua vez, o fluxo magnético originado pela corrente no enrolamento de campo, sendo:

$$\phi = k_2 \cdot I_f$$

O conjugado do motor será dado por:

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

Onde:

- K_2 e k_3 – Constantes de proporcionalidade do motor;
- I_f – Corrente de campo do motor;
- C – Conjugado eletromagnético do motor.

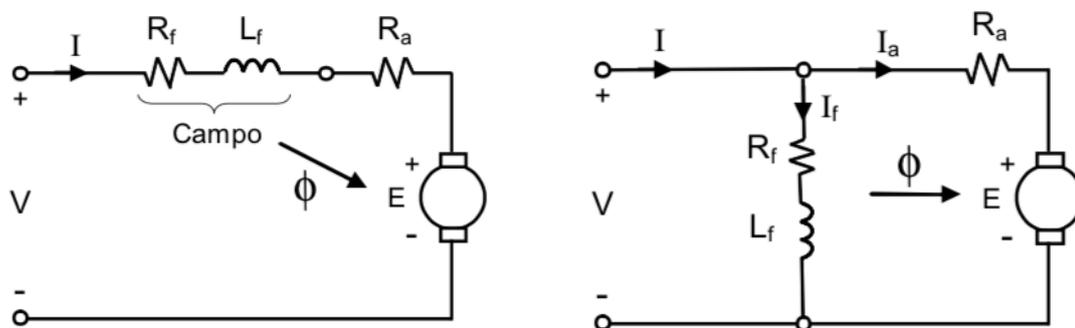
4.4 Tipos de motores de corrente contínua

A partir do circuito equivalente do motor de corrente contínua apresentado na Figura 15 é possível se conectar o motor de diferentes maneiras, conforme mostrado nas Figura 16 e Figura 17, onde se nota, conforme o guia de motores de corrente contínua da Siemens, que cada conexão tem particularidades em termos de velocidade, torque e conjugado.

Em síntese, se tem:

- Série (Figura 16a) – Ligação série entre circuitos de armadura e campo. Tem como características:
 - 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.
- Paralela (Figura 16b) – Ligação paralela entre os circuitos de armadura e campo. Tem como características:
 - Velocidade praticamente constante;
 - Velocidade ajustável por variação da tensão de armadura.
- Independente (Figura 16a) – Circuitos de armadura e campo conectados separadamente. Tem como características:
 - 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.
- Composta – Ligação série-paralela, onde o enrolamento de campo é dividido em dois, sendo um enrolamento conectado em série com o circuito de armadura e outro conectado em paralelo com este circuito. Tem como características:

- Enrolamento de campo independente;
- Apresenta um fluxo mínimo mesmo com o motor em vazio.

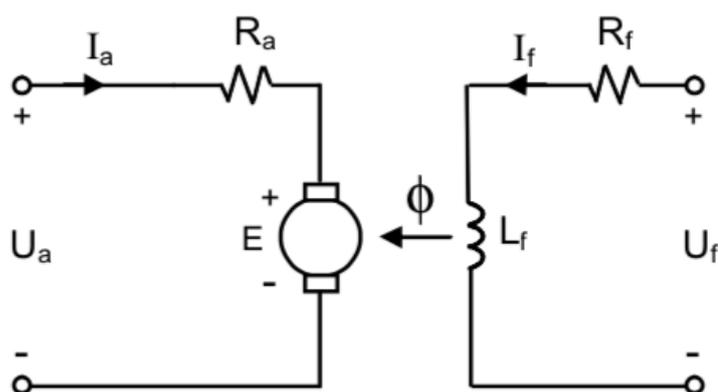


(a) Ligação série.

(b) Ligação paralela.

Figura 16 – Tipos de conexões de motores de corrente contínua.

Fonte: (Siemens, 2006).



(c) Ligações independentes.

Figura 17 – Tipos de conexões de motores de corrente contínua.

Fonte: (Siemens, 2006).

5 Seleção de Motores de Corrente Contínua

5.1 Introdução

A escolha adequada dos motores depende de diversos fatores, inclusive se levando em conta a aplicação a que se destinam.

A seguir serão apresentados alguns aspectos, de maneira breve, sobre a seleção de motores elétricos de corrente contínua.

5.2 Vantagens e desvantagens dos acionamentos em corrente contínua

A partir de (Siemens, 2006), pode-se elencar vantagens e desvantagens para o uso e acionamento envolvendo motores de corrente contínua.

Assim, as vantagens dos acionamentos em corrente contínua são:

- 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.

Dentre as desvantagens se tem:

- 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.

5.3 Seleção de motores de corrente contínua

A seguir serão apresentados os principais fatores que influenciam a seleção de um motor de corrente contínua para determinada aplicação, sendo eles:

- 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;
- 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 mantenham 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.

Além dos fatores elencados anteriormente, ao se escolher um motor para determinada aplicação deve-se levar em conta as grandezas elétricas e mecânicas, como tensão de funcionamento, corrente elétrica, potência mecânica útil no eixo do motor, além das especificidades em termos de circuitos elétricos para acionamento dos motores, que podem ser diferentes conforme o modelo e tipo de motor escolhido.

6 Exercícios

Exercícios Resolvidos

ER 01. Defina motor elétrico de corrente contínua.

Motor elétrico de corrente contínua é uma máquina rotativa que converte energia elétrica em energia mecânica, a partir da tensão de alimentação em corrente contínua.

ER 02. Quais os principais tipos de motores elétricos de corrente contínua, considerando a tecnologia de construção dos mesmos.

Motores com escovas (convencionais), motores com ímãs permanentes, motores sem escovas.

ER 03. Quais os dois circuitos que compõem um motor de corrente contínua?

O circuito de armadura e o circuito de campo.

ER 04. A velocidade de um motor de corrente contínua, simplificada, depende de que grandezas?

Se a queda de tensão na armadura for pequena, então a velocidade do motor de corrente contínua depende da tensão de armadura e do fluxo magnético.

ER 05. Cite aplicações para os motores de corrente contínua.

Ferramentas elétricas, utensílios de cozinha e de casa, máquinas de costura, dentre outras.

Exercícios Propostos

EP 01. Explique com suas palavras como funciona um motor elétrico de corrente contínua.

EP 02. Comente sobre as vantagens e desvantagens dos motores de corrente contínua.

EP 03. Cite os tipos de motores de corrente contínua, levando em conta a conexão dos enrolamentos de armadura e de campo.

EP 04. Cite as principais partes de um motor de corrente contínua.

EP 05. Comente sobre as aplicações dos motores de corrente contínua.

7 Atividade Avaliativa

7.1 Introdução – O que preciso saber

Ao final deste objetivo de aprendizagem são apresentadas cinco questões, que devem ser respondidas sem consultar o material. Se você conseguir responder as questões e conferir as respostas com o gabarito abaixo, parabéns, você concluiu com êxito este tópico. Caso tenha errado alguma questão, revise o conteúdo relacionado com a mesma e refaça a questão, procurando se concentrar mais desta vez, para acertar o exercício e fixar bem o conteúdo.

AA 01. O que são máquinas de corrente contínua?

AA 02. Cite as principais partes de uma máquina de corrente contínua.

AA 03. Como se pode alterar a velocidade de rotação de um motor de corrente contínua?

AA 04. Cite exemplos de fatores utilizados para escolha de motores de corrente contínua.

AA 05. Comente sobre as características dos motores sem escovas (*brushless*).

dentre outras aplicações.

operar com velocidades elevadas, sendo utilizados para veículos elétricos, drones, aeromodelos,

AA 05. Os motores sem escovas (*brushless*) são robustos e exigem pouca manutenção, podendo

AA 04. Grau de proteção, tipo de refrigeração, classe de isolamento, etc.

a tensão de armadura ou o fluxo magnético, pela alteração da corrente de campo.

AA 03. A velocidade de rotação do motor de corrente contínua pode ser alterada modificando-se

ou campo, coletor e escovas.

AA 02. As principais partes de uma máquina de corrente contínua são: rotor ou armadura, estator

corrente contínua, no caso dos geradores.

alimentação em tensão contínua; ou converter energia mecânica em energia elétrica na forma de

energia elétrica em mecânica no caso de motores, quando alimentados com uma fonte de

AA 01. Máquinas de corrente contínua são máquinas elétricas rotativas que podem converter a