



Noções Básicas de Eletrotécnica

Carlos Ednaldo Ueno Costa



Cuiabá - MT
2015



Presidência da República Federativa do Brasil
Ministério da Educação
Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Diretoria de Integração das Redes de Educação Profissional e Tecnológica

© Este caderno foi elaborado pelo Instituto Federal do Pará para a Rede e-Tec Brasil, do Ministério da Educação, em parceria com a Universidade Federal de Mato Grosso.

Equipe de Revisão

Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT

Coordenação Institucional
Carlos Rinaldi

**Coordenação de Produção de Material
Didático Impresso**
Pedro Roberto Piloni

Designer Educacional
Marta Magnusson Solyszko

Designer Master
Daniela Mendes

Ilustração
Igor Leão

Diagramação
Tatiane Hirata

Revisão de Língua Portuguesa
Celiomar Porfírio Ramos

Revisão Final
Marta Magnusson Solyszko

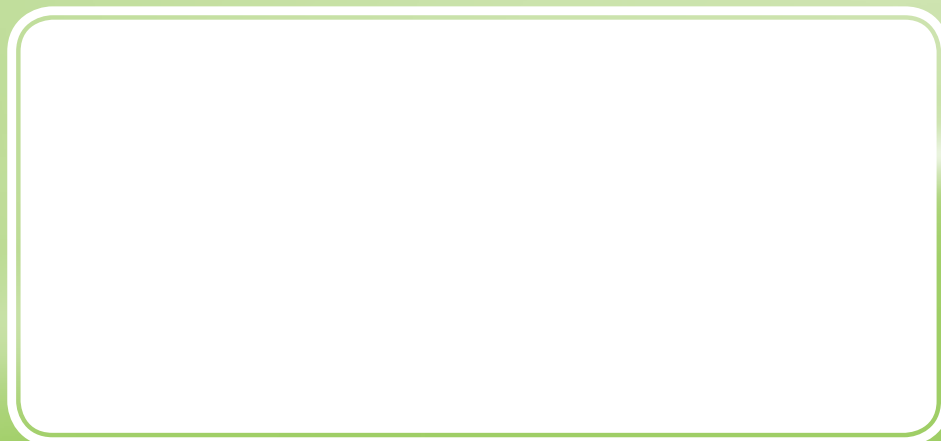
Instituto Federal do Pará – PA

Coordenador Institucional
Erick Alexandre de Oliveira Fontes

Coordenador de Curso
Oscar Jesus Choque Fernandez

Equipe de Elaboração
Carlos Lemos Barboza
Darlindo Veloso
Gisely Regina Lima Rebelo
Wuyllen Soares Pinheiro

Projeto Gráfico
Rede e-Tec Brasil/UFMT



Apresentação Rede e-Tec Brasil

Prezado(a) estudante,

Bem-vindo(a) à Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec - Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira, propiciando caminho de acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (Setec) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os institutos federais, as secretarias de educação dos estados, as universidades, as escolas e colégios tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e a realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e da educação técnica - capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação
Julho de 2015

Nosso contato
etecbrasil@mec.gov.br



Indicação de Ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



Atenção: indica pontos de maior relevância no texto.



Saiba mais: oferece novas informações que enriquecem o assunto ou "curiosidades" e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.

A-Z

Glossário: indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



Mídias integradas: remete o tema para outras fontes: livros, filmes, músicas, *sites*, programas de TV.



Atividades de aprendizagem: apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



Refleta: momento de uma pausa na leitura para refletir/escrever sobre pontos importantes e/ou questionamentos.





Palavra do Professor-autor

Prezado(a) estudante,

Olá!

O desenvolvimento tecnológico que o mundo vem presenciando nas últimas décadas tem como um dos principais pilares a energia elétrica. Portanto, para um profissional da área da indústria é muito importante ter uma base de conhecimento nas áreas da eletricidade e eletromagnetismo para compreender como a energia é produzida no ponto de geração (hidrelétricas, termoeletricas, etc.). Essa mesma energia, depois de passar por alguns processos de transformação de nível de tensão, será consumida pelos mais diversos equipamentos residenciais, comerciais e industriais.

O objetivo principal deste estudo é mostrar conhecimentos sobre os princípios e fundamentos que regem os circuitos elétricos em corrente alternada que é o tipo de circuito predominante nas instalações elétricas.

Este material está dividido em seis aulas que estão contemplando os conhecimentos exigidos pelo componente curricular do curso que você escolheu.

Quando você optou pela área da indústria e tecnologia, escolheu um campo promissor e que a cada momento sofre atualizações com novas tecnologias e equipamentos, portanto deve estar sempre disposto(a) a se atualizar e aprofundar os conhecimentos adquiridos. Ao longo deste curso comece a desenvolver a característica de busca constante pela atualização do conhecimento.





Apresentação da Disciplina

Caro(a) estudante,

As descobertas feitas pelo homem foram transmitidas de geração em geração e aprimoradas através dos tempos e dos povos, até chegarmos na atualidade. A necessidade de superar os desafios e de atender suas necessidades fez com que o homem fosse capaz de transformar o ambiente, criar e recriar possibilidades para garantir a melhor forma possível de sua existência.

O conhecimento em eletrotécnica lhe permitirá visualizar perfeitamente essa necessidade, levando-o(a) a interpretar fatos, fenômenos e processos naturais, desenvolvendo a capacidade de abstrair e teorizar, por meio de situações concretas e exemplos práticos. Acreditamos que a estrutura da disciplina contribuirá para o entendimento da eletrotécnica como um meio, um instrumento para compreensão do mundo. Embora prático, permite ultrapassar o interesse imediato.

As aulas a seguir tratarão de noções de eletromagnetismo, circuito em corrente alternada, sistemas trifásicos, noções de motores, acionamento e comandos elétricos. O conteúdo delas oportunizará a utilização e a compreensão de tabelas, gráficos e relações matemáticas, instrumentos que ajudarão você a classificar, organizar, sistematizar, observar, estimar, formular e testar hipóteses. Estes instrumentos possibilitarão o desenvolvimento da expressão do saber físico, bem como, sua qualificação dentro do curso que você está realizando.



Sumário

Aula 1. Noções de eletromagnetismo	13
1.1 Magnetismo	13
1.2 Campo magnético	15
1.3 Surgimento do eletromagnetismo	16
1.4 Indução eletromagnética	19
Aula 2. Circuitos de corrente alternada	23
2.1 Geração de um sinal senoidal	24
2.2 Circuitos em corrente alternada	28
Aula 3. Circuito com indutor e capacitor em corrente alternada (C.A.)	33
3.1 Circuito com indutor em C.A.	33
3.2 Circuito com capacitor em C.A.	36
3.3 Impedância complexa	40
3.4 Potências em circuito C.A.	41
3.5 Potência aparente (S)	42
3.6 Fator de potência	43
Aula 4. Sistemas trifásicos	47
4.1 Ligação estrela ou Y	50
4.2 Ligação Delta ou Δ	51
4.3 Potência trifásica	53
Aula 5. Noções de motores elétricos	55
5.1 Motor de indução trifásico	56
5.2 Motores monofásicos de corrente alternada	61
Aula 6. Acionamento e comandos elétricos	63
6.1 Chave (botão) sem retenção ou impulso	64
6.2 Contator ou chave magnética	65
6.3 Relés de comando	66
6.4 Proteção dos circuitos de acionamento e comandos	67



6.5 Chave seccionadora.....	73
6.6 Circuitos de comando e de força.....	74
6.7 Partidas de motores.....	75
Palavras Finais	80
Guia de Soluções.....	81
Referências.....	87
Obras Consultadas	88
Currículo do Professor-autor.....	89



Aula 1. Noções de eletromagnetismo

Objetivos:

- reconhecer os princípios básicos do magnetismo e sua importância para a eletricidade; e
- estabelecer relação entre o magnetismo, eletricidade e a parte da ciência que surge da união deles.

Caro(a) estudante,

Nesta primeira aula você se lembrará das brincadeiras com o ímã e entenderá porque, às vezes, ele atraía e outra vez repulsava alguns objetos. E poderá se sentir um cientista ao testar alguns funcionamentos do campo magnético, sistema que pode ser visualizado em sua casa, trabalho ou na rua.

Vamos aprender?

Para que possamos compreender a análise de circuitos elétricos em corrente alternada é necessário que ocorra um bom entendimento dos fundamentos básicos de eletromagnetismo, pois as aulas posteriores estão baseadas no conhecimento que vamos construir agora. Iremos trabalhar para que você domine as noções básicas de magnetismo e eletromagnetismo.

1.1 Magnetismo

Os gregos há, aproximadamente, 2000 anos atrás, observaram que certa pedra da região da Ásia (região conhecida como Magnésia) apresentava a qualidade de atrair pedaços de ferro. A essas pedras chamou-se magnetita, a qualidade de atrair pedaços de ferro chamou-se magnetismo.

O material que é atraído pelo ímã é chamado de ferromagnético.

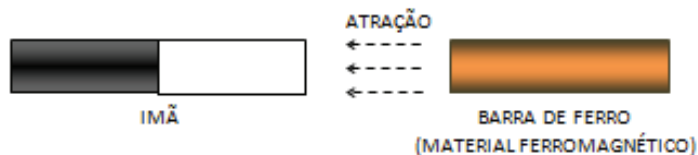


Figura 1 - Imã e material ferromagnético

Fonte: ilustrador

Logo, magnetismo é a qualidade que certos materiais apresentam de atrair pedaços de ferro.

Alguns materiais encontrados livres na natureza, como a magnetita (Fe_3O_4), possuem esta qualidade: são os **ímãs naturais**.



Figura 2 - Magnetita

Fonte: http://eletromagnetismo-brasil.blogspot.com/2009_09_01_archive.html

Ao aproximarmos um imã em forma de barra de um pedaço de ferro, observaremos que o ferro é atraído pelo imã. Quando aproximamos dois ímãs, diferentes situações podem ocorrer: atração ou repulsão. Em função dessa característica foi definido que os ímãs possuem polos em suas extremidades que são chamados de polo norte e polo sul. A atração ocorre quando polos de nomes diferentes são aproximados e a repulsão ocorre quando polos de mesmo nome são aproximados.



Figura 3 - Imã natural e seus polos norte e sul

Fonte: ilustrador

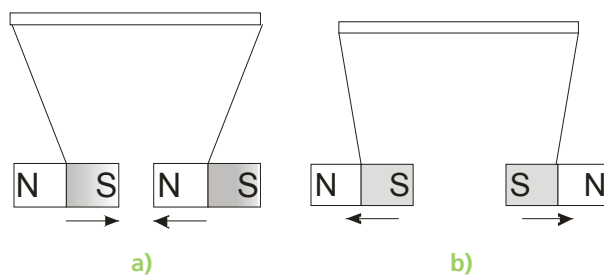


Figura 4 - Ímãs naturais em situações de (a) atração e (b) repulsão respectivamente.

Fonte: ilustrador

Polos iguais se repelem e polos diferentes se atraem.

Após estudar um pouco sobre a questão do magnetismo, vamos nos concentrar em entender o Campo magnético.

1.2 Campo magnético

Quando um material ferromagnético é colocado em uma região próxima de um ímã, ele poderá sofrer influência do ímã (atração). Quando o material ferromagnético sofre influência do ímã, diz-se que ele está na região do campo magnético. Podemos definir campo magnético como a região ao redor do ímã, que ocorre um efeito magnético. Esse efeito magnético pode ser uma atração ou repulsão através de forças magnéticas.

A representação visual de um campo magnético é feito através de linhas de campo magnético que são imaginárias (externas) que saem do polo norte e entram no polo sul. E internamente no ímã essas linhas vão do polo sul em direção ao polo norte. A figura a seguir mostra as linhas de campo magnético.

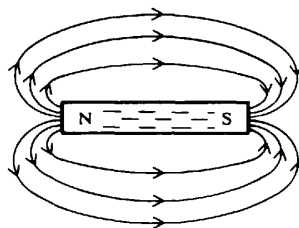


Figura 5 - Representação das linhas de campo magnético

Fonte: ilustrador

Verifique o que você está fixando sobre os conteúdos a partir do exercício proposto abaixo:



- A bússola, equipamento bastante utilizado pelos navegadores para se encontrar direções, foi uma invenção baseada nas propriedades do magnetismo, inventada há, aproximadamente, 2000 anos pelos chineses.

- Os polos de um ímã são inseparáveis, logo quando um ímã é quebrado surgem novos ímãs.



Atividade de Aprendizagem

1. Defina o que é um ímã.
2. O que é um material ferromagnético
3. De acordo com a disponibilidade de material, pegue dois pedaços pequenos de ímã (idênticos aos de geladeira) e uma folha de papel. Coloque um ímã sobre a folha de papel e o outro pedaço irá ser utilizado para movimentar o ímã que está sobre a folha de papel. Você perceberá que o ímã sob a folha movimentará o ímã que está sobre a folha.
4. De acordo com a disponibilidade de material, pegue uma folha de papel sobre um ímã e derrame limalha de ferro cobrindo a região do ímã. Você perceberá que a limalha de ferro irá se distribuir de modo a formar as linhas de campo magnético como na figura 03.

É sempre interessante contextualizarmos nosso conhecimento, principalmente, quando desvendamos a origem das informações que compõem nosso processo de aprendizagem.

1.3 Surgimento do eletromagnetismo

Hans Christian Oersted (1777 - 1851) foi o cientista que em 1820 através de um experimento de física, observou que existia uma relação entre a eletricidade e o magnetismo. Essa descoberta mudou os rumos da eletricidade e do magnetismo.

A figura abaixo mostra o esquema do experimento realizado por Oersted.

Descrição do experimento:

- Coloca-se um fio condutor retilíneo ligado a uma bateria, inicialmente com a chave aberta para que não haja fluxo de corrente elétrica e uma bússola com a agulha paralelamente abaixo do fio, como na figura a seguir.
- Fechando a chave veremos que a agulha da bússola irá girar e invertendo o sentido da corrente (inverte-se a polaridade da fonte) veremos que a agulha irá girar para o sentido oposto.



- Dessa maneira Oersted provou que um fio condutor percorrido por corrente elétrica gera ao seu redor um campo magnético, cujo sentido depende do sentido da corrente.

Oersted concluiu que todo condutor percorrido por uma corrente elétrica, cria ao seu redor um campo eletromagnético.

A conclusão desse experimento dava origem, nesse momento, a área da física conhecida hoje como eletromagnetismo.

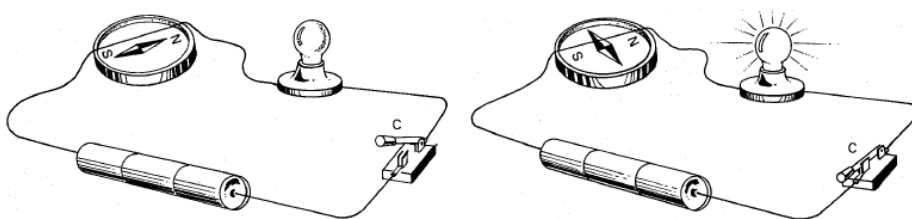


Figura 6 - Esquema da experiência de Oersted que deu início a uma nova área da física

Fonte: ilustrador

Uma das formas de observar os efeitos notados por Oersted em 1820 é colocar uma folha de papel com **limalha** de ferro sendo atravessada por um condutor elétrico. Quando uma corrente elétrica percorrer o condutor, a limalha de ferro irá formar anéis **concêntricos** em torno do condutor destacando, dessa forma, o campo magnético provocado pela corrente no condutor. A figura 7 mostra esquematicamente tal experimento.

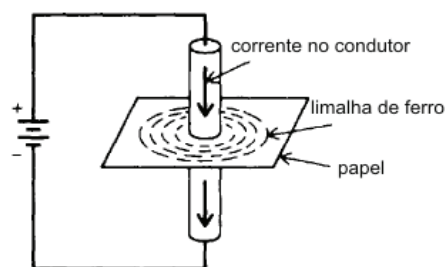


Figura 7 - Representação das linhas de campo magnético provocado por uma corrente elétrica

Fonte: ilustrador

Vale ressaltar que a intensidade do campo magnético depende da **intensidade** da corrente. Ou seja, quando maior for o valor da corrente maior será o campo magnético gerado.



Disponível em: <<http://eletromagnetismoifef.blogspot.com.br/2009/03/hans-christian-oersted.html>>

A-Z

Limalha: o conjunto de partículas metálicas que resulta da fricção de uma lima.

Concêntricos: que tem o mesmo centro; homocêntrico.

A-Z

Intensidade: característica do que é intenso; força, vigor, quantidade definida pela magnitude da força, num ponto de um campo magnético, sentida por uma unidade de um hipotético polo magnético.

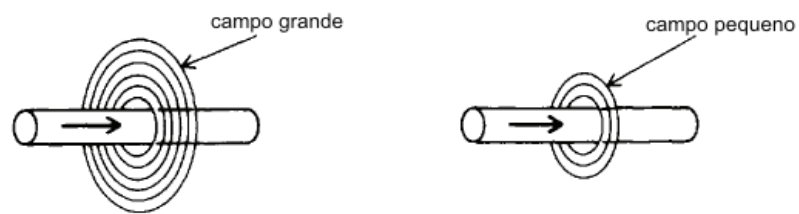


Figura 8 - Campo magnético em função da intensidade da corrente

Fonte: ilustrador

A regra da mão direita de Ampère é usada para a determinação do sentido do campo magnético, de acordo com essa regra, a mão direita deve envolver o condutor ao mesmo tempo que o polegar precisa apontar para o sentido convencional da corrente elétrica, enquanto os outros dedos apontam o sentido das linhas de campo que circundam o condutor, como mostra a figura a seguir.



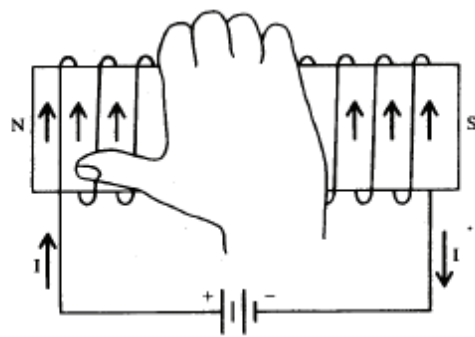
Figura 9 - Determinação do sentido das linhas de campo

Fonte: ilustrador

A-Z

Bobina: rolo de madeira, papelão, plástico ou metal sobre o qual se enrola fio de seda, de linho, de lã ou de qualquer outro material flexível.

Agora vamos imaginar a seguinte situação: vamos pegar um condutor elétrico e dar várias voltas (formando uma bobina) em torno de um núcleo de material ferromagnético (barra de ferro, por exemplo), em seguida, vamos ligar nesse condutor uma fonte de tensão e, conseqüentemente, uma corrente elétrica irá circular pelo condutor. Em torno de cada condutor irá surgir um campo magnético que irá se somar com o campo magnético do condutor junto a ele e, dessa forma, temos o que chamamos de eletroímã. Para a situação do eletroímã, a determinação do sentido do campo magnético é feito através de uma adaptação da regra da mão direita. Nesse caso, os dedos da mão com exceção do polegar devem estar na direção do sentido da corrente na **bobina**, enquanto que o polegar indicará o polo norte do eletroímã (bobina).



Acessando o site abaixo você poderá visualizar o experimento de Oersted.
http://www.walter-fendt.de/ph14br/mfwire_br.htm

Figura 10 - Regra da mão direita para o caso de uma bobina

Fonte: ilustrador

1.4 Indução eletromagnética

O princípio da indução eletromagnética foi descoberta por Michael Faraday, em 1831. De acordo com a descoberta de Faraday, um condutor ao atravessar linhas de campo magnético, ocasiona uma fem (força eletromotriz), ou tensão induzida nos terminais do condutor. Uma observação deve ser feita para que não reste nenhuma dúvida. Somente irá surgir a tensão induzida se houver um movimento relativo entre campo e condutor. Caso o condutor fique parado mesmo imerso em um campo magnético, não ocorrerá a indução de tensão no condutor. Em outras palavras, novas linhas de campo tem que atravessar o condutor para que ocorra indução de tensão.

Em todo condutor enquanto sujeito a uma variação de fluxo magnético é estabelecida uma força eletromotriz (tensão) induzida. Caso o fluxo ou o movimento seja invertido a polaridade da tensão induzida também será invertida.

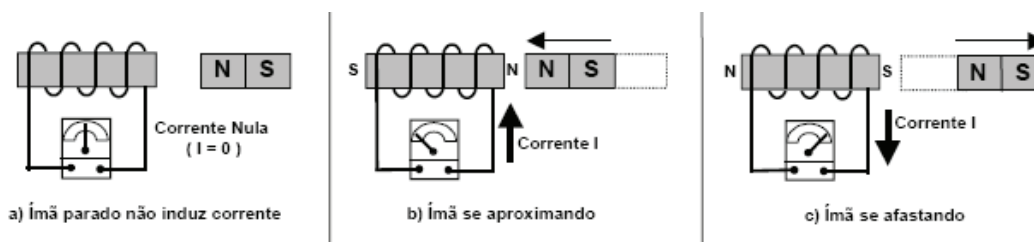


Figura 11 - Indução eletromagnética

Fonte: ilustrador

Pela lei de Faraday a tensão induzida em um circuito é igual ao resultado da taxa de variação do fluxo magnético no tempo e se dá, por meio da divisão da variação do fluxo magnético pelo intervalo de tempo em que acontece, com sinal trocado. Isto quer dizer que maior será a tensão induzida quanto



mais o fluxo variar num intervalo de tempo.

$$e = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Onde: e = força eletromotriz induzida

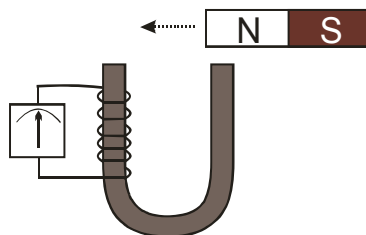
$$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \text{taxa de variação do fluxo magnético}$$

Pela equação acima podemos concluir que quanto maior o movimento do condutor em meio ao campo magnético maior será o valor da tensão. Atualmente os geradores elétricos funcionam baseados na descoberta feita por Faraday.



Atividades de Aprendizagem

1. O ímã da figura a seguir é movimentado conforme a seta. Marque a alternativa que corresponde ao comportamento do ponteiro de medidor de acordo com a interação entre a barra de ferro e o ímã.



- a) enquanto o ímã é mantido em repouso o ponteiro desloca-se para a direita e quando o ímã é retirado o ponteiro desloca-se para a esquerda.
- b) enquanto o ímã é mantido em repouso o ponteiro desloca-se para a esquerda e quando o ímã é retirado o ponteiro desloca-se para a direita.
- c) enquanto o ímã é mantido em repouso o ponteiro permanece em repouso e quando o ímã é retirado o ponteiro movimenta-se.
- d) enquanto o ímã é mantido em repouso o ponteiro desloca-se para a esquerda e quando o ímã é retirado o ponteiro permanece em repouso.



Resumo

Nesta aula trouxemos informações sobre magnetismo e eletromagnetismo. Relatamos que após descobertas realizadas por cientistas, o mundo pôde usufruir de uma gama de aplicações baseadas na utilização desses elementos na geração e transmissão de energia elétrica. A compreensão dessa aula é muito importante para o entendimento das aulas seguintes.

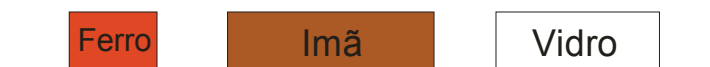
Atividades de Aprendizagem



1. Considere que um ímã em forma de barra seja partido ao meio. Qual das alternativas a seguir é verdadeira:

- a) um novo pedaço de ímã fica com as duas extremidades com polo norte e o outro pedaço fica com duas extremidades com polo sul.
- b) o ímã perde as propriedades magnéticas
- c) em cada novo pedaço de ímã existe um polo norte e um polo sul.
- d) numa metade, temos uma extremidade com polo norte e a outra extremidade sem polo e, na outra metade, temos uma extremidade com polo sul e a outra extremidade sem polo.

2. Considere que as barras abaixo. Marque a alternativa verdadeira.



- a) A barra de ímã atrairá a barra de vidro.
- b) A barra de vidro atrairá a barra o ímã.
- c) A barra de ferro será fortemente atraída pelo ímã.
- d) As barras de vidro e de ferro serão atraídas pelo ímã.

3. Considere que um condutor retilíneo esteja imerso em um campo magnético constante. Explique o que ocorre com o condutor nas seguintes situações no âmbito da indução eletromagnética.

- a) O condutor estiver parado.



b) O Condutor se movimentar em certa direção.

c) O Condutor se movimentar em uma direção contrária a situação anterior.

Concluimos esta aula, por meio dela adquirimos conhecimento necessário para avançar no estudo da Eletricidade. Na próxima aula estudaremos os circuitos de corrente alternada. Para que você possa compreender e avançar em direção ao aprendizado necessário para exercer a função que pretende no mercado de trabalho, o conhecimento adquirido na aula 1 é de fundamental importância. Na próxima aula trataremos de Circuitos de Corrente Alternada.



Aula 2. Circuitos de corrente alternada

Objetivos:

- identificar como um sinal de corrente e tensão alternada é obtido, bem como distinguir os fenômenos eletromagnéticos que estão envolvidos na sua geração;
- reconhecer as características de um sinal senoidal; e
- analisar e interpretar circuitos elétricos em corrente alternada quando na presença de resistores.

Prezado(a) estudante,

Nesta aula iremos estudar algo muito importante para a eletricidade a aplicação do eletromagnetismo para obtenção da energia elétrica. Para isso, é importante que você compreenda como se comportam os componentes elétricos.

Inicialmente precisamos definir e aprender como um sinal alternado é gerado.

Sinal alternado é aquele que varia de polaridade e amplitude ao longo do tempo. Um sinal alternado pode ser de diversas formas tais como: quadrado, triangular, senoidal, etc. No caso de eletricidade estaremos interessados nos sinais senoidais que são os que ocorrem graças aos geradores elétricos que produzem a energia que consumimos em nossa residência, indústria, etc.

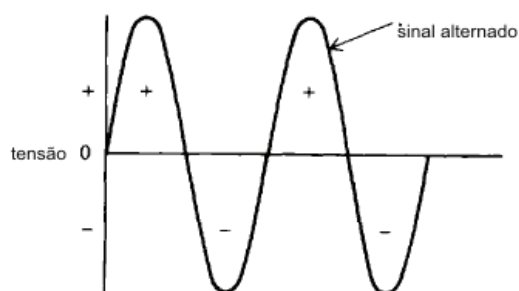


Figura 12 - Forma de onda de uma tensão alternada

Fonte: ilustrador



A-Z

Espira: fio condutor dobrado em forma de círculo ou retângulo como no caso da ilustração a seguir

2.1 Geração de um sinal senoidal

Para exemplificar a geração de um sinal senoidal idêntico ao da figura 10, vamos considerar uma **espira** imersa em um campo magnético como mostrado na ilustração a seguir. Essa espira irá girar no sentido mostrado. A equação a seguir para o fluxo magnético também nos auxiliará no entendimento da geração do sinal senoidal.

Agora, acompanhando a Figura 13, temos: em A os condutores a e b estão se movimentando paralelamente ao fluxo magnético. Como nenhuma linha de fluxo é cortada temos $\theta = 0^\circ = 180^\circ$, nenhuma tensão ou corrente é induzida.

Entre as posições A e B, conforme Guimarães Couto (s.d.), o movimento dos condutores já corta as linhas de fluxo magnético em um determinado ângulo θ ($0 < \theta < 90^\circ$) e uma tensão é induzida e proporciona uma corrente induzida com o sentido indicado, dado pela regra da mão direita.

Em B o movimento dos condutores corta as linhas de fluxo perpendicularmente (ângulo de 90°) e a variação do fluxo é máxima. A tensão induzida é máxima e, portanto, há o pico de corrente induzida.

Entre B e C, o movimento dos condutores corta as linhas de fluxo magnético em um determinado ângulo e uma tensão menor é induzida. Como o ângulo é complementar a θ a tensão induzida é igual ao intervalo entre A e B.

Em C os condutores a e b estão novamente se movimentando paralelamente ao fluxo magnético (com sentidos opostos) e nenhuma tensão ou corrente é induzida.



Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAIGUAD/apostila-corrente-alternada-v3?part=2>>

Neste ponto, a primeira meia volta da espira produziu a forma de onda de corrente induzida apresentada na figura 11. O eixo vertical indica a intensidade da corrente (ou da tensão) induzida em cada instante. O eixo horizontal indica os instantes de tempo ou o ângulo do movimento da espira no campo magnético.

$$\Phi = B \cdot A \cdot \text{sen}\theta$$

Onde:

$$\Phi = \text{fluxo magnético}$$

$$B = \text{intensidade do campo magnético}$$



$A = \text{área do condutor}$

$\theta = \text{ângulo de incidência do fluxo no condutor}$

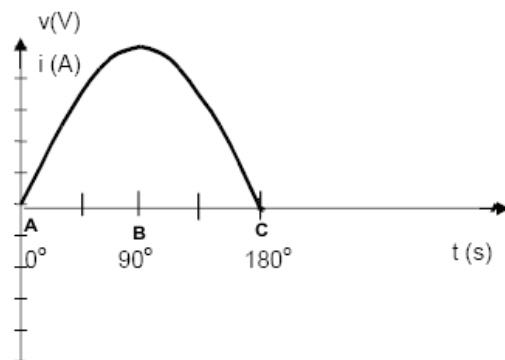


Figura 13 - Primeiro semiciclo (positivo) do sinal senoidal gerado

Fonte: ilustrador

De maneira semelhante o semiciclo seguinte (negativo) é gerado dando origem ao sinal senoidal completo como o da figura 10.

2.1.1 Análise gráfica e matemática do sinal senoidal

Um sinal senoidal quando representado, graficamente, apresenta algumas características que são importantes e bastante utilizadas em cálculos de circuitos elétricos.

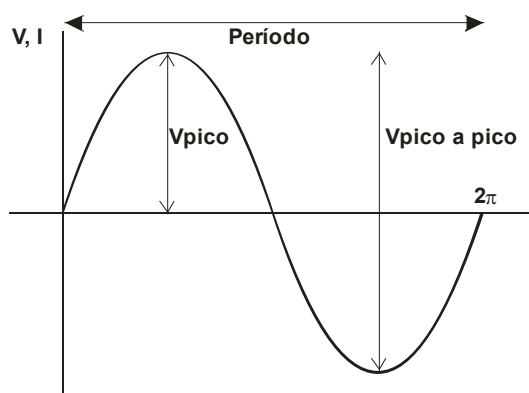


Figura 14 - Representação de um sinal senoidal

Fonte: ilustrador

2.1.2 Valor de pico e de pico a pico

A amplitude máxima positiva ou negativa que o sinal alcança é chamada de valor de pico (V_p) enquanto que a amplitude total entre o valor de pico



positivo e o valor de pico negativo é chamado de valor de pico a pico (V_{pp}).

$$V_{pp} = 2 \cdot V_p$$

2.1.3 Período e frequência

O tempo que a função necessita para completar um ciclo é chamado de período (T) e o número de vezes que um ciclo se repete por segundo é chamado de frequência (f), sendo que a relação entre eles é dada através da equação:

$$f = \frac{1}{T}$$

Onde:

f = frequência (Hz)

T = período (s)

2.1.4 Representação matemática

Matematicamente, os gráficos da tensão senoidal nos domínios temporal e angular podem ser representados da seguinte forma:

$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(wt) \text{ e } v(\theta) = V_p \cdot \text{sen}(\theta)$$

Onde:

$v(t)$ ou $v(\theta)$ = tensão no instante t (s) ou no ângulo .

V_p = tensão de pico.

w = frequência (rd/s).

θ = ângulo (em rd, radianos).

2.1.5 Frequência angular

A frequência angular ou velocidade angular corresponde a variação do ângulo em função do tempo.

$$\theta = wt$$

$$\theta = 2\pi$$

$$w = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$



2.1.6 Valor eficaz ou valor RMS (*root mean square*)

Conforme Goreti dos Santos (s.d.) o valor eficaz de uma função representa a capacidade de produção de trabalho efetivo de uma grandeza variável no tempo entre as excursões positivas e negativas de uma função.

Matematicamente, o valor eficaz de uma função discreta é sua média quadrática, dada pela raiz quadrada do somatório dos quadrados dos valores dos eventos dividido pelo número de eventos .

$$V_{ef} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i)^2}{n}}$$

Para nosso estudo precisamos entender o significado físico do valor eficaz.

O valor da tensão eficaz ou da corrente eficaz é o valor produzido numa resistência, o mesmo efeito que uma tensão/corrente contínua constante desse mesmo valor.

E o porquê da importância do valor eficaz para a eletricidade? Bem, uma aplicação desse valor eficaz no dia a dia de um eletricista está no momento em que o profissional vai fazer uma leitura de tensão com seu **voltímetro**. Apesar da tensão na tomada ser alternada, o valor mostrado tanto em um voltímetro analógico como digital é fixo e não variante no tempo. Por quê? Isso ocorre porque o valor mostrado pelos voltímetros é justamente o valor eficaz.

A relação entre valor eficaz e valor de pico é dada pela seguinte equação:

$$V_p = \sqrt{2} V_{ef}$$

$$V_{ef} = 0,707 V_p \quad \text{ou} \quad V_{ef} = 70,7\% V_p$$

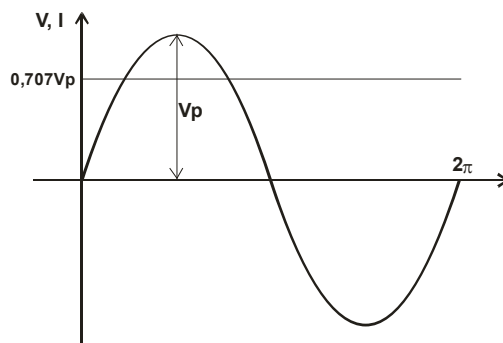


Figura 15 - Representação gráfica do valor eficaz

Fonte: ilustrador



Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMIIAE/eletricidade-basica?part=7>>

A-Z

Voltímetro: aparelho utilizado para medir tensão elétrica



2.1.7 Fase Inicial

Nos circuitos elétricos nem sempre um sinal senoidal inicia o seu ciclo no instante $t = 0$ s. Quando isso não ocorre dizemos que o sinal possui uma fase inicial θ_0 e a representação matemática do sinal com fase inicial fica da seguinte forma.

$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(wt + \theta_0)$$

O valor de θ_0 pode ser positivo (sinal adiantado) ou negativo (sinal atrasado).

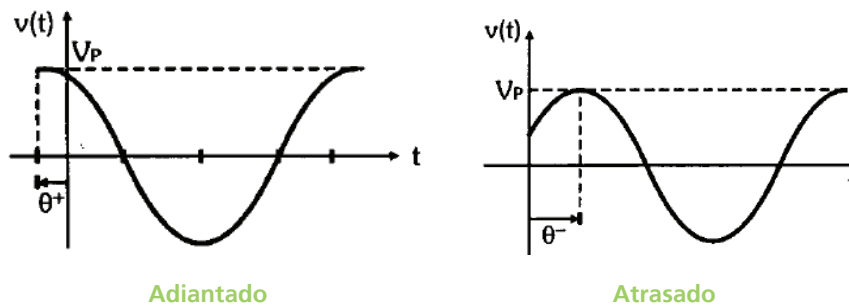


Figura 16 - Sinais alternados senoidais adiantado e atrasado

Fonte: ilustrador



Essa característica de sinal atrasado e adiantado será importante em estudos dos tópicos seguintes quando analisarmos circuitos indutivos e capacitivos em corrente alternada.

Vamos continuar nossos estudos? Agora iremos tomar contato com o assunto: circuitos em corrente alternada.

2.2 Circuitos em corrente alternada

Nesta etapa da aula estudaremos os circuitos elétricos dentre eles o resistor, indutor e capacitor que são os dispositivos encontrados de maneira mais comum nos diversos equipamentos elétricos e circuitos elétricos.

2.2.1 Circuitos resistivos em corrente alternada (C.A.)

Quando uma resistência elétrica é submetida a uma tensão alternada, uma corrente alternada é produzida com a mesma forma de onda, mesma frequência e mesma fase de tensão. A amplitude dependerá dos valores da tensão aplicada e do valor do resistor, obedecendo a lei de Ohm.



Lei de Ohm: a diferença de potencial (V) entre os terminais de uma resistência elétrica é proporcional à corrente elétrica que percorre a resistência. A Lei de Ohm pode ser representada pela equação $V=RI$, onde V é a tensão, R o valor da resistência em ohms e I a corrente elétrica.

Quando essa lei é verdadeira para um determinado resistor, este recebe o nome de resistor ôhmico ou linear. A resistência de um dispositivo condutor é dada pela seguinte fórmula:

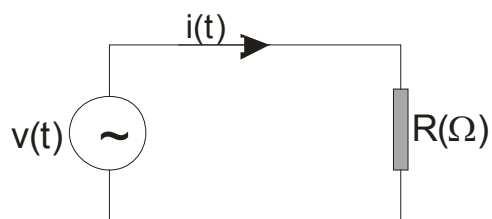


Figura 17 - Circuito C.A resistivo

Fonte: ilustrador

Sendo:

$$v(t) = V_p \cdot \text{sen}(wt + \theta_0)$$

Pela Lei de Ohm temos que:

$$i(t) = \frac{v(t)}{R} = \frac{V_p}{R} \cdot \text{sen}(wt + \theta_0)$$

$$i(t) = I_p \cdot \text{sen}(wt + \theta_0)$$

$$I_p = \frac{V_p}{R}$$

Sendo θ_0 = o ângulo de fase inicial caso o sinal o possua.

Podemos observar pelas equações matemáticas da tensão e da corrente que ambas estão em fase, ou seja, passam pelos pontos zero, máximo e mínimo ao mesmo tempo, apresentando uma diferença somente na amplitude do sinal. A figura a seguir mostra a forma de onda da tensão e da corrente.

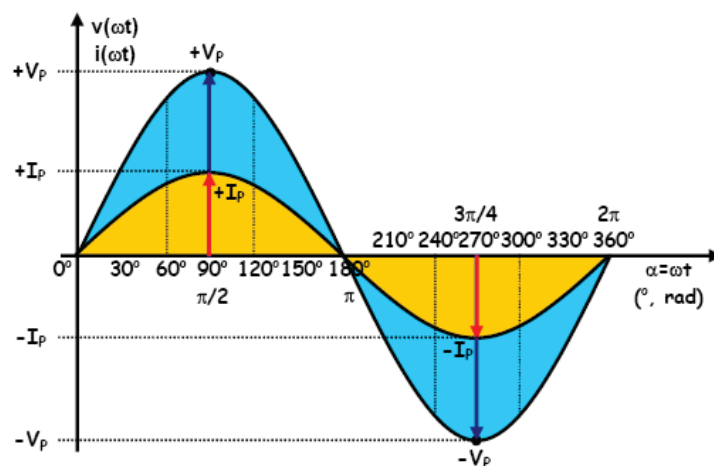


Figura 18 - Representação da tensão e corrente em fase para um circuito resistivo

Fonte: ilustrador

Pode-se observar que o resistor não provoca nenhuma defasagem entre os sinais de tensão e corrente; e a resistência pode ser representada na forma polar como um módulo que é o próprio valor da resistência e uma fase nula ou pode ser apresentada ainda na forma complexa como a seguir.

$$R = R \angle 0^\circ = R$$

$$R = R + j0 = R$$

Aplicando a Lei de Ohm temos que:

$$v = V_p \angle \theta_0$$

$$R = R \angle 0^\circ$$

$$i = \frac{v}{R} = \frac{V_p}{R} = I_p \angle (\theta_0 - 0) = I_p \angle \theta_0$$

A potência instantânea dissipada $p(t)$ por uma resistência elétrica R pode ser calculada pelo produto ponto a ponto entre a tensão e corrente ou em função de R de acordo com as equações a seguir.

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \text{ ou } p(t) = R \cdot i^2(t) \text{ ou } p(t) = \frac{v^2(t)}{R}$$

Analisando as equações acima, observa-se que a potência será pulsante positiva como mostrado na figura a seguir. Onde o valor de pico da potência instantânea é o produto dos valores de pico da tensão e da corrente.



$$P_P = V_P \cdot I_P$$

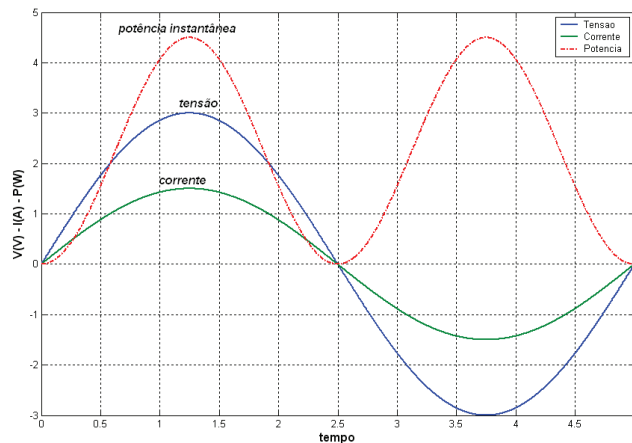


Figura 19 - Tensão, corrente e potência instantânea

Fonte: ilustrador

Os valores médios da tensão e corrente são nulos, porém a potência média é dada pela equação a seguir.

$$P_{\text{média}} = \frac{P_P}{2} = \frac{V_P \cdot I_P}{2}$$

Resumo

Nesta aula demos prosseguimento ao estudo da eletricidade entrando no âmbito dos circuitos elétricos e estudando o comportamento de um circuito CA puramente resistivo. Agora você já pode reconhecer as características de um sinal senoidal, bem como, informações necessárias para análise e interpretação de circuitos elétricos em corrente alternada quando estes se encontram na presença de resistores.

Atividade de Aprendizagem

1. O gráfico a seguir mostra a forma de onda de um sinal de tensão alternada. Determine os seguintes parâmetros:



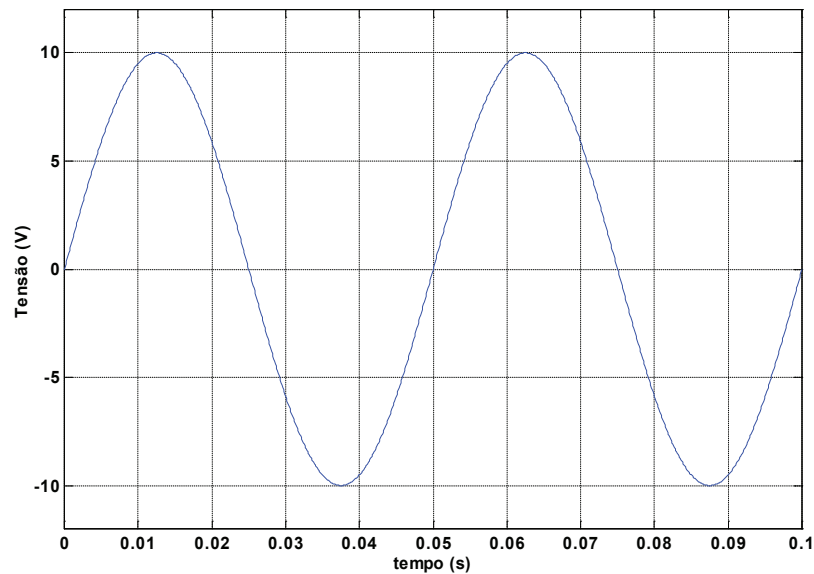
a) O valor de pico: _____

b) O período: _____



c) O valor eficaz da tensão: _____

d) A frequência do sinal de tensão: _____



2. Explique como um sinal senoidal é obtido a partir do eletromagnetismo.

3. Relate o que vem a ser o valor de pico, pico a pico e valor eficaz.

4. Escreva um texto expondo o comportamento da tensão e corrente quando o circuito é puramente resistivo.

Nesta aula demos prosseguimento ao estudo da eletricidade, se você tem dúvidas faça uma revisão de tudo que vimos até aqui. Não se esqueça de fazer as atividades de aprendizagem. Saiba que ao final deste caderno há um guia de soluções com a sugestão de respostas para todas as atividades de aprendizagem propostas durante as aulas. O próximo assunto que iremos analisar refere-se ao capacitor e indutor em corrente alternada. Não perca!

Aula 3. Circuito com indutor e capacitor em corrente alternada (C.A.)

Objetivos:

- analisar e interpretar circuitos elétricos em corrente alternada quando na presença de capacitores e indutores;
- identificar as reatâncias indutivas e capacitivas e a impedância complexa; e
- reconhecer o fator de potência.

Caro(a) estudante,

Nesta aula iremos dar continuidade na análise de circuitos em corrente alternada sendo que iremos verificar o comportamento quando da presença de uma carga capacitiva e indutiva.

3.1 Circuito com indutor em C.A.

É importante você compreender que o indutor é um elemento passivo com possibilidade de armazenamento de energia em formato de campo magnético, quando uma corrente o percorre. A autoindução é outra característica do indutor. Isto significa que no momento que a corrente passa pelo indutor está variando, também varia o fluxo magnético provocado pela corrente e assim induz nos terminais uma força eletromotriz (tensão).

Fisicamente, um indutor é uma bobina.

Vamos analisar o circuito da figura 20 a seguir.

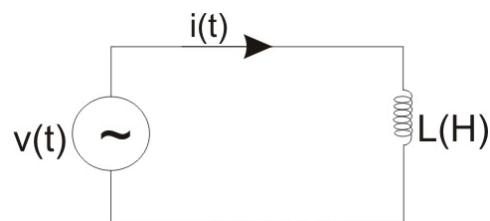


Figura 20 - Indutor alimentado por uma tensão alternada senoidal

Fonte: ilustrador

O indutor quando presente no circuito de C.A. provoca o efeito de uma oposição a passagem da corrente através do que chamamos de reatância indutiva.

Ao analisarmos as curvas das tensões e correntes no indutor verificamos que quando a tensão está passando pelo zero a corrente no indutor é máxima e quando a tensão é máxima a corrente no indutor é nula. Logo existe uma defasagem de 90° entre os sinais de tensão e corrente. E a corrente está atrasada em relação a tensão.

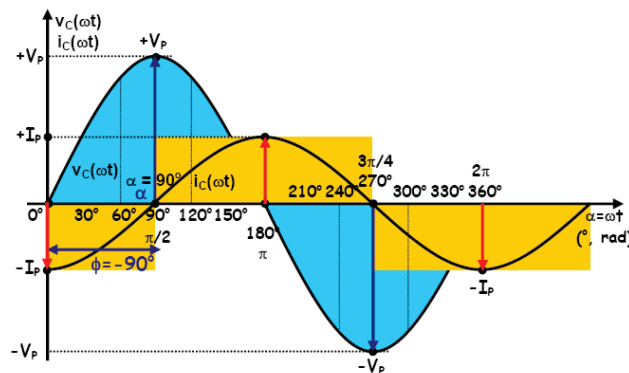


Figura 21 - Representação da tensão e corrente em fase para um circuito indutivo

Fonte: ilustrador

Vamos analisar a Lei de Ohm levando em consideração a defasagem entre a tensão e corrente para o circuito puramente indutivo.

$$v_L = V_p \text{sen}(\omega t) \quad \dot{V}_L = V_p \angle 0^\circ$$

$$i_L = I_p \text{sen}(\omega t - 90^\circ) \quad \dot{I}_L = I_p \angle -90^\circ$$

Aplicando a Lei de Ohm pode-se calcular a reatância indutiva que provoca a oposição a passagem da corrente no circuito C. A. puramente indutivo.

$$\dot{X}_L = \frac{\dot{V}_L}{\dot{I}_L} = \frac{V_p \angle 0^\circ}{I_p \angle -90^\circ} = X_L \angle 90^\circ (\Omega)$$



Onde o valor da reatância indutiva pode ser calculado através da seguinte equação:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

Onde:

f = frequência do sinal em Hz

L = indutância em Henry (H)

ω = frequência angular (rd/s)

Podemos representar a reatância indutiva na sua forma complexa.

$$X_L = jX_L$$

Ou seja, a reatância indutiva apresenta uma defasagem de 90° ou somente parte imaginária na forma cartesiana.

Outras observações podem ser feitas sobre as equações acima:

- Em corrente contínua constante a frequência é nula ($f = 0\text{Hz}$) e a reatância indutiva também é nula ($X_L = 0\Omega$) e o indutor se comporta como um curto-circuito.
- Em corrente alternada, quando a frequência tende a um valor muito alto ($f \rightarrow \infty$), a reatância indutiva também aumenta muito ($X_L \rightarrow \infty\Omega$) e o indutor se comporta como um circuito aberto.

Pelo gráfico da potência instantânea, podemos observar que a potência média é nula, pois ora a potência é positiva, ora é negativa. Ou seja, não ocorre dissipação de energia.

Quando a potência é positiva o indutor está recebendo energia do gerador (fonte) e armazenando na forma de campo magnético.

Quando a potência é negativa, o indutor passa a se comportar como gerador e devolve a energia armazenada para o circuito.



Como ocorre continuamente a troca de energia entre o circuito e o indutor, não ocorre a dissipação (perdas) de potência.

Podemos calcular a perda (potência ativa) através da equação a seguir:

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi$$

como $\phi = 90^\circ$ (defasagem entre tensão e corrente)

$$\cos(90^\circ) = 0$$

$$P = 0 \text{ W}$$

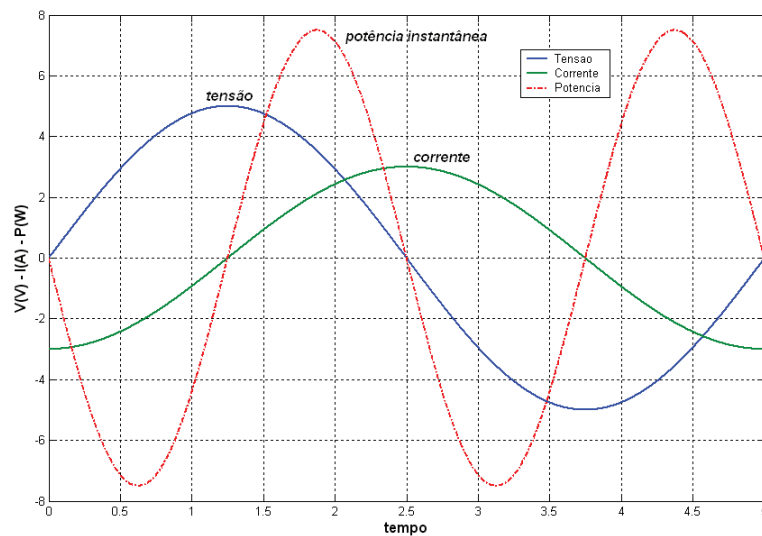


Figura 22 - Potência num indutor ideal

Fonte: ilustrador

Prossiga com seus estudos, agora entenderemos um pouco mais sobre circuitos com capacitor em Corrente Alternada (C.A.).

3.2 Circuito com capacitor em C.A.

O capacitor é um elemento que possui a capacidade de armazenar energia elétrica (cargas elétricas), consiste, basicamente, de duas placas metálicas paralelas separadas por um dielétrico.

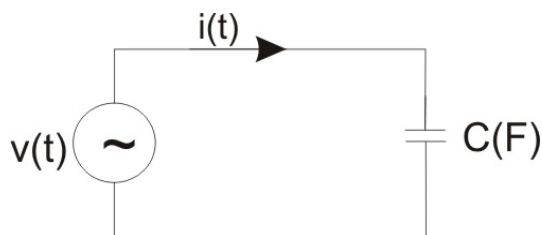


Figura 23 - Capacitor alimentado por uma tensão alternada senoidal

Fonte: ilustrador

Quando uma tensão senoidal é aplicada a um capacitor a corrente fica adiantada de 90° em relação a tensão, como podemos observar na figura a seguir.

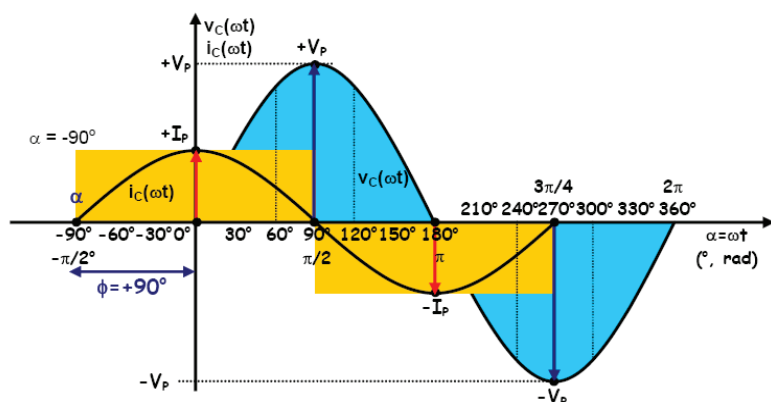


Figura 24 - Representação da tensão e corrente em fase para um circuito capacitivo

Fonte: ilustrador

Se aplicarmos uma tensão senoidal a um capacitor, como mostra a figura 19, constataremos que a corrente assume seus valores máximos, quando a tensão for crescente. A corrente é nula quando a tensão for máxima. Podemos concluir, a partir dessas observações, que a corrente resultante no capacitor é também senoidal e mostra uma defasagem de 90° em relação à tensão como indica a figura 19. A defasagem no caso é positiva, ou seja, a corrente está adiantada da tensão.

Vamos analisar a Lei de Ohm levando em consideração a defasagem entre a tensão e corrente para o circuito puramente capacitivo.

$$v_C = V_p \text{sen}(\omega t) \quad \dot{V}_C = V_p \angle 0^\circ$$

$$i_C = I_p \text{sen}(\omega t + 90^\circ) \quad \dot{I}_C = I_p \angle 90^\circ$$



Aplicando a Lei de Ohm pode-se calcular a reatância capacitiva que provoca a oposição a passagem da corrente no circuito C. A. puramente capacitivo.

$$\dot{X}_C = \frac{\dot{V}_C}{\dot{I}_C} = \frac{V_p \angle 0^\circ}{I_p \angle 90^\circ} = X_C \angle -90^\circ (\Omega)$$

Onde o valor da reatância capacitiva pode ser calculado através da seguinte equação:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

Onde:

f = frequência do sinal em Hz

C = capacitância em Faraday (F)

ω = frequência angular (rd/s)

Podemos representar a reatância indutiva na sua forma complexa.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \angle -90^\circ = -j \frac{1}{\omega C}$$

Ou seja, a reatância capacitiva apresenta uma defasagem de -90° ou somente parte imaginária na forma cartesiana.

Outras observações podem ser feitas sobre as equações acima:

- Em corrente contínua constante a frequência é nula ($f = 0\text{Hz}$) e a reatância capacitiva tende para um valor infinito ($X_C = \infty$) e o capacitor se comporta como um circuito-aberto.
- Em corrente alternada, quando a frequência tende a um valor muito alto ($f \rightarrow \infty$), a reatância Capacitiva tende para zero ($X_C \rightarrow 0$) e o capacitor se comporta como um curto-circuito.

Pelo gráfico da potência instantânea, podemos observar que a potência média é nula, pois ora a potência é positiva, ora é negativa. Ou seja, não ocorre

dissipação de energia.

Quando a potência é positiva o capacitor está recebendo energia do gerador (fonte) e armazenando na forma de campo elétrico.

Quando a potência é negativa, o capacitor passa a se comportar como gerador e devolve a energia armazenada anteriormente para o circuito.

Como ocorre continuamente a troca de energia entre o circuito e o capacitor, não ocorre a dissipação (perdas) de potência.

Podemos calcular a perda (potência ativa) através da equação a seguir:

$$P = V_{rms} I_{rms} \cos \phi$$

como $\phi = -90^\circ$ (defasagem entre tensão e corrente)

$$\cos(-90^\circ) = 0$$

$$P = 0 \text{ W}$$

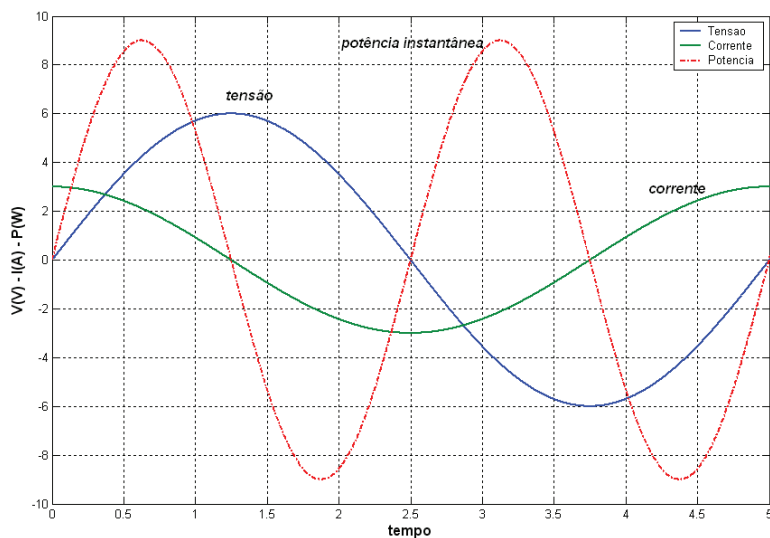


Figura 25 - Potência num capacitor

Fonte: ilustrador



3.3 Impedância complexa

Até o presente momento fizemos análises de circuitos em C.A. considerando somente cargas puramente resistivas, indutivas e capacitivas. Porém, os sistemas de energia elétrica apresentam na maioria das vezes uma parcela da carga resistiva associada com uma parcela reativa (indutores e/ou capacitores). Portanto devemos fazer a análise para tais situações.

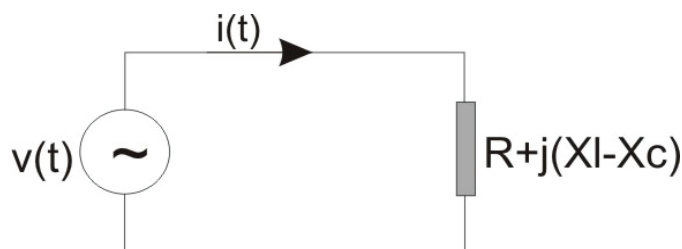


Figura 26 - Circuito RLC

Fonte: ilustrador

Para o circuito RLC acima, a relação entre a tensão e corrente é dada pela **impedância** complexa Z .

$$Z = \frac{v}{i} (\Omega)$$

Conforme Mussoi (s.d), a impedância Z , dada pela relação entre tensão e corrente num circuito misto, representa a medida da oposição que este circuito oferece à passagem de uma corrente alternada.

Como V e I são números complexos, a impedância Z é também um número complexo.

Uma impedância pode ser:

- um número real ($Z = R$) quando no circuito estiver presente somente uma resistência,
- um complexo imaginário puro ($Z = jX_L$ ou $Z = -jX_C$) para circuitos puramente indutivos ou capacitivos. Nesse caso a fase de Z seria 90° e -90° respectivamente.
- Um número complexo ($Z = R \pm jX$), onde X será positivo se a parcela reativa for predominantemente indutiva ($X_L > X_C$) ou negativa se a par-



cela reativa for predominantemente capacitiva ($X_L < X_C$). Uma vez que a reatância é dada pela seguinte equação:

$$X = X_L - X_C$$

A impedância, portanto, pode ser representada na sua forma complexa ou polar.

$$Z = R + jX \text{ (forma complexa)}$$

$$Z = |Z| \angle \phi \text{ (forma polar)}$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X^2}$$

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right)$$

Como pela lei de ohm temos que

$$Z = \frac{\dot{V}}{\dot{I}} = Z \angle \phi$$

O ângulo ϕ determina a defasagem entre o sinal de tensão e corrente e esse valor representa o ângulo do fator de potência.

$$\cos \phi = \text{fator de potência}$$

O que você está achando do conteúdo visto até aqui? Ainda temos mais estudo pela frente nesta aula. Vamos continuar? Iremos ver agora, potências em circuito C. A.

3.4 Potências em circuito C.A.

Em um sistema de energia elétrico existem dois tipos de energia: ativa (P) e reativa (Q).

A potência ativa (potência útil, real, efetiva) é aquela que realmente produz trabalho elétrico quando é transformada em outra forma de energia como nos equipamentos de aquecimento (energia térmica) ou transferida ao eixo



do motor sob forma de energia mecânica. A unidade da potência ativa é o watt (W) e pode ser calculada pela equação a seguir:

$$P = V_{ef} I_{ef} \cos \phi \text{ (W)}$$

A potência reativa é aquela que está associada aos elementos indutivos e capacitivos. Ela circula pelos condutores sendo absorvida e devolvida sem produzir trabalho elétrico. A unidade da potência reativa é o Volt-ampère reativo (VAr) e pode ser calculada da seguinte forma:

$$Q = V_{ef} I_{ef} \sin \phi \text{ (VAr)}$$

3.5 Potência aparente (S)

Definimos Potência Aparente S como o simples produto da tensão eficaz pela corrente eficaz numa impedância genérica. A unidade da potência aparente é o Volt-Ampère (VA) sendo calculada pela equação a seguir.

$$S = V_{ef} \cdot I_{ef} \text{ (VA)}$$

De modo geral os equipamentos elétricos têm suas especificações em potência aparente (VA ou kVA) e não em Watts (W). Quando se sabe a especificação de potência a aparente e a de tensão eficaz é possível determinar a especificação de corrente eficaz máxima.

As potências podem ser representadas pelo triângulo de potência a seguir.

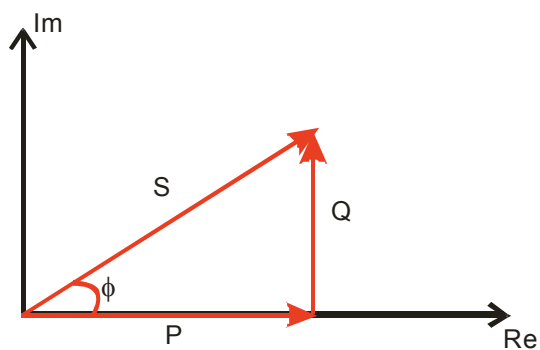


Figura 27 - Triângulo das potências

Fonte: ilustrador



Onde:

$$S = P + jQ$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$P = S \cdot \cos\phi$$

$$Q = S \cdot \sin\phi$$

3.6 Fator de potência

Por definição, o fator de potência é dado por:

$$FP = \cos\phi = \frac{P}{S}$$

a) Em circuitos puramente resistivos, não há defasamento entre a tensão e a corrente ($\phi = 0 \rightarrow \cos\phi = 1$)

$$P = VI\cos\phi = VI = S, \text{ logo } P = S$$

b) Em circuitos com reatâncias temos $\cos\phi < 1$

$$P = VI\cos\phi$$

$$S = VI$$

$$P < S$$

1) Quando o fator de potência é inferior a unidade, existe um consumo de energia elétrica não medido pelo wattímetro. Este consumo extra é gasto nos fenômenos de indução magnética. Um baixo fator de potência indica que você não está utilizando plenamente a energia paga. Veja um exemplo: Se o fator de potência está em 80% a rede está aproveitando 80% da energia fornecida pela concessionária. Isto quer dizer que 20% da energia é “desperdiçada”.





2) Valores típicos de fator de potência

EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	F.P
Lâmpada Incandescente	1,00
Lâmpada Fluorescente (alto fator de potência)	0,90
Lâmpada Fluorescente (baixo fator de potência)	0,50
Motores Elétricos Trifásicos (1 a 4 CV)	0,75
Motores Elétricos Trifásicos (5 a 50 CV)	0,85
Motores Elétricos Trifásicos (> 50 CV)	0,90

3) Em instalações elétricas de baixo fator de potência, consegue-se corrigir através da instalação de bancos de capacitores (correção de fator de potência). A instalação de banco de capacitores para correção do fator de potência da instalação deve ser feita após estudo por profissional qualificado.

Resumo

Nesta aula demos seguimento ao estudo dos circuitos de corrente alternada e a relação das grandezas elétricas existente em circuitos deste tipo. Demonstramos o comportamento envolvendo cargas capacitivas e indutivas. Nestas cargas, analisamos o comportamento e a relação entre as grandezas elétricas, diferenciando as formas de potências envolvidas. Apontamos, também, o fator de potência e a importância em corrigi-lo em algumas instalações. Os conhecimentos vistos nesta aula são muito importantes para os estudantes da área da indústria.



Atividade de Aprendizagem

1. Calcule a reatância indutiva X_L sabendo que a frequência do sinal é igual a 50 Hz e o valor da indutância é igual a 100 H.
2. Explique o fator de potência.
3. Para uma instalação com baixo fator de potência o que deve ser feito para solucionar o problema?
4. Demonstre o comportamento da tensão e corrente em circuitos de corrente alternada com indutor e capacitor.
5. Exponha as diferenças entre resistência, reatância indutiva e reatância capacitiva?
6. Analise as equações da resistência, reatância indutiva e capacitiva. Qual



a importância da frequência nessas grandezas elétricas? O que ocorre com cada uma delas quando a frequência aumenta ou diminui o seu valor?

7. Conceitue impedância elétrica.

Após mais uma aula, você está agregando informações que lhe permitirão seguir em frente. Já estamos no meio da caminhada que vai levá-lo a concluir mais uma disciplina. Vamos prosseguir? Ao trabalho!





Aula 4. Sistemas trifásicos

Objetivos:

- analisar e interpretar circuitos elétricos em corrente alternada trifásicos; e
- identificar a geração das correntes e tensões trifásicas e os principais tipos de ligações em sistemas trifásicos.

Prezado(a) estudante,

Nesta aula iremos dar continuidade a análise de circuitos em corrente alternada, porém agora em sistemas trifásicos. Preparados para continuar? Vamos ao trabalho!

Os sistemas polifásicos envolvem a maior parte da geração, transmissão e utilização em alta potência da energia elétrica, ou seja, são sistemas que disponibilizam diversas fontes da mesma amplitude apresentando uma diferença de fase entre elas. Três fontes de tensões iguais defasadas 120 graus uma da outra constituem uma fonte trifásica. As figuras a seguir mostram o esquema de um gerador trifásico com as tensões produzidas.

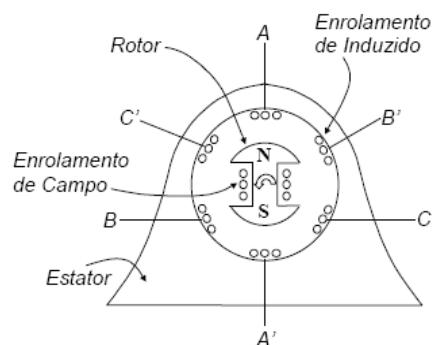


Figura 28 - Esquema de um gerador trifásico

Fonte: ilustrador

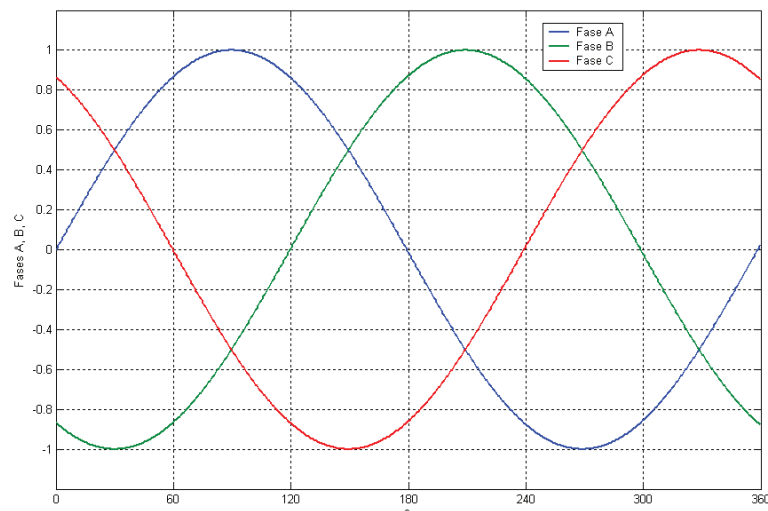


Figura 29 - Tensões trifásicas defasadas de 120°

Fonte: ilustrador

Supondo o rotor girando com 3600 rpm ($f = 60$ Hz)1 seu campo magnético corta os rolamentos do induzido, induzindo neles as tensões senoidais ilustrados na figura 28. Estas tensões atingem seus valores máximos e mínimos com uma distância de 1/3 de um período, ou seja, com uma defasagem de 120°, isto devido ao deslocamento espacial de 120° dos enrolamentos do induzido. Como resultado, visto que as bobinas são iguais (mesma seção e mesmo número de espiras), o alternador produz 3 tensões de mesmo valor eficaz com uma defasagem de 120° entre elas. Normalmente as tensões nos terminais dos geradores das grandes usinas é de 13,8 kV.

A representação matemática das tensões é feita da seguinte forma.

$$v_A = V_p \text{sen}(wt) \quad v_A = V_p \angle 0^\circ = V_p$$

$$v_B = V_p \text{sen}(wt - 120^\circ) \quad v_B = V_p \angle -120^\circ = V_p \cdot \left(-\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

$$v_C = V_p \text{sen}(wt - 240^\circ) \quad v_C = V_p \cdot \left(-\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2} \right)$$

O diagrama fasorial das tensões é mostrado na figura 30.

Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAm-MAE/eletrotecnica>>

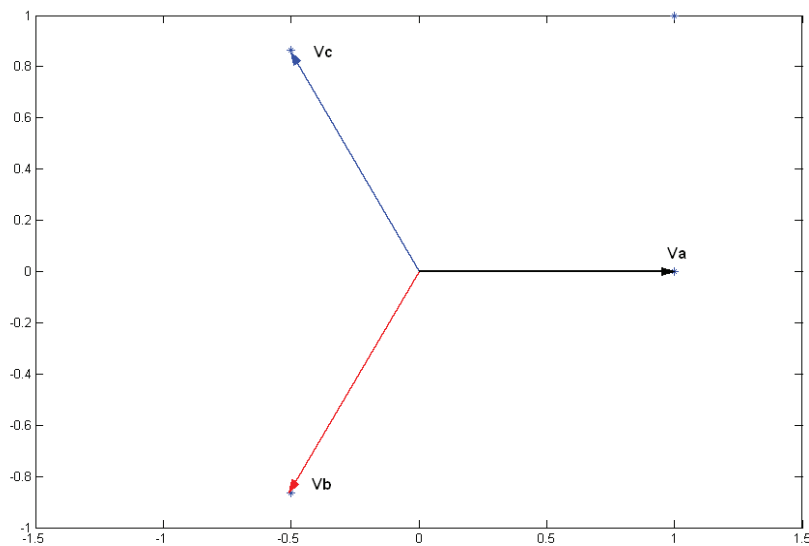


Figura 30 - Diagrama fasorial das tensões trifásicas

Fonte: ilustrador

Conforme informações constantes no mesmo *site* acima referenciado, as razões que levam a preferência pelo sistema trifásico são:

- Permite transmissão de potência de forma mais econômica.
- Em sistemas trifásicos o módulo do campo girante total é constante, o que não ocorre em outros sistemas polifásicos (todos os sistemas polifásicos com $n \times 3$ fases apresentam esta característica, mas com $n > 1$ estes sistemas não são interessantes economicamente).
- A potência $p(t)$ é constante (no monofásico é pulsante):

Em sistemas trifásicos as três fases podem ser ligadas de duas formas diferentes.

Ligações em Estrela, também chamada ligação Y ou ligação em triângulo também chamada de delta (Δ).

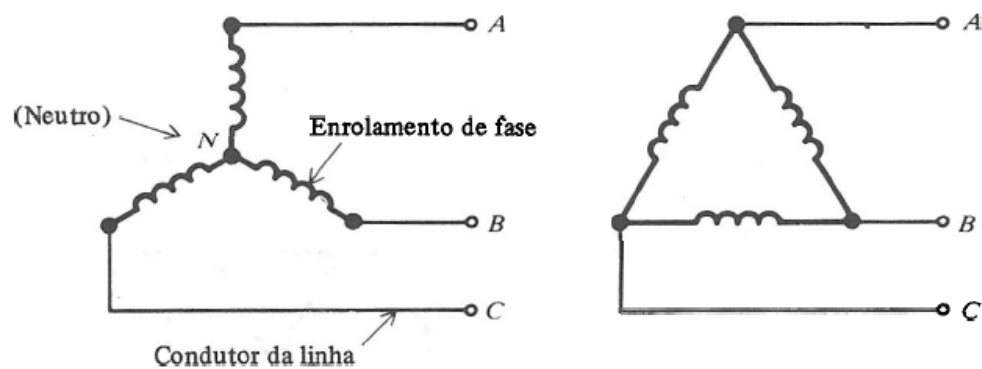


Figura 31 - Ligações para sistemas trifásicos

Fonte: ilustrador

Dessa forma podemos ter tanto o gerador quanto a carga com ligações Y e/ou Δ . De acordo como gerador e a carga estão ligados teremos algumas relações para tensões e correntes do sistema.

4.1 Ligação estrela ou Y

Na ligação em Y os três terminais (a, b, c) estão conectados a um terminal comum chamado de neutro.

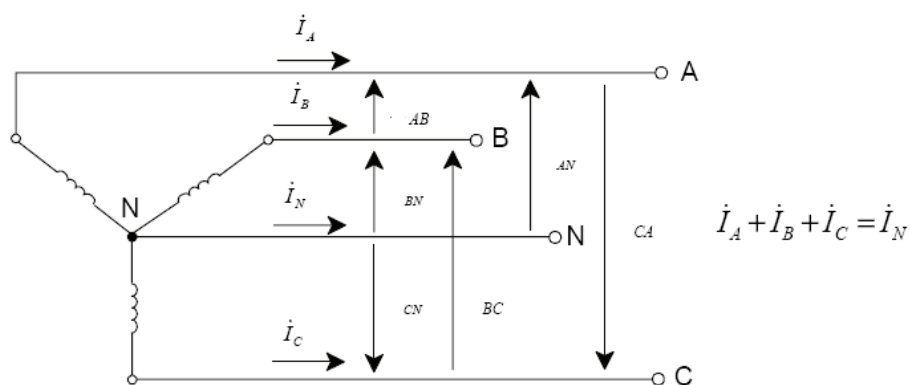


Figura 32 - Ligação Y

Fonte: ilustrador

Pela figura acima podemos observar as tensões de fase (tensões entre os pontos AN, BN e CN) e as tensões de linha (tensões entre os pontos AB, BC e CA).

As correntes de fase e de linha são as mesmas para a ligação em Y.

Entre as tensões de linha e de fase existe uma relação como mostrado a seguir.



$$V_{AB} = \sqrt{3} \cdot V_{AN}$$

$$V_{BC} = \sqrt{3} \cdot V_{BN}$$

$$V_{CA} = \sqrt{3} \cdot V_{CN}$$

Ou seja,

$$V_{linha} = \sqrt{3} \cdot V_{fase}$$

Com relação às correntes temos que:

$$I_{AN} = I_A$$

$$I_{BN} = I_B$$

$$I_{CN} = I_C$$

Ou seja,

$$I_{linha} = I_{fase}$$

E

$$I_{AN} + I_{BN} + I_{CN} = I_N$$

Dizemos que um sistema é equilibrado quando as impedâncias das fases são iguais e dessa forma $I_N = 0$.

Para sistema equilibrado não tem sentido manter o condutor neutro, podendo, dessa forma, ser desprezado. Um exemplo prático de carga trifásica equilibrada são os motores elétricos trifásicos. A ligação dos motores elétricos trifásicos é feita com as três fases, sendo ligadas diretamente nos terminais do motor.

4.2 Ligação Delta ou Δ

A figura a seguir mostra uma carga equilibrada ligada em Δ .

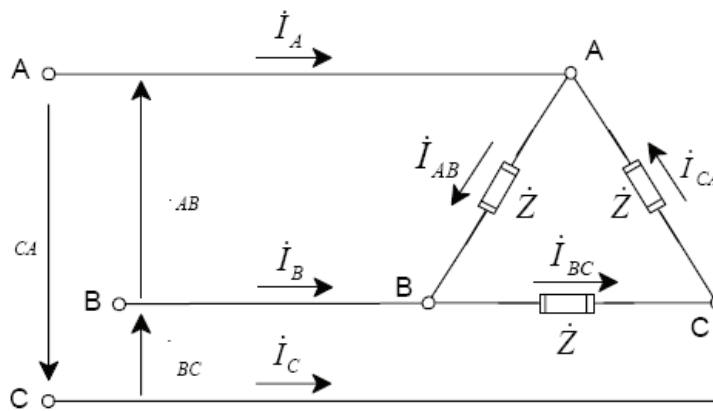


Figura 33 - Ligação Δ .

Fonte: ilustrador

Pela figura na página anterior podemos observar que as tensões de fase são iguais as tensões de linha.

As correntes de fase e de linha nessa configuração são diferentes e da mesma forma que na ligação em Y existia uma relação entre as tensões de fase e linha, agora essa relação passa a ocorrer para as correntes de fase e linha na ligação em triângulo.

$$I_A = \sqrt{3} \cdot I_{AB}$$

$$I_B = \sqrt{3} \cdot I_{BC}$$

$$I_C = \sqrt{3} \cdot I_{CA}$$

Ou seja,

$$I_{linha} = \sqrt{3} \cdot I_{fase}$$

Com relação as tensões temos que:

$$V_{AB} = V_A$$

$$V_{BC} = V_B$$

$$V_{CA} = V_C$$

Ou seja,

$$V_{linha} = V_{fase}$$



Aplicando a lei de Kirchhoff das correntes temos que:

$$\text{No ponto A: } I_A + I_{CA} = I_{AB}$$

$$\text{No ponto B: } I_B + I_{AB} = I_{BC}$$

$$\text{No ponto C: } I_C + I_{BC} = I_{CA}$$

4.3 Potência trifásica

Para uma ligação trifásica a potência total é a soma das potências de cada fase. Sejam as fases A, B e C de um sistema trifásico. A potência calcula-se da seguinte forma.

$$P_{3\phi} = P_A + P_B + P_C$$

$$P_{3\phi} = 3 \cdot P_{1\phi} = 3V_f I_f \cos\phi$$

Supondo uma ligação em estrela

$$V_L = \sqrt{3}V_f \quad V_f = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$$

$$I_L = I_f$$

$$P_{3\phi} = \frac{3V_L I_L}{\sqrt{3}} \cos\phi = \sqrt{3}V_L I_L \cos\phi$$

$$Q_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L \sin\phi$$

$$S_{3\phi} = \sqrt{3}V_L I_L$$

Para uma ligação em delta a equação é válida e pode ser desenvolvida utilizando o raciocínio anterior.

Resumo

Nesta aula estudamos as características do sistema trifásico e as relações entre as grandezas elétricas nos circuitos de corrente alternada trifásicos.



Apontamos também as ligações que podemos efetuar tanto a carga como a geração e o cálculo da potência trifásica nas suas três formas em que se apresenta.



Atividade de Aprendizagem

1. Explique qual a vantagem dos sistemas trifásicos em relação aos sistemas monofásicos.
2. Qual a defasagem angular entre as tensões de um gerador trifásico?
3. Quais os tipos de ligações em circuitos trifásicos? Determine as relações entre tensões e correntes de linha e de fase para cada tipo de ligação.

Como está o acompanhamento do conteúdo? Você está conseguindo absorver o conhecimento? Lembre-se de revisar o material estudado e de consultar seu professor tutor quando necessário. Continue interessado em aprender porque novos e interessantes conteúdos esperam por você nas próximas aulas. Nosso assunto seguinte será noções de motores elétricos.



Aula 5. Noções de motores elétricos

Objetivos:

- reconhecer basicamente o que vem a ser uma máquina elétrica;
- identificar os tipos de motores elétricos e suas partes básicas, o princípio de funcionamento e suas grandezas elétricas.

Caro(a) estudante,

Nesta aula você poderá adquirir noções de máquinas elétricas e terá oportunidade de identificar os tipos mais importantes de máquinas elétricas, além disso, o funcionamento e partes constituintes.

O conhecimento de máquinas elétricas é de fundamental importância, pois a principal carga encontrada na indústria são os motores elétricos. Em algum momento de sua vida profissional você irá se deparar com uma das máquinas que iremos estudar nessa aula.

Encontramos a energia distribuída na natureza de diferentes formas, podendo ser energia térmica, luminosa, mecânica entre outras. Porém, a mais conhecida forma de energia é a mecânica e sobre ela o ser humano tem mais domínio. Considerado a forma como a energia mecânica se encontra na natureza, pode-se afirmar que sua utilização prática é bastante difícil, isso é agravado pelo fato de constituir uma energia variável no tempo. Uma das formas de utilização da energia mecânica é a sua conversão em energia elétrica, através das máquinas elétricas conhecidas como geradores. Um exemplo da transformação da energia mecânica em elétrica ocorre nas hidrelétricas, pois com o movimento das turbinas (energia mecânica) o eixo do gerador elétrico se movimenta gerando o sinal de corrente alternada como explicado na aula 2 dessa disciplina.

Entre as vantagens da energia elétrica podemos apontar a facilidade de transporte e manuseio, além de ser uma energia limpa e que pode ser recon-



vertida em energia térmica, eletromagnética, luminosa e, ainda, em energia mecânica. Tal transformação é efetuada pelas máquinas elétricas conhecidas como motores.

Motor elétrico é a máquina capaz de transformar energia elétrica em energia mecânica usando, geralmente, o princípio da reação entre dois campos magnéticos.

A potência elétrica nominal é a potência mecânica no eixo do motor e é, normalmente, expressa em CV, KW e, eventualmente, em HP.

Os motores elétricos podem ser classificados em dois grupos: Motores de corrente contínua e motores de corrente alternada.

A-Z

Assíncrono: ausência de sincronismo entre velocidade do rotor e a frequência.

Na indústria, os motores de corrente alternada do tipo **assíncrono**, mais conhecidos como motores de indução são os mais utilizados devido ao seu princípio de funcionamento simples, construção robusta, facilidade de manobra, pequena manutenção e devido ao nível de automação do seu processo de fabricação, tem um valor competitivo no mercado, ou seja, baixo custo.

Agora que conceituamos as energias mecânica e elétrica; e entendemos que o motor é a máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica, passaremos à explicação sobre dois tipos de motores: motor de indução trifásico e motor monofásico de corrente alternada.

5.1 Motor de indução trifásico

Neste tipo de motor, o enrolamento do rotor não tem ligação elétrica com a linha de alimentação. As correntes rotóricas são geradas pela indução eletromagnética, vindo daí o nome de motor de indução.

Uma vantagem importante apresentada pelo motor de indução é o fato de poder partir sozinho, mesmo com carga.

O motor de indução apresenta a característica de funcionar com uma velocidade quase constante, variando ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao seu eixo. Um motor de indução é constituído basicamente:

- pelo estator que consiste de um núcleo cilíndrico, laminado e ranhurado



que é colocado no interior de uma carcaça de aço fundido e do conjunto de bobinas que é instalado no interior das **ranhuras**, e que são ligadas à rede de alimentação trifásica.

- pelo rotor onde estão os enrolamentos eixo que transmite a potência mecânica desenvolvida pelo motor e núcleo.

A-Z

Ranhuras: entalhe feito no rotor com o objetivo de posicionar as bobinas.

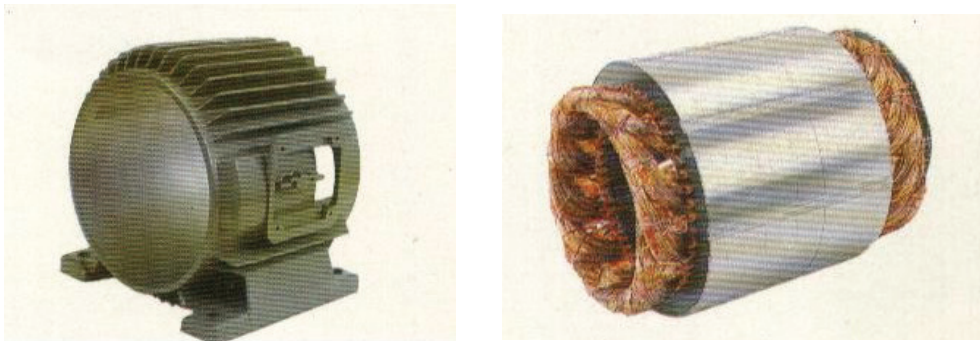


Figura 34 - Estator e enrolamentos do estator

Fonte: autor

Tanto rotor como o estator são formados por chapas de aço com ranhuras para acomodar os enrolamentos.

O rotor, por sua vez, pode ser de dois tipos: rotor bobinado ou rotor gaiola de esquilo.

O do tipo bobinado permite o acesso aos enrolamentos através de anéis coletores enquanto que o gaiola de esquilo é formado por condutores (ou bobinas) que são, na realidade, barras de cobre ou alumínio colocadas em ranhuras. Nas duas extremidades das barras existem 2 anéis curto-circuitando todas as barras. É o tipo mais empregado (mais barato e não requer manutenção elétrica).

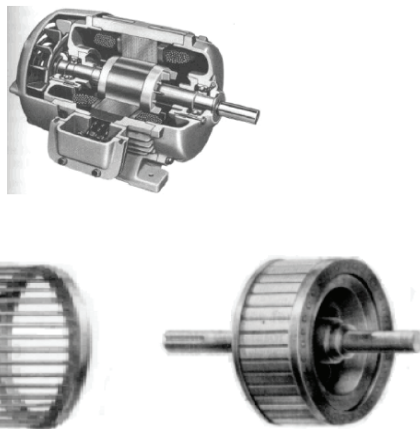


Figura 35 - Rotor gaiola de esquilo

Fonte: autor



A construção de um rotor bobinado é muito mais cara que um rotor gaiola. Com um motor de rotor bobinado é possível controlar a corrente que circula no rotor através dos anéis coletores presente nos fins de cada bobina, sendo possível controlar a corrente de partida, a velocidade e conjugado do mesmo.

Na figura 36 observamos o circuito do rotor bobinado, onde é possível verificar a presença dos anéis coletores que finalizam as bobinas desse tipo de rotor.

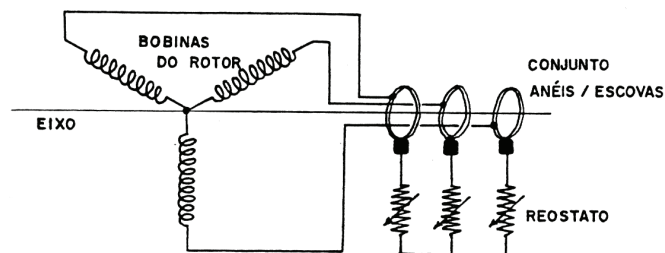


Figura 36 - Circuito do rotor bobinado

Fonte: ilustrador

A-Z

Reostato: dispositivo que apresenta a possibilidade de variação do valor da resistência elétrica.

A desvantagem desse motor em relação ao gaiola de esquilo está justamente no custo e no rendimento, pois devido a presença do **reostato**, quanto maior o valor da resistência menor o rendimento do motor.

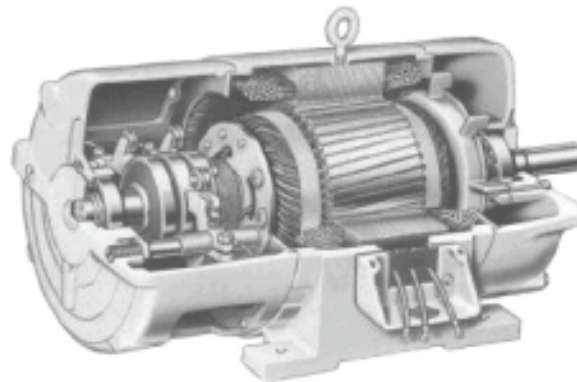


Figura 37 - Rotor bobinado

Fonte: autor

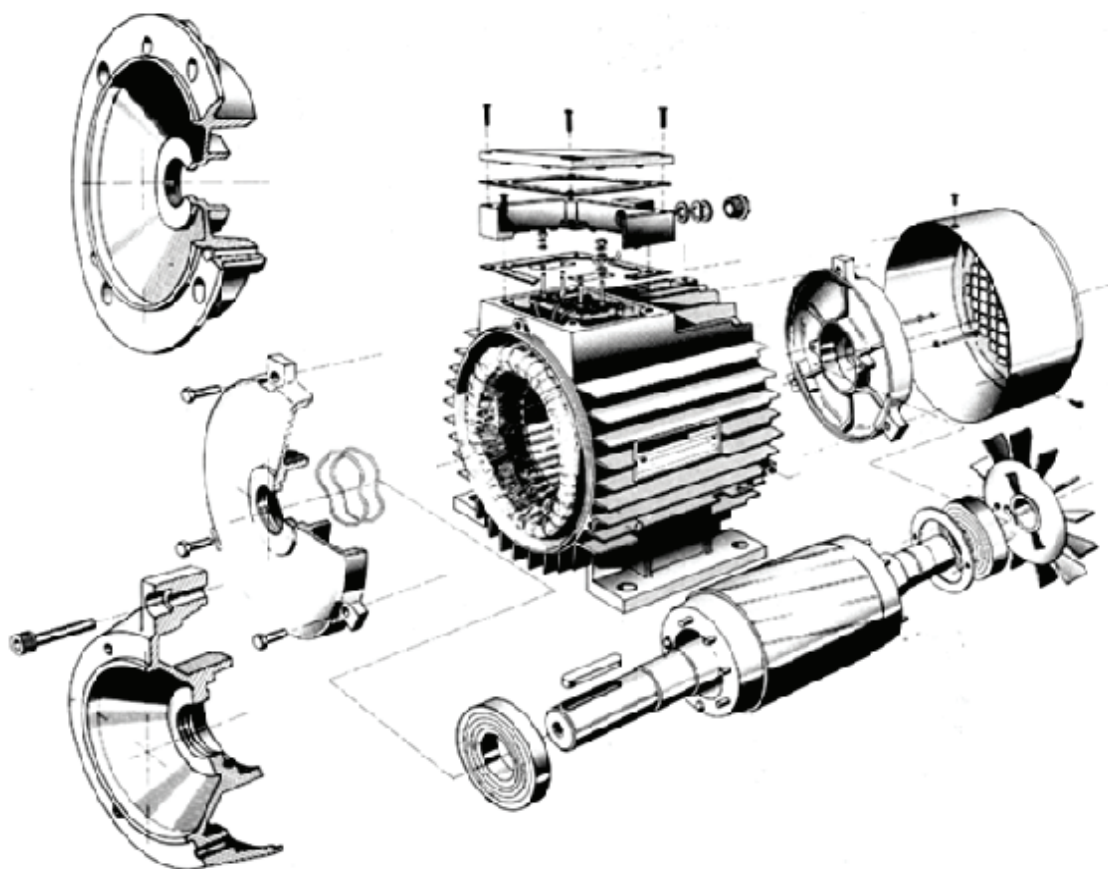


Figura 38 - Constituição de um motor de indução

Fonte: autor

5.1.1 Princípio de funcionamento

A aplicação de uma tensão trifásica ao enrolamento trifásico do estator do motor de indução cria um campo magnético girante que, por efeito de transformação, induz uma Fem (força eletromotriz) no enrolamento do rotor. A Fem induzida faz circular uma corrente no enrolamento do rotor, essa corrente associada a onda de densidade de fluxo girante produz torque.

5.1.2 Escorregamento (s%)

O escorregamento pode ser definido como a diferença entre a velocidade síncrona e a parte móvel do motor, chamada de rotor, expressada em porcentagem. A diferença entre a velocidade síncrona e a velocidade do rotor é chamada de velocidade de escorregamento (ne).

$$n_e = n_s - n_r$$

$$s_{\%} = \frac{n_s - n_r}{n_s} \cdot 100$$



O escorregamento do motor dependerá de:

- Perdas mecânicas por atrito (apoios e rolamentos) e arrastamento (ar)
- Carga imposta

Quando o motor está vazio, o escorregamento é muito pequeno, pois o torque necessário é mínimo (apenas o suficiente para suportar as perdas mecânicas). À medida que o pedido de carga vai aumentando, o escorregamento vai aumentando, até que no limite o torque (resistente) é tanto que o motor não roda e $s = 1$.

Quando maior o motor, menos escorregamento ele tem. Valores típicos para o escorregamento são da ordem de 0.5% em vazio e entre 3% a 5% à sua carga nominal (plena carga), dependendo do tipo de motor.

5.1.3 Partida do motor

Grande parte dos motores de indução são robustos suficientes para arrancarem diretamente da rede, ou seja, acelerarem a carga a partir de parado até velocidade nominal, desde que esteja aplicada a tensão nominal. Contudo, quando ocorre a fase inicial da partida, um consumo grande de corrente, equivale de cinco a sete vezes mais do que a corrente nominal do motor é causado pela partida direta.

A elevada corrente na partida direta poderá ter os seguintes efeitos nocivos:

- Para o motor: o excesso de corrente causa sobreaquecimento, podendo deteriorar os isolamentos.
- Para a instalação elétrica: pode causar queda de tensões momentâneas afetando o funcionamento de outros equipamentos ligados a rede, ou poderão "disparar" os dispositivos de proteção (relês ou fusíveis).

Dessa forma, podem existir casos que seja necessário um método de partida alternativo, baseado na redução da tensão de alimentação, assim, com a menor tensão aplicada ao motor, menores serão os valores da corrente de partida. Depois que o motor acelera, a tensão nominal é aplicada nos terminais da máquina para que a velocidade nominal possa ser alcançada. Esse tópico será estudado na próxima aula.



5.2 Motores monofásicos de corrente alternada

Os motores trifásicos de indução, apesar de serem eficientes para aplicações industriais, não apresentam grande utilidade nas aplicações residenciais visto que as residências, em boa parte, não são alimentadas por um sistema trifásico de tensões.

No entanto, uma vasta gama de eletrodomésticos utilizam motores para os seus acionamentos, de modo que os motores de corrente alternada monofásicos apresentam uma utilidade muito grande na vida moderna.

São vários os tipos de motores monofásicos, suas aplicações dependem basicamente do tipo de eletrodoméstico que o utiliza. Para os eletrodomésticos mais potentes, tais como: geladeiras, freezers, máquinas de lavar roupa, etc., o motor monofásico mais utilizado é com o capacitor. Já os dos liquidificadores e ventiladores, etc., que são equipamentos mais leves, os motores mais utilizados são do tipo “*shaded-pole*” ou universal .



Disponível em: <<http://followscience.com/content/331044/motores-trifasicos-1-ligacoes-apo>>

Resumo

Nesta aula você teve oportunidade de conhecer a máquina elétrica (motores), equipamento de grande importância para os profissionais da área da indústria. Percorrendo este conteúdo foi possível observar suas partes constituintes e características de funcionamento, especialmente, no momento da partida elétrica. Entre os principais tipos de máquinas elétricas que estudamos, estão os motores de indução que são muito utilizados na indústria.

Atividade de Aprendizagem

1. Qual o efeito negativo que motores de elevada potência podem causar na rede elétrica no momento da partida e qual seria a melhor opção para diminuir esse impacto na rede?
2. Explique o que é o escorregamento.
3. O rotor de um motor de indução trifásico pode ser de dois tipos. Cite quais são esses tipos de rotores.
4. Escreva um pequeno texto descrevendo o que é um motor elétrico em termos de transformação de energia.





Na próxima aula estudaremos alguns circuitos de comandos que faz com que a máquina possa ter uma partida mais suave e, dessa forma, evitar os efeitos negativos na rede elétrica. Para prosseguir mantenha-se empenhado em fazer as atividades e busque mais informações caso tenha ficado alguma dúvida.



Aula 6. Acionamento e comandos elétricos

Objetivos:

- apontar os métodos de partida utilizados para o acionamento de máquinas elétricas;
- identificar os dispositivos utilizados em circuitos de comandos e acionamentos elétricos; e
- reconhecer quais os componentes mais utilizados na proteção dos motores elétricos.

Prezado(a) estudante,

Efetuar a ligação de um motor elétrico não é, simplesmente, ligar a máquina em uma tomada elétrica. Para efetuar a ação de acionar um motor é necessário conhecer o tipo de motor, isso você teve oportunidade de fazer na aula anterior e qual método será utilizado para a partida. Nesta aula iremos verificar alguns dos métodos utilizados para acionar um motor elétrico e aprenderemos quais dispositivos são utilizados para a proteção dessas máquinas.

Conforme Salmon Garcia Gomes, comandos elétricos são dispositivos elétricos ou eletrônicos usados para acionar motores elétricos e alguns equipamentos elétricos. São compostos de uma variedade de peças e elementos dentre eles contadores, botões temporizadores, relés de comando, relés térmicos e fusíveis. Esses dispositivos podem ser divididos, basicamente, em dispositivos de comando e dispositivos de proteção.

Uma grande parte das máquinas em oficinas e na indústria é acionada por motores elétricos. Para manejar essas máquinas são necessários dispositivos que permitem um controle sobre motores elétricos. Esses dispositivos de controle são, nos casos mais simples, interruptores também chamados chaves manuais.



Para motores de maior potência e para máquinas complexas usam-se comandos elétricos, automáticos e, muitas vezes, sofisticados.

Os comandos elétricos permitem um controle sobre o funcionamento das máquinas, evitando, ao mesmo tempo, manejo inadequado pelo usuário e, além disso, dispõe de mecanismos de proteção para a máquina e para o usuário. Melhoram o conforto para manejar máquinas, usando simples botões. Permitem também controle remoto das máquinas.

Nesta seção estudaremos os componentes principais de um circuito de comando elétrico para a partida de um motor elétrico.

6.1 Chave (botoeira) sem retenção ou impulso

Trata-se de um dispositivo que permanece acionado pela aplicação de uma força externa. Quando essa força cessa o dispositivo retorna à situação anterior (que recebe o nome de situação de repouso). Geralmente, este dispositivo dispõe de contatos chamados de normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF).

Para explicar o funcionamento de uma botoeira sem retenção vejamos a figura a seguir.

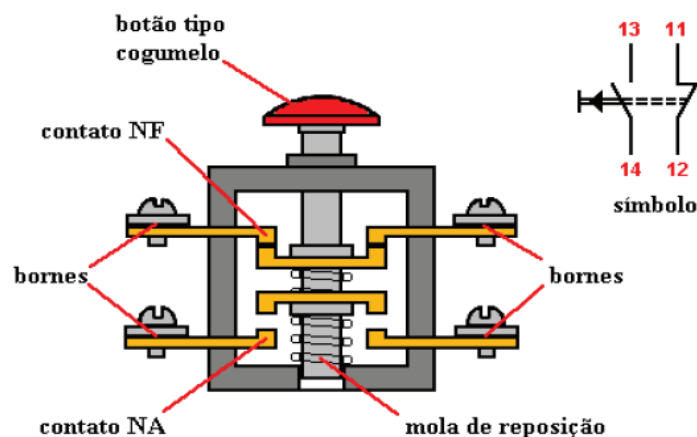


Figura 39 - Esquema de uma botoeira sem retenção

Fonte: ilustrador

Na figura é possível visualizar os contatos NF (superior) e NA (inferior). Quando o botão do tipo cogumelo é pressionado o seu eixo movimenta as partes móveis da botoeira fazendo com que o contato NF torne-se aberto e o con-



tato NA torne-se fechado. Essa mudando no estado dos contatos permanece até o momento em que a botoeira deixe de ser pressionada.

Os contatos NA recebem a numeração 13-14 e os contatos NF 11-12.

6.2 Contator ou chave magnética

Segundo Nascimento, em trabalho contido no *site* Ebha, o contator ou chave magnética é formado, basicamente, por um eletroímã e um conjunto de chaves operado pelo fluxo magnético do eletroímã quando energizado.

A seguir apresentaremos o símbolo de uma chave magnética com a identificação típica das chaves: os terminais do eletroímã são identificados por letras, em geral, a1 e a2 ou a e b, e os terminais das chaves são identificados com numeração.

O número de chaves do contator é bem variado dependendo do tipo. De acordo com a finalidade, as chaves do contator recebem denominações específicas:

Contatos (chaves) principais: são mais robustas e destinam-se a comandar altos valores de corrente típicos de motores e outras cargas. São sempre do tipo NA. Sua identificação se faz com números unitários de 1 a 6.

Contatos (chaves) auxiliares: menos robustas, tem finalidade de comandar as baixas correntes de funcionamento dos eletroímãs (bobinas) de outras chaves magnéticas, lâmpadas de sinalização ou alarmes sonoros. As chaves auxiliares podem ser do tipo NA ou NF.

A identificação das auxiliares se faz com dezenas de final 3 e 4 para as NA e com 1 e 2 para as do tipo NF. Essas numerações podem aparecer identificando terminais de contatos mesmo que não sejam operados por chave magnética e sim por botão ou rolete por exemplo .



Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAfdbQAG/13-comandos-eletricos?part=4>>

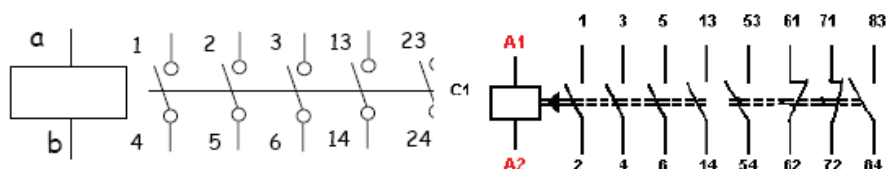


Figura 40 - Representação do contator e seus contatos principais e auxiliares

Fonte: ilustrador

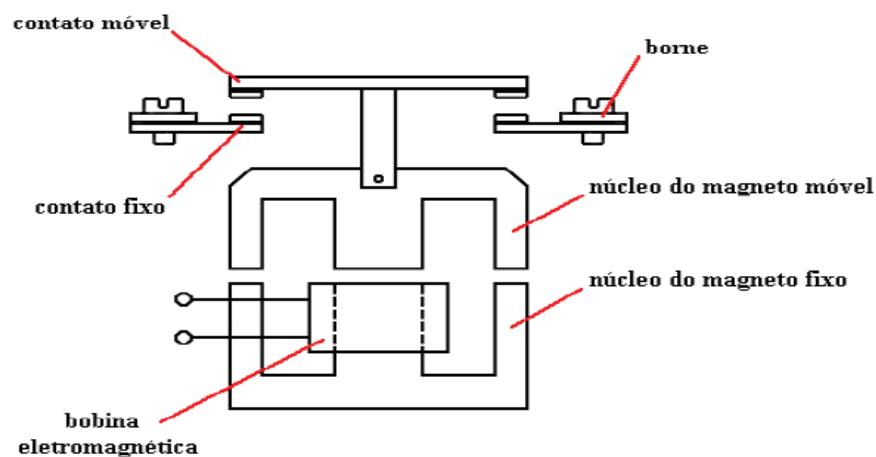


Figura 41 - Esquema do contator

Fonte: ilustrador

O funcionamento do contator se dá através de eletromagnetismo. Quando uma corrente circula pela bobina eletromagnética um campo magnético é criado transformando em um eletroímã, atraindo o núcleo magnético móvel movimentando o contato móvel e, dessa forma, fechando os contatos 1-2, 3-4 e 5-6. Esse mesmo princípio de funcionamento ocorre para os contatos auxiliares do contator.

6.3 Relés de comando

Relés de comando são dispositivos eletromecânicos cujo objetivo é proporcionar comando a um circuito ou equipamento, podendo ser utilizado de forma local ou remota.

Os relés de comando são constituídos, basicamente, de uma bobina e de contatos elétricos, que são isolados eletricamente entre si.

Bobina: é constituída de condutores que são enrolados a um núcleo composto de material ferromagnético;

Contatos elétricos: podem ser do tipo Normalmente Fechados (NF) ou Normalmente Abertos (NA).

Ao passar uma corrente elétrica através da bobina, será formado um campo magnético que irá atrair os contatos, os quais irão mudar de posição (os contatos NA irão fechar e os contatos NF irão abrir), ao cessar a corrente



através da bobina, o campo será eliminado e os contatos, estando presos a uma mola elástica, irão retornar à sua posição inicial.

De uma maneira bem simplificada poderíamos dizer que a diferença básica entre os relés de comando e os contatores são os contatos principais que não estão presentes no relé de comando. Portanto, o relé de comando é mais utilizado para circuitos de comando e sinalização.

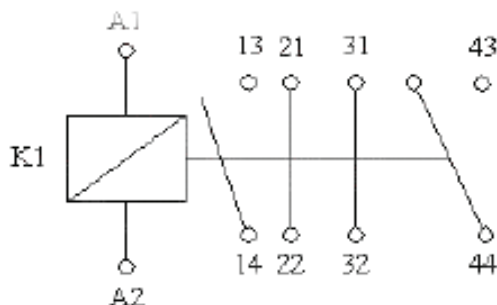


Figura 42 -Simbologia do relé de comando (bobina e contatos NA e NF)

Fonte: ilustrador

6.4 Proteção dos circuitos de acionamento e comandos

O objetivo desses dispositivos é proteger os equipamentos e condutores de uma instalação, dos possíveis danos causados por uma corrente de grande duração e alto valor.

6.4.1 Fusível

Segundo Franco (2001), os fusíveis são dispositivos de proteção contra curto-circuito (e contra sobre-carga caso não seja usado relé para este fim) de utilização única: após sua utilização devem ser descartados. Eles são compostos por: elemento fusível, corpo, terminais e dispositivo de indicação da atuação do fusível.

Elemento fusível: é um fio ou fita de metal com constituição e dimensões calculadas para entrar em fusão (daí o nome fusível) quando atravessado por corrente elétrica de determinado valor.

Corpo: é feito de material isolante (porcelana no caso dos industriais, mas existem também de papelão de vidro e de plástico). Serve para sustentar o elemento fusível e os terminais. No corpo há a indicação de sua corrente de atuação da tensão em que pode funcionar. Ele pode ser rápido ou retardado.



Dentro do corpo dos fusíveis usados em instalações industriais existe uma espécie de areia que tem por função extinguir a chama proveniente da fusão do elemento fusível.

Terminais: são feitos de metal com robustez para que não sofra com a corrente que flui pelo fusível. Fazem o contato do elemento fusível com o porta fusível. O porta fusível é um compartimento que fica fixo no circuito e serve de encaixe para o fusível.

A indicação pode ser feita pela transparência do corpo, que permite ao operador ver o elemento partido ou por um pequeno botão (em geral vermelho) que se solta do corpo em caso de atuação.

Os fusíveis de acordo com seu formato e forma de conexão podem ser:

- NH - usados em circuito de alta potência e conectados por encaixe, com ferramenta própria (punho) para proteção do operador;
- Diazed - usados em circuitos baixa potência e conectados através do porta-fusível que se monta por rosca. O próprio suporte do fusível protege o operador contra choque elétrico.



Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAdE0AE/comandos-eletricos?part=5> >

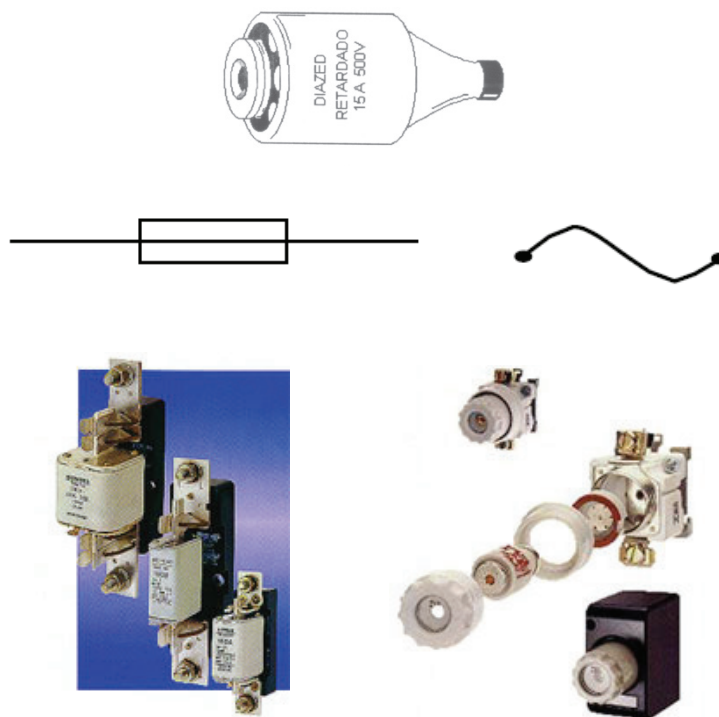


Figura 43 -Simbologia e fusíveis NH e diazed, respectivamente

Fonte: autor



Ainda com informações contidas no mesmo *site*, temos que, o fusível interrompe o circuito quando houver correntes maiores que 160% da sua corrente nominal. O tempo de atuação diminui na medida em que aumenta o valor relativo da sobrecarga. Assim, uma sobrecarga de 190% da corrente nominal será interrompida mais rapidamente que uma de 170%.

Vale mencionar que correntes de até 120% do valor nominal não aciona o fusível.

A velocidade de ação dos fusíveis varia conforme sua aplicação:

- Rápidos: esse tipo tem atuação mais rápida.
- Retardados: fusíveis para circuitos de motores elétricos e de capacitores, normalmente, são mais lentos, pois há necessidade de não se romper nos picos de corrente existente durante alguns instantes após sua ligação. Na partida dos motores há corrente de até oito vezes o valor nominal, porém caso a corrente seja muito maior que oito vezes a normal, o fusível passa a agir tão rápido quanto um de ação rápida. A escolha do fusível se faz pela corrente, pela tensão e pelo tipo de circuito (se sujeito a grandes variações de corrente, ou não).

6.4.2 Relé térmico ou relé de sobrecarga

Utilizando as informações do já citado *site*, o relé térmico ou relé de sobrecarga é um dispositivo de proteção e eventual comando a distância, cuja operação é produzida pelo movimento relativo de elementos mecânicos (termo-pares), sob a ação de determinados valores de correntes de entrada.

Relés térmicos **não** protegem a linha de alimentação contra curto-circuito, conseqüentemente, é necessário empregar fusíveis como proteção contra curto-circuito.

O relé térmico é intercalado nas fases do motor para detectar a intensidade de corrente solicitada pelo motor. As correntes do motor atravessam os três elementos térmicos dentro do relé que se aquecer demais, devido a corrente, os elementos térmicos atuam num contato auxiliar para sinalizar a sobrecarga do motor. Isto significa que um relé térmico deve sempre trabalhar em conjunto com um contator ou um comando elétrico, para realizar a função.

Um relé térmico, uma vez disparado, voltará à posição de repouso auto-



maticamente, quando essa opção for selecionada. Para controle remoto de relés térmicos, há dispositivos que permitem rearmamento e desligamento a distância proporcionando, assim, conforto de uso.

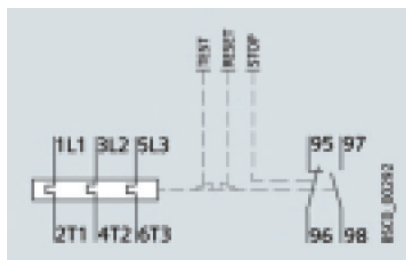


Figura 44 - Relé térmico e sua simbologia

Fonte: autor

Os contatos 1L1-2T1, 3L2-4T2 e 5L3-6T3 são ligados diretamente na rede que alimenta o motor “supervisionando” o valor da corrente que alimenta o motor, enquanto os contatos auxiliares 95-96 (NA), normalmente, são ligados em série com a bobina do contator que liga o motor e os contatos 97-98 (NA), geralmente, são utilizados para circuito de sinalização, acendendo uma sinaleira quando da operação do relé térmico. Quando o relé opera, os contatos 95-96 abrem desligando o motor e o contato 97-98 fecham acionando uma sinaleira para indicar a operação do relé térmico para os operadores.

6.4.3 Relé de tempo ou temporizador

Seu funcionamento é similar aos relés vistos anteriormente, porém com uma diferença: os contatos levarão certo tempo (pré-determinado) para serem acionados a partir da energização ou desenergização de sua respectiva bobina. Os relés de tempo podem ser de dois tipos de temporizador.



- Retardado na energização – esse tipo aciona suas chaves um tempo após a ligação, ou energização do relé e as retorna ao repouso imediatamente após seu desligamento ou desenergização.
- Retardado na desenergização – esse aciona as chaves imediatamente na ativação, porém elas só retornam ao repouso um tempo após a desativação. Não foi usado o termo energização e sim ativação por que existe um tipo de temporizador na desenergização que constantemente está energizado e, na realidade, sua ativação e desativação se fazem por intermédio da interligação e do desligamento, respectivamente, de dois terminais específicos .



Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAfDbQAG/13-comandos-eletricos?part=6> >



Figura 45 - Relé de tempo

Fonte: autor

Na figura 40 podemos observar um relé térmico que na sua fase apresenta um botão onde pode ajustar o tempo do retardo.

6.4.4 Relé de sobrecorrente

Com informações do mesmo *site*, destacamos que por terminais apropriados se faz fluir, por este relé a corrente da carga que se pretende proteger e quando a corrente assume um valor superior ao selecionado, o relé atua seus contatos. No tipo mais simples chamado térmico, a corrente flui por elementos que se aquecem. O aquecimento atua em um par bimetálico, cuja torção promove a atuação das chaves. São três os elementos pelos quais flui a corrente monitorada, um para cada fase e mesmo que haja sobrecorrente em uma das fases o relé age.

As chaves atuadas retornam ao repouso assim que a corrente volta ao normal, mas podem continuar atuando desde que a função de rearme manual esteja selecionada.



Outro tipo de relé, para maiores valores de corrente, funciona associado a um transformador de corrente (tc).

O ajuste do valor de corrente é feito em botão presente no painel do relé.



Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAf34QAJ/eletricidade-industrial-tudo-sobre-motores-introdu?part=4> >

6.4.5 Relé de sobretensão e de subtensão

Caso a tensão que alimenta ou ativa o relé se torne maior (no caso do relé de sobretensão) ou menor (relé de subtensão) que o valor selecionado, o relé acionará suas chaves. Há um relé que atua tanto no caso de subtensão quanto no caso de sobretensão. No painel do relé se encontra o botão de ajuste do valor de tensão.

6.4.6 Relé de falta de fase

Segundo Sabino, no *site* Ebha, o relé é um componente eletroeletrônico que monitora um circuito elétrico verificando a presença ou não das três fases. Desliga-o caso isso ocorra, evitando que a máquina funcione com falta. Alguns modelos verificam também a presença do neutro, sendo então chamados de relé falta de fase e neutro.

A ligação desses componentes exige um circuito apropriado com dispositivos de controle a distância integrado (contator, por exemplo), pois a atuação ocorre com a modificação da posição de um contato auxiliar, que deve atuar em um circuito de comando. Normalmente o contato que deve ser conectado em série ao circuito é o contato NA (normalmente aberto), pois fecha assim que recebe os condutores energizados da rede elétrica.



Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAf34QAJ/eletricidade-industrial-tudo-sobre-motores-introdu?part=4> >

6.4.7 Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos automáticos, que desligam um circuito quando ocorre uma sobrecarga ou um curto-circuito.

Os meios de manobra manual de um disjuntor deverão ser facilmente acessíveis, os circuitos elétricos residenciais e industriais utilizam disjuntores automáticos termomagnéticos.

O funcionamento do disjuntor termomagnético baseia-se na ação térmica de um bimetálico e na ação magnética de um eletroímã.

A ação térmica do **bimetálico** proporciona um retardamento que evita interrupções do circuito no caso de surtos de correntes anormais ou sobrecargas temporárias. Sobrecargas contínuas causarão uma **deflexão** do bimetálico su-



Bimetálico: é uma lâmina utilizada nos disjuntores pela qual passa a corrente elétrica. Quando o valor da corrente está acima da corrente nominal do disjuntor ocorrerá a dilatação do bimetálico e provocará a atuação do disjuntor.

Deflexão: Alteração ou desvio da posição natural para um lado.



ficiente para soltar o engate do disparo e abrir os contatos.

A ação magnética de um eletroímã, que envolve parcialmente o bimetálico, provoca disparo instantâneo, em caso de curto-circuito.

A aula está interessante, não é mesmo? Talvez já fosse de seu conhecimento muitos dos termos aqui estudados, como fusível, relé e disjuntores, mas certamente, você não os conhecia com essa profundidade. Há mais informações nos aguardando, vamos dar prosseguimento a aula estudando mais acionamentos e comandos elétricos.

6.5 Chave seccionadora

Trata-se de um dispositivo cuja função é a manobra, tanto de abertura, como de desligamento, de uma instalação elétrica. A manutenção da instalação desligada é a principal finalidade dessa abertura.

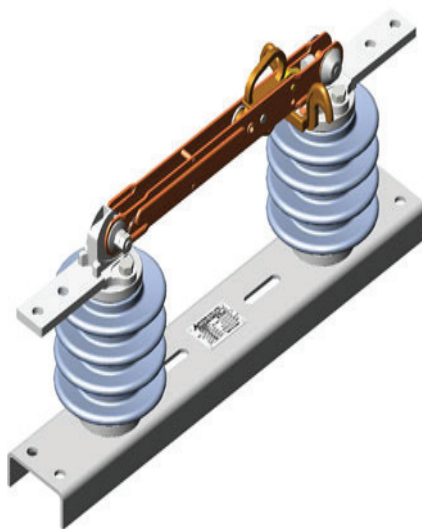


Figura 46 - Chave seccionadora monofásica

Fonte: <http://www.emd.com.br/modules.php?name=Conteudo&pid=11>

Com margem de segurança a chave seccionadora precisa suportar a tensão e correntes nominais da instalação o que é normal em todos os contatos elétricos, porém nesse caso específico é exigido uma margem de segurança mais eficiente. Por norma, a seccionadora apresenta seu estado – ligada ou desligada – de forma visível externamente, ou seja, de maneira clara e segura. A construção desse dispositivo de comando é feita de forma que seja impossível que se ligue (feche) por meio de vibrações ou choques mecânicos,



apenas permitindo a sua ligação ou seu desligamento por meios adequados para essas manobras.

Especificamente no caso da chave seccionadora tripolar, é necessário garantir o desligamento das três fases simultaneamente.



Figura 47 - Chave seccionadora trifásica

Fonte: <http://www.schak.com.br/MT-001.htm>

As chaves seccionadoras podem ser construídas de modo a poder operar:

- sob carga - então denominada interruptora. A chave é quem desligará a corrente do circuito sendo, por isso, dotada de câmara de extinção do arco voltagem que se forma no desligamento e de abertura e fechamento auxiliados por molas para elevar a velocidade das operações.
- sem carga – neste caso o desligamento da corrente se fará por outro dispositivo, um disjuntor, de modo que a chave só deverá ser aberta com o circuito já sem corrente. Neste caso a seccionadora pode ter uma chave NA auxiliar que deve desliga o disjuntor antes que a operação de abertura da chave seja completada.
- Com operação apenas local.
- Com operação remota, situação na qual sua operação é motorizada.



Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAJ5wAH/comandos-eletricos?part=2> >

6.6 Circuitos de comando e de força

Em acionamentos elétricos basicamente trabalha-se com dois tipos de circuitos: circuitos de comandos e circuitos de força.





O circuito de força ou principal como também é conhecido é o responsável pela alimentação do motor, ou seja, ele é o responsável pela conexão dos terminais/fios do motor a rede elétrica.

O circuito de comandos, como o próprio nome diz, é responsável por comandar o circuito de força, determinando quando o motor será ligado ou desligado.

A figura a seguir exemplifica os dois tipos de circuitos.

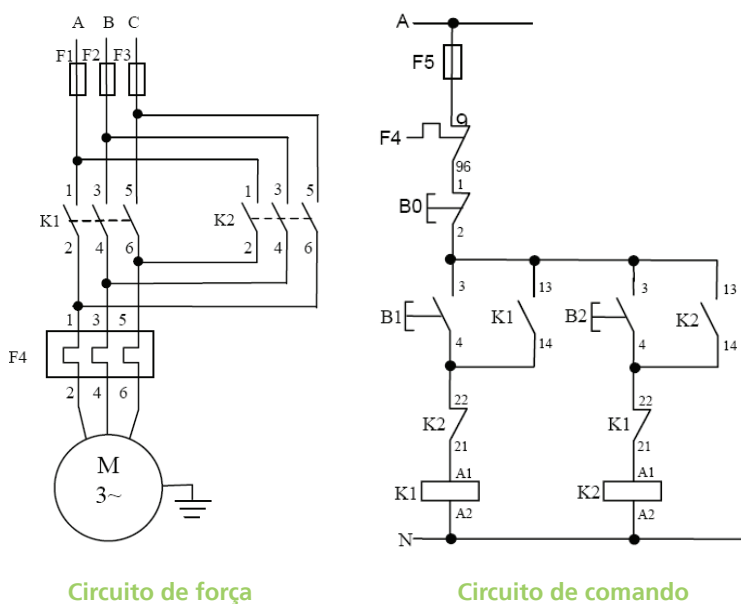


Figura 48 - Exemplo de circuito de força e comando

Fonte: ilustrador

6.7 Partidas de motores

Basicamente existem duas maneiras para dar partida em um motor elétrico trifásico: partida direta a plena tensão ou partida indireta com tensão reduzida. Para isso, há necessidade do circuito elétrico (comandos e força) para fazer o acionamento.

6.7.1 Partida direta

Segundo consta na apostila de eletricidade acessa no *site* abaixo a partida direta consiste em energizar o motor com a tensão de funcionamento desde o instante inicial. É o sistema mais simples, fácil e barato de instalar, sendo também aquele que oferece o maior conjugado de partida do motor. Porém, neste sistema, a corrente de partida do motor é grande, fato que impossibili-



Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAe0owAC/apostiladeeletridadeindustrial?part=3>>

ta sua aplicação com motores de potência muito elevada. Existem limites de potência para cada tensão de rede, conforme determinação da concessionária local, sendo na maioria dos casos de 5 cv nas redes de 220/127 V e de 7,5 cv nas redes de 380/220 V.

6.7.2 Partida indireta

Ainda com informações do mesmo *site* destacamos que a alta corrente de partida solicitada por motores trifásicos pode causar queda de tensão e sobrecarga na rede, aquecimento excessivo dos condutores e uma série de outros fatores prejudiciais à instalação elétrica. Isso piora a medida que aumenta a potência dos motores. Nesses casos, deve-se ter a preocupação de reduzir a corrente de partida do motor, aplicando-lhe uma tensão inferior a nominal no instante da partida. Assim, a potência do motor fica reduzida e, conseqüentemente, sua corrente. Depois que o motor atinge rotação nominal eleva-se sua tensão ao valor correto. Desta forma, não haverá grande pico de corrente na partida.

A seguir será mostrado o circuito mais simples para acionamento de um motor elétrico trifásico

6.7.3 Circuito simples (partida direta)

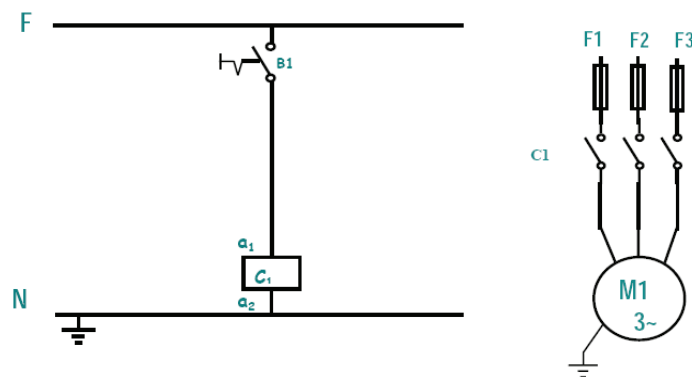


Figura 49 - Circuitos de comando e de força

Fonte: ilustrador

Na figura acima temos um circuito simples de comando e de força. No circuito de comando podemos observar a presença da botoeira de impulso B1 e da bobina do contator C1 entre os terminais a1 e a2. Ao lado temos o circuito de força com os contatos principais do contator C1 e os fusíveis F1, F2 e F3. Quando a botoeira B1 é pressionada a bobina do contator é energizada e os contatos principais do contator NA fecham acionando o motor. Porém



o motor funcionará durante o tempo em que a botoeira estiver pressionada, pois quando a ação de pressionar a botoeira cessar, ela ficará aberta e a bobina do contator será desernegezada e seus contatos voltarão para a posição inicial que é de NA.

6.7.4 Circuito de partida direta com contato de selo

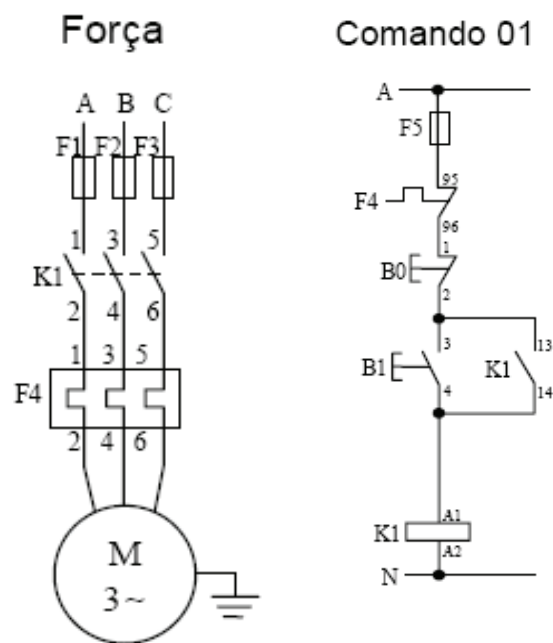


Figura 50 - Circuitos de comando e de força com contato de selo

Fonte: ilustrador

O circuito acima é mais completo, pois apresenta as botoeiras liga B1 e desliga B0, contato de selo e relé térmico (sobrecarga).

O funcionamento desse circuito se dá da seguinte forma:

Ao pressionar B1 a bobina do contator K1 é energizada e os contatos auxiliares K1 (13-14) fecham em paralelo com a botoeira B1, quando o contato K1 13-14 fecha em paralelo com a botoeira desliga B1, dizemos que foi feito o contato de selo. Isso é feito para evitar que o motor pare de funcionar, para que isso ocorra alguém teria que manter B1 pressionada como no caso do esquema anterior. Dessa forma, quando a botoeira B1 deixar de ser pressionada, o motor continuará a funcionar, pois existe uma alimentação da bobina o contator através do contato 13-14. Os contatos principais do con-



tator K1 (1-2, 3-4, 5-6) fecham acionando o motor. Nesse circuito podemos observar ainda a presença dos fusíveis F1, F2, F3, que protegem o motor e o fusível F5 que protege o circuito de comando. Temos ainda o relé térmico F4 que quando disparado desligará o motor, pois seu contato 95-96 abrirá e desenergizará a bobina do contator K1. Os contatos 1-2, 3-4 e 5-6 do fusível F4 monitoram as fases que alimentam o motor. Quando B0 é pressionada, o motor é desligado e o circuito volta à posição de repouso.

6.7.5 Circuitos de força de outros tipos de partida

Para a partida de motores elétricos existem, ainda, outros tipos de partida tais como partida estrela-triângulo, partida estrela-triângulo com reversão, partida série-paralelo, partida compensada, etc. Com o desenvolvimento da eletrônica de potência outros dispositivos têm sido bastante utilizados nos acionamentos de motores elétricos por proporcionarem partidas mais suaves e um controle de velocidade das máquinas. Entre esses dispositivos podemos citar o inversor de frequência e *soft-strater*.

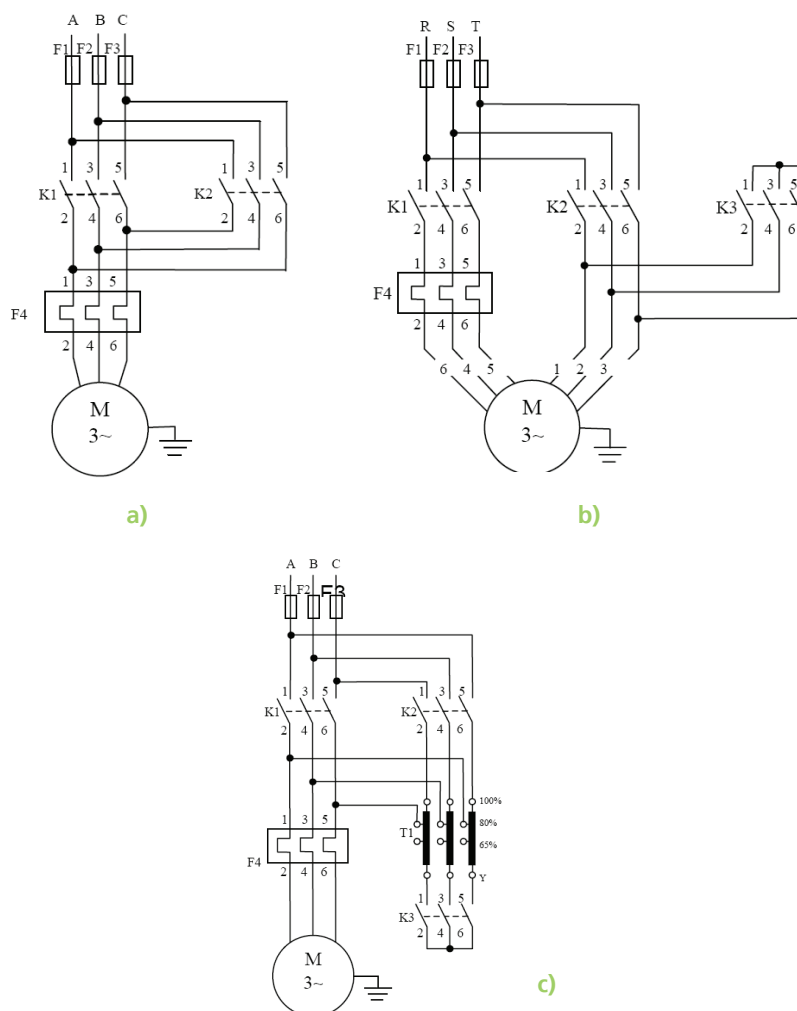


Figura 51 - Partidas de motores a) Direta com conversão, b) estrela-triângulo c) compensada

Fonte: ilustrador



Resumo

Nesta aula descrevemos o acionamento elétrico e os componentes utilizados nos circuitos de comando e força. Especificamos também os componentes utilizados na proteção dos circuitos e os tipos de circuitos de partida existentes em acionamentos.

Atividade de Aprendizagem



1. Cite alguns componentes utilizados em circuitos de acionamentos elétricos
2. Quais dispositivos mais utilizados para proteção de motores elétricos.
3. Cite quais os tipos de partida para acionamento de motores elétricos trifásicos.
4. Explique o porque da utilização de métodos de partida para redução da tensão que é aplicada às bobinas dos motores no momento da partida.
5. Exponha qual o inconveniente da utilização do fusível em relação aos demais dispositivos de proteção tais como disjuntor.

Chegamos ao final de mais uma aula onde você pôde conhecer os circuitos de comandos e os componentes que fazem parte do circuito. A partir de agora acredito que você também será capaz de identificar quais os elementos utilizados na proteção dos circuitos de acionamentos elétricos e alguns esquemas de ligações. Procure revisar os conhecimentos adquiridos nesta aula e lembre-se de fazer os exercícios propostos nas atividades de aprendizagem. Ao final deste Caderno existe um Guia com a sugestão de soluções de todas as atividades de aprendizagem, não deixe de consultá-lo.



Palavras Finais

Chegamos ao fim desta disciplina que trouxe as noções básicas sobre eletrotécnica. O caminho a percorrer na aquisição de novos conhecimentos não termina aqui e para que você possa atuar com competência na área que pretende trabalhar é necessário que continue estudando e buscando informações com o objetivo de se tornar um(a) excelente profissional. Portanto, prossiga com determinação em seus estudos, pois o processo de aprendizagem nunca termina.





Guia de Soluções

Aula 1

1. Considere que um ímã em forma de barra seja partido ao meio. Qual das alternativas a seguir é verdadeira:

Resposta: c

2. Considere que as barras abaixo. Marque a alternativa verdadeira.

Resposta: c

3. Considere que um condutor retilíneo esteja imerso em um campo magnético constante. Explique o que ocorre com o condutor nas seguintes situações no âmbito da indução eletromagnética.

Respostas:

a) Não ocorre indução no condutor

b) Surgirá uma corrente induzida em um determinado sentido

b) Surgirá uma corrente induzida em um determinado sentido contrário ao do caso anterior.

Aula 2

1. O gráfico a seguir mostra a forma de onda de um sinal de tensão alternada. Determine os seguintes parâmetros:

a) O valor de pico: 10 v

b) O período: 0,05 s

c) O valor eficaz da tensão: 7,07 V

d) A frequência do sinal de tensão: 20 Hz



2. Explique como um sinal senoidal é obtido a partir do eletromagnetismo.

Resposta

Considere que uma espira esteja imersa em um campo magnético e que a espira passa a girar em um determinado sentido partindo de uma posição onde o sentido de rotação da espira forma um ângulo de 0° com a direção das linhas de campo magnético. Quando esse ângulo está em 0° nenhuma tensão é induzida na espira, porém quando a espira começa a se movimentar esse ângulo começa a variar e a tensão começa a ser induzida no condutor. De acordo com a variação do ângulo o sinal de tensão induzida assume a forma de um sinal senoidal.

3. Relate o que vem a ser o valor de pico, pico a pico e valor eficaz.

Respostas:

Valor de pico: valor máximo de um sinal senoidal

Valor de pico a pico: é o valor entre o valor máximo e o valor mínimo de um sinal senoidal

Valor eficaz: é o valor referente a 70,7 % do valor de pico de um sinal senoidal.

4. Escreva um texto expondo o comportamento da tensão e corrente quando o circuito é puramente resistivo.

Resposta:

Quando o circuito é puramente resistivo, não existe defasagem entre o sinal de tensão e corrente. Ou seja, quando a forma de onda da corrente está passando pelo zero a tensão também está passando pelo zero e quando a corrente está passando pelo seu valor máximo a tensão também está passando pelo seu valor máximo.

Aula 3

1. Calcule a reatância indutiva X_L sabendo que a frequência do sinal é igual a 50 Hz e o valor da indutância é igual a 0,10 H.



Resposta:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,1 = 31,4 \, \Omega$$

2. Explique o fator de potência.

O Fator de potência mede a relação entre a potência ativa e aparente de um circuito.

3. Para uma instalação com baixo fator de potência o que deve ser feito para solucionar o problema?

Deve ser feito a correção do fator de potência através da instalação de banco de capacitores para elevar o fp até o valor mínimo exigido pela concessionária de energia da região.

4. Demonstre o comportamento da tensão e corrente em circuitos de corrente alternada com indutor e capacitor.

Em circuitos indutivos a corrente está atrasada em relação a tensão enquanto que em circuitos capacitivos a corrente está adiantada em relação a tensão.

6. Analise as equações da resistência, reatância indutiva e capacitiva. Qual a importância da frequência nessas grandezas elétricas? O que ocorre com cada uma delas quando a frequência aumenta ou diminui o seu valor?

Na resistência elétrica a frequência não tem influência, porém a reatância indutiva e capacitiva depende do valor da frequência e, de acordo com o aumento ou diminuição da frequência, os valores das reatâncias. Na reatância indutiva com o aumento da frequência o valor da reatância também aumenta, pois são diretamente proporcionais enquanto que na reatância capacitiva com o aumento da frequência ocorre a diminuição do valor da reatância, porque são inversamente proporcionais.

7. Conceitue impedância elétrica

A impedância elétrica representa o valor da resistência, a passagem de corrente quando estão presentes no circuito resistores e/ou indutores e/ou capacitores. A impedância é composta pela resistência e valores de reatâncias



(indutivas e/ou capacitivas) quando esses componentes estão presentes no circuito. Por depender da reatância, a impedância está sujeita a frequência do circuito.

Aula 4

1. Explique qual a vantagem dos sistemas trifásicos em relação aos sistemas monofásicos.

A vantagem principal está na capacidade do sistema trifásico de transportar potência maior que o sistema monofásico

2. Qual a defasagem angular entre as tensões de um gerador trifásico?

Resposta: 120°

3. Quais os tipos de ligações em circuitos trifásicos? Determine as relações entre tensões e correntes de linha e de fase para cada tipo de ligação.

Resposta: As ligações em circuitos trifásicos, basicamente, são as ligações em Y (estrela) e Δ (delta).

Ligação Y: $V_{linha} = \sqrt{3} \cdot V_{fase}$ e $I_{linha} = I_{fase}$

Ligação Δ : $V_{linha} = V_{fase}$ e $I_{linha} = \sqrt{3} \cdot I_{fase}$

Aula 5

1. Qual o efeito negativo que motores de elevada potência podem causar na rede elétrica no momento da partida e qual seria a melhor opção para diminuir esse impacto na rede.

Resposta: Quando um motor elétrico entra em funcionamento o valor da corrente pode sofrer uma elevação muito grande e dessa forma causar problemas na rede elétrica. Para diminuir esse efeito da partida, chaves de partidas devem ser utilizadas, pois elas têm a função de diminuir o valor da corrente de partida nos momentos iniciais do funcionamento do motor



2. Explique o que é o escorregamento.

Escorregamento é o parâmetro que mede a diferença entre a velocidade do rotor e a velocidade do campo girante.

3. O rotor de um motor de indução trifásico pode ser de dois tipos. Cite quais são esses tipos de rotores.

Resposta: Rotor gaiola de esquilo e rotor bobinado

4. Escreva um pequeno texto descrevendo o que é um motor elétrico em termos de transformação de energia.

Resposta: O Motor elétrico é uma máquina elétrica que tem a função de transforma energia elétrica em energia mecânica.

Aula 6

1. Cite alguns componentes utilizados em circuitos de acionamentos elétricos

Resposta: Botoeiras, relés de comando, fusíveis, contactor, relés térmicos.

2. Quais dispositivos mais utilizados para proteção de motores elétricos.

Resposta: Fusível diazed e NH, relé de sobrecarga, relé de sobrecorrente, relé de sobretensão e subtensão.

3. Cite quais os tipos de partida para acionamento de motores elétricos trifásicos

Respostas: entre as partidas elétricas de motores temos a partida estrela – triângulo, direta, partida compensada e a utilização de dispositivos como inversor de frequência e soft-starter.

4. Explique o porque da utilização de métodos de partida para redução da tensão que é aplicada às bobinas dos motores no momento da partida.

Resposta: As chaves de partidas são utilizadas para reduzir o impacto do acionamento do motor elétrico na rede elétrica, pois durante a partida de



um motor elétrico a corrente pode assumir valores elevados de até 7 vezes (ou mais) o valor da corrente nominal.

5. Exponha qual o inconveniente da utilização do fusível em relação aos demais dispositivos de proteção tais como disjuntor.

Resposta: Os fusíveis quando operam ocorre o rompimento do elemento fusível e, portanto, devem ser trocados. De maneira diferente, quando um disjuntor ou relé de proteção opera o mesmo não necessita ser trocado, basta somente rearmar o dispositivo para que volte a funcionar.



Referências

EBAH. A Rede Social Para Compartilhamento Acadêmico. **Eletrotécnica**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAm-MAE/eletrotecnica>> Acesso em: 01 out. 2013.

ELETROMAGNETISMO 2009/1. **O experimento de Oersted**. Disponível em: <<http://eletromagnetismoif.es.blogspot.com.br/2009/03/hans-christian-oersted.html>> Acesso em: 01 out. 2013.

FOLLOW SCIENCE. **Motores trifásicos 1 – Apo**. Disponível em: <<http://followscience.com/content/331044/motores-trifasicos-1-ligacoes-apo>> Acesso em: 01 out. 2013.

FRANCO, Mauricio. CEFET Campos. 2001. **Comandos Elétricos**. Disponível em <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAAdE0AE/comandos-eletricos?part=5>> Acesso em: 01 out. 2013.

GOMES, Garcia Salmon. **Comando Elétricos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAIVcAI/comandos-eletricos>> Acesso em: 01 out. 2013.

GORETI SANTOS, dos Mario. **Eletricidade Básica**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAMIIE/eletricidade-basica?part=7>> Acesso em: 01 out. 2013.

GUIMARÃES COUTO, Antonio Roberto. **Apostila Corrente Alternada v3**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAIGUAD/apostila-corrente-alternada-v3?part=2>> Acesso em: 01 out. 2013.

MOTTA, William Coutinho. **Comandos Elétricos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAJ5wAH/comandos-eletricos?part=2>> Acesso em: 01 out. 2013.

MUSSOI, Luiz Rosa Fernando. **Sinais Senoidais: Tensão e Corrente Alternada**. Centro de Educação Tecnológica de Santa Catarina. Gerência Educacional de Eletrônica. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/119188403/ELETROTEC-Tensao-e-Corrente-Alternadas>> Acesso em: 01 out. 2013.

NASCIMENTO, Elias. **Comandos Elétricos**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfdbQAG/13-comandos-eletricos?part=4>> Acesso em: 01 out. 2013.

SABINO, Paulo Roberto. **Eletricidade Industrial**. Tudo Sobre Motores. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAf34QAJ/eletricidade-industrial-tudo-sobre-motores-introdu?part=4>> Acesso em: 01 out. 2013.



Obras Consultadas

ALBUQUERQUE, R. O. **Circuitos em Corrente Alternada**. 7. ed. São Paulo: Ed. Érica.

Gussow, M. **Eletricidade Básica**. 2. ed. São Paulo: Ed. Makron Books.

Markus, O. **Circuitos Elétricos, Corrente Contínua e Corrente Alternada Teoria e Exercícios**. 1.ed. São Paulo: Ed. Érica.

Bonacorso, N. G. Noll, V. **Automação eletropneumática**. 11. ed. São Paulo: Ed. Érica.

Toro, V. D. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 1. ed. São Paulo: Ed. LTC.

Kosow, I. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 14. ed. São Paulo: Editora Globo.

Mussoi, F. L. R. **Sinais Senoidais – Tensão e corrente alternada** (apostila).

Mussoi, F. L. R. **Fundamentos de Eletromagnetismo** (apostila).





Currículo do Professor-autor

Carlos Ednaldo Ueno Costa é natural de Monte Alegre-PA e professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Pará - Campus Belém do Curso de Eletrotécnica. É graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Pará, e Mestre em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo. No IFPA atua como professor do Curso Técnico em Eletrotécnica, Curso de Tecnologia em Eletrotécnica Industrial, Curso de Engenharia de Controle e Automação e Engenharia de Materiais. Atua, também, como Coordenador do Curso de Eletrotécnica e participante em projetos de pesquisa.



