

TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES



MÓDULO I
ELETRICIDADE E INSTRUMENTAÇÃO I



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA	06
SOBRE A INSTITUIÇÃO	06
• Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente	06
• Missão	06
• Visão	06
• Valores	06
SOBRE O CURSO	06
• Perfil profissional de conclusão e suas habilidades	07
• Quesitos fundamentais para atuação	07
• Campo de atuação	07
• Sugestões para Especialização Técnica	07
• Sugestões para Cursos de Graduação	07
SOBRE O MATERIAL	08
• Divisão do Conteúdo	08
• Boxes	09
BASE TEÓRICA	10
INTRODUÇÃO A ELETRICIDADE E INSTRUMENTAÇÃO	10
TENSÃO E CORRENTE CONTÍNUA	11
• Lei de Ohm	14
• Potência	17
✓ Relação entre potência, tensão e corrente	17
✓ Fórmulas de cálculo	17
✓ Aplicações em circuitos	18
• Energia elétrica e eficiência energética	19
✓ Conceito de energia elétrica	19
✓ Cálculo de consumo energético	19
✓ Princípios de eficiência energética	20
CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CC. ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES	21
• Associações de resistores	21

✓ Associação em série	21
✓ Associação em paralelo	22
✓ Associação em série/paralelo	25
• Propriedades e componentes associados	26
✓ Resistência elétrica	26
✓ Resistores	27
✓ Capacitores	41
✓ Indutores	65
• Magnetismo	73
✓ Ímãs e suas propriedades	73
✓ Linhas de força	76
• Eletromagnetismo	77
✓ Efeito magnético da corrente	77
✓ Regra da mão direita	78
✓ Indução eletromagnética	79
✓ Fluxo magnético	80
✓ Lei de Lenz	80

INTRODUÇÃO AO MULTÍMETRO, TIPOS DE CORRENTE, MOTORES E

TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

• Introdução ao multímetro	82
✓ Medição de tensão	82
✓ Medição de corrente	82
✓ Medição de resistência	83
• Tipos de corrente, transformadores e motores elétricos	84
✓ Corrente contínua	84
✓ Corrente alternada	84
✓ Formas de onda	85
✓ Transformadores	90
✓ Motores elétricos	95

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO

SÍNTESE DIRETA

MOMENTO QUIZ	101
GABARITO DO QUIZ	102
REFERÊNCIAS	102

MÓDULO I

**ELETRICIDADE E
INSTRUMENTAÇÃO I**

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES pertence ao Eixo Tecnológico de INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO. Vejamos algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM TELECOMUNICAÇÕES relacionadas ao **perfil profissional de conclusão e**

suas habilidades, quesitos fundamentais para atuação, campo de atuação e, também, algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por Especializações Técnicas e/ou Cursos de Graduação.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Participar na elaboração de projetos de telecomunicações.
- Instalar, testar e realizar manutenções preventivas e corretivas em sistemas de telecomunicações.
- Configurar equipamentos nas áreas de telefonia, transmissão e redes de comunicação.
- Supervisionar tecnicamente processos e serviços de telecomunicações.
- Elaborar documentação técnica.
- Prestar assistência técnica aos clientes.
- Realizar programação de softwares específicos para equipamentos de telecomunicações.
- Participar na elaboração da documentação técnica.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos processos técnicos de telecomunicação cabeada ou de transmissão/tráfego de dados móveis, bem como às boas práticas de comunicação e de liderança de equipes.

Campo de atuação

- Empresas de telefonia fixa e móvel.
- Empresas de radiodifusão.
- Indústrias de telecomunicação.
- Agências reguladoras.
- Provedores de acesso a redes.
- Empresas de prestação de serviços.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em TV Digital.
- Especialização Técnica em Sistemas de Comunicação Móvel.
- Especialização Técnica em Convergência Digital.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Gestão de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Redes de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Sistemas de Telecomunicações.
- Curso Superior de Tecnologia em Telemática.
- Bacharelado em Engenharia de Telecomunicações.
- Bacharelado em Engenharia Elétrica.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, a fim de proporcionar subsídios suficientes a todos no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.

- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA, temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- VOCÊ SABIA

	<p>São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.</p>
---	--

- PAUSA PARA REFLETIR...

	<p>Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.</p>
--	--

- SE LIGA NA CHARADA!

	<p>Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.</p>
---	--

Base Teórica

INTRODUÇÃO A ELETRICIDADE E INSTRUMENTAÇÃO

A eletricidade, desde sua descoberta e compreensão científica, transformou profundamente a maneira como vivemos e interagimos com o mundo. Os estudos iniciais, conduzidos por cientistas como Benjamin Franklin, Michael Faraday e Alessandro Volta, abriram caminho para o desenvolvimento de tecnologias que hoje sustentam nossa sociedade. Desde os experimentos pioneiros com cargas elétricas até a criação de sistemas complexos de geração e distribuição de energia, a eletricidade tornou-se a espinha dorsal da era moderna.

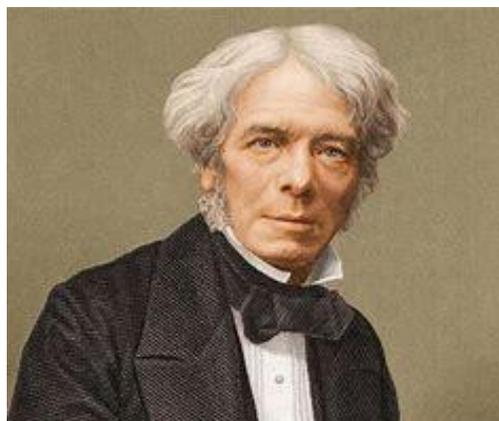


Figura 1: Retrato de Michael Faraday, um dos maiores cientistas da história, conhecido por suas contribuições fundamentais à eletricidade e ao magnetismo.

Michael Faraday (1791-1867) apresentado no retrato (*figura 1*) foi um físico e químico britânico cujas descobertas transformaram a ciência moderna. Ele é amplamente reconhecido por seus trabalhos pioneiros em eletromagnetismo e eletroquímica. Faraday descobriu a indução eletromagnética, que é o princípio fundamental por trás de transformadores e geradores elétricos, e introduziu conceitos como as linhas de força do campo elétrico e magnético.

Entre suas maiores realizações estão a invenção do dínamo, precursor dos geradores modernos, e os estudos sobre a eletrólise, que formaram a base da química moderna. Faraday também popularizou a ciência com suas famosas palestras de Natal no Royal Institution, inspirando gerações de cientistas.

A disciplina de **Eletricidade e Instrumentação** é uma área essencial no campo das tecnologias aplicadas, especialmente no contexto industrial e de telecomunicações. Seu estudo combina os fundamentos da eletricidade com o uso de instrumentos precisos para medição e controle, permitindo a implementação de sistemas seguros, eficientes e

sustentáveis. A instrumentação, por sua vez, desempenha um papel vital na automação e no monitoramento de processos, garantindo que máquinas e equipamentos operem dentro de parâmetros ideais.

No contexto histórico, a evolução da instrumentação foi guiada pela necessidade de medições precisas e confiáveis. Com o advento da revolução industrial, surgiram os primeiros instrumentos analógicos, que mais tarde evoluíram para sistemas digitais avançados, proporcionando maior precisão e conectividade. Atualmente, tecnologias como sensores inteligentes e dispositivos IoT (Internet das Coisas) estão ampliando as possibilidades de controle e supervisão em tempo real, revolucionando setores como telecomunicações, manufatura e energia.

O estudo de **Eletricidade e Instrumentação** é fundamental para o desenvolvimento de profissionais capacitados a lidar com sistemas elétricos e dispositivos de medição em ambientes industriais e tecnológicos.

Essa disciplina é especialmente importante porque:

- 1) **Forma a Base de Conhecimento Técnico:** Os princípios elétricos e a instrumentação são essenciais para entender e operar sistemas complexos de telecomunicações, automação e energia.
- 2) **Promove a Eficiência Energética:** A análise do consumo e a otimização de processos elétricos são fundamentais para reduzir custos e minimizar impactos ambientais.
- 3) **Habilita o Uso Seguro de Instrumentos:** A instrumentação garante que os profissionais sejam capazes de realizar medições precisas de tensão, corrente e resistência, essenciais para o diagnóstico e manutenção de sistemas.
- 4) **Viabiliza a Automação Industrial:** Compreender os princípios de medição e controle é essencial para a implementação de sistemas automatizados, promovendo produtividade e qualidade.

Ao longo desta disciplina, os alunos terão contato com conceitos fundamentais de eletricidade, aprenderão a operar instrumentos como multímetros e analisadores, e explorarão a aplicação prática desses conhecimentos em circuitos elétricos e sistemas de telecomunicações. Este aprendizado é essencial para enfrentar os desafios técnicos do mundo moderno e contribuir para a evolução tecnológica de nossa sociedade.

TENSÃO E CORRENTE CONTÍNUA

A **tensão elétrica**, também conhecida como diferença de potencial, é um dos conceitos fundamentais no estudo da eletricidade. Ela pode ser definida como a força responsável por impulsionar cargas elétricas através de um condutor, permitindo o fluxo de corrente elétrica em um circuito. Essa força resulta da diferença de energia elétrica entre dois pontos, provocada por uma fonte, como uma bateria ou gerador. Em termos físicos, a tensão é a quantidade de energia elétrica fornecida por unidade de carga para mover partículas carregadas. No Sistema Internacional (SI), a tensão é medida em **volts (V)**, uma homenagem ao físico Alessandro Volta.

Fisicamente, a tensão elétrica pode ser expressa pela fórmula:

$$V = E / Q,$$

onde:

- **V** é a tensão em volts (V);
- **E** é a energia elétrica em joules (J);
- **Q** é a carga elétrica em coulombs (C).

Essa relação demonstra que a tensão está diretamente relacionada à energia necessária para mover uma carga elétrica em um circuito.

A **corrente contínua (CC)**, por outro lado, refere-se ao movimento ordenado de cargas elétricas (normalmente elétrons) em um único sentido através de um circuito. Diferentemente da corrente alternada (CA), onde as cargas mudam de direção periodicamente, a corrente contínua apresenta fluxo constante e unidirecional. Essa estabilidade torna a corrente contínua amplamente utilizada em dispositivos como baterias, pilhas e sistemas eletrônicos portáteis.

A intensidade da corrente elétrica é representada pela letra **I** e medida em **ampères (A)**. Sua definição matemática é dada por:

$$I = \frac{Q}{t},$$

onde:

- ✓ **I**: é a corrente elétrica em ampères (A);
- ✓ **Q**: é a carga elétrica em coulombs (C);
- ✓ **t**: é o tempo em segundos (s).

Essa fórmula indica que a corrente é a quantidade de carga elétrica que atravessa um condutor em um intervalo de tempo específico.

Para compreender esses conceitos na prática, considere o funcionamento de uma lanterna portátil. A bateria da lanterna fornece a tensão necessária para empurrar os elétrons

pelo circuito, passando pela lâmpada, que converte a energia elétrica em luz. Se a tensão fornecida for aumentada (por exemplo, ao adicionar mais pilhas), a corrente no circuito também aumenta, tornando a luz mais intensa. Esse exemplo simples ilustra como a tensão e a corrente estão relacionadas ao desempenho de um circuito.

Um exemplo analógico útil é comparar o sistema elétrico a um encanamento de água. A tensão elétrica seria equivalente à pressão da água no cano, enquanto a corrente elétrica representaria o fluxo de água. Assim, quanto maior a pressão (tensão), maior será o fluxo de água (carga elétrica), desde que o cano (resistência) permita o fluxo.

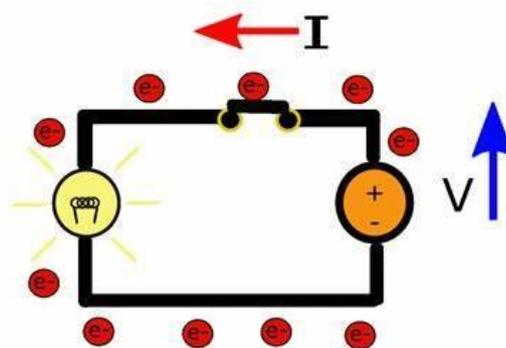


Figura 2: Ilustração de um circuito elétrico simples demonstrando o fluxo de corrente convencional (I) no sentido horário e o movimento dos elétrons no sentido oposto, em um condutor conectado a uma fonte de tensão (V).

A figura (figura 2) apresenta um circuito elétrico básico que evidencia o comportamento da corrente elétrica e dos elétrons em um condutor. No circuito, uma fonte de tensão (como uma bateria) cria uma diferença de potencial que força os elétrons a se moverem. Embora o fluxo de elétrons ocorra do polo negativo para o polo positivo da fonte, a corrente convencional, por convenção histórica, é representada como fluindo do polo positivo para o negativo.

O movimento dos elétrons no material condutor é o que realmente transporta carga, enquanto o conceito de corrente convencional é útil para simplificar os cálculos e o entendimento geral da eletricidade. Essa distinção é importante para compreender fenômenos elétricos e para o correto dimensionamento de circuitos e dispositivos elétricos.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Eu sou indispensável para o funcionamento de todos os dispositivos elétricos, mas sou invisível. Conduzo as cargas de forma organizada, mas sempre obedeco à diferença de potencial.

RESPOSTA:

Corrente elétrica.

Lei de ohm

A **Lei de Ohm** é um dos princípios mais fundamentais da eletricidade, descrevendo como a tensão elétrica (V), a corrente elétrica (I) e a resistência elétrica (R) estão inter-relacionadas em um circuito. Estabelecida pelo físico alemão Georg Simon Ohm em 1827, essa lei fornece as bases para o funcionamento de praticamente todos os dispositivos elétricos.

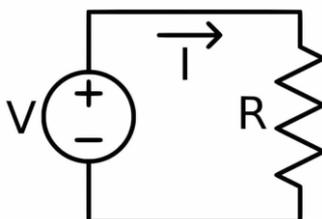


Figura 3: Circuito elétrico.

A Lei de Ohm é um princípio essencial para o entendimento do funcionamento de dispositivos elétricos e eletrônicos, como o circuito elétrico ilustrado (*figura 3*). Ela não apenas ajuda a calcular grandezas como tensão, corrente e resistência, mas também desempenha um papel crucial na preservação e segurança de equipamentos técnicos. Ignorar os limites de tensão e corrente especificados para um dispositivo pode causar danos permanentes, comprometer a eficiência do sistema e até mesmo representar riscos de segurança.

A relação entre tensão (V), corrente (I) e resistência (R) é dada pela fórmula:

$$V = R \cdot I$$

onde:

- ✓ **V:** é a tensão elétrica, medida em volts (V);
- ✓ **I:** é a corrente elétrica, medida em ampères (A);
- ✓ **R:** é a resistência elétrica, medida em ohms (Ω).

Essa fórmula mostra que a tensão é proporcional à corrente e à resistência. No contexto técnico, cada equipamento é projetado para operar dentro de limites específicos de tensão e corrente. Esses limites são definidos para evitar sobrecarga dos componentes internos, como resistores, capacitores e circuitos integrados, que podem sofrer superaquecimento ou falhas catastróficas quando submetidos a valores além de sua capacidade.

Importância de Respeitar os Limites de Corrente e Tensão:

- ✓ **Proteção contra danos:** Quando a corrente que atravessa um equipamento excede o limite especificado, componentes internos podem superaquecer, derreter ou queimar. Por exemplo, motores elétricos possuem fios internos com resistência cuidadosamente dimensionada. Ultrapassar a corrente recomendada pode danificar o isolamento, causando curto-circuito.
- ✓ **Segurança do sistema:** Exceder a tensão permitida pode gerar arcos elétricos ou sobrecarga, comprometendo a integridade do circuito e aumentando o risco de incêndios ou choques elétricos.
- ✓ **Eficiência energética:** Operar fora dos limites técnicos reduz a eficiência do equipamento, resultando em maior consumo de energia e redução da vida útil.

EXEMPLO:

Imagine um dispositivo técnico, como uma fonte de alimentação que opera com **220 volts** e consome uma corrente de **10 ampères**. Sua resistência é calculada pela Lei de Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$

Substituindo os valores:

$$R = \frac{220 V}{10 A}$$

$$R = 22 \Omega$$

Agora, considere que a corrente fornecida aumente para **15 ampères** devido a uma falha no sistema ou à substituição inadequada de componentes. A nova tensão gerada no equipamento será:

$$R = I \cdot R$$

$$R = 15 A \cdot 22 \Omega$$

$$R = 330 V$$

Nesse caso, a tensão de 330 volts ultrapassaria o limite seguro para o equipamento, resultando em superaquecimento e possível falha.

Segunda Lei de Ohm

A **Segunda Lei de Ohm** relaciona a resistência elétrica de um condutor com suas propriedades físicas. Essa lei afirma que a resistência (**R**) de um condutor é diretamente

proporcional ao seu comprimento (**L**) e inversamente proporcional à sua área de seção transversal (**A**), além de depender do material do qual é feito, representado pela resistividade (**ρ**). A fórmula é expressa como:

$$R = \rho \cdot \left(\frac{L}{A}\right)$$

Onde:

- ✓ **R** é a resistência em ohms (Ω);
- ✓ **ρ** é a resistividade do material em ohm-metro ($\Omega \cdot m$);
- ✓ **L** é o comprimento do condutor em metros (m);
- ✓ **A**: é a área da seção transversal em metros quadrados (m^2).

Essa lei destaca que materiais diferentes apresentam resistências distintas devido às suas propriedades intrínsecas, sendo que materiais como cobre e alumínio possuem baixa resistividade e são preferidos como condutores, enquanto materiais como borracha possuem alta resistividade e são usados como isolantes.

EXEMPLO:

Aplicação da Segunda Lei de Ohm

No contexto prático, a Segunda Lei de Ohm é crucial no dimensionamento de cabos elétricos. Por exemplo, para calcular a resistência de um cabo de cobre com resistividade de $1,68 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$, comprimento de **100 metros** e área de seção transversal de **2,5 mm²** (ou $2,5 \times 10^{-6} m^2$), aplicamos a fórmula:

$$R = \rho \cdot (L / A)$$

Substituindo os valores:

$$R = (1,68 \cdot 10^{-8}) \cdot \left(\frac{100}{2,5 \cdot 10^{-6}}\right)$$

$$R = (1,68 \cdot 10^{-8}) \cdot 4 \cdot 10^4$$

$$R = 0,672 \Omega$$

A resistência do cabo será 0,672 ohms, o que indica a oposição ao fluxo de corrente ao longo dos 100 metros. Esse cálculo é essencial para determinar a eficiência do cabo em sistemas elétricos, prevenindo perdas de energia e aquecimento excessivo.

Cuidados Práticos

- ✓ Sempre consulte as especificações técnicas do equipamento antes de conectá-lo a uma fonte de energia.
- ✓ Utilize disjuntores e fusíveis adequados para proteger o circuito contra sobrecorrente.
- ✓ Realize medições periódicas com multímetros para verificar se a tensão e corrente fornecidas estão dentro dos limites seguros.
- ✓ Em sistemas técnicos mais complexos, utilize dispositivos de proteção como reguladores de tensão e limitadores de corrente.



PAUSA PARA REFLETIR...

Assim como na eletricidade, a vida é uma questão de equilíbrio. Tensão demais ou de menos pode afetar o fluxo natural das coisas. Encontre o seu ponto ideal e ilumine o caminho.

Frase elaborada para esta obra.

Potência

A **potência elétrica** é a medida da quantidade de energia elétrica consumida ou transformada por um dispositivo em um determinado intervalo de tempo. Em termos práticos, ela representa o trabalho realizado por um equipamento elétrico ao transformar energia elétrica em outras formas, como calor, luz ou movimento. No Sistema Internacional (SI), a potência é medida em **watts (W)**, em homenagem ao engenheiro James Watt.

Relação entre potência, tensão e corrente

A potência elétrica é diretamente relacionada à tensão (**V**) e à corrente elétrica (**I**) que atravessam um circuito, sendo expressa pela fórmula fundamental:

$$P = V \cdot I$$

onde:

- ✓ **P**: é a potência elétrica em watts (W);
- ✓ **V**: é a tensão elétrica em volts (V);
- ✓ **I**: é a corrente elétrica em ampères (A).

Essa fórmula indica que quanto maior a tensão aplicada a um circuito e a corrente que flui por ele, maior será a potência consumida ou gerada pelo dispositivo.

Fórmulas de Cálculo

Em circuitos que contêm resistências específicas, a Lei de Ohm pode ser combinada com a fórmula da potência para obter outras formas úteis:

- ✓ Substituindo $I = \frac{V}{R}$ na fórmula original:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

- ✓ Substituindo $V = R \cdot I$ na fórmula original:

$$P = I^2 \cdot R$$

Essas variações permitem calcular a potência quando não temos informações completas sobre todos os parâmetros do circuito.

Aplicações em circuitos

A potência elétrica é um parâmetro fundamental na análise e no dimensionamento de circuitos elétricos, sendo utilizada para garantir o funcionamento seguro e eficiente de dispositivos. Exemplos de aplicações incluem:

- ✓ **Lâmpadas e iluminação:** Determinar a potência necessária para iluminar um ambiente de forma eficiente, evitando consumo excessivo de energia. Por exemplo, uma lâmpada de **100 W** consome mais energia do que uma de **60 W** ao produzir a mesma quantidade de luz em tecnologias mais modernas, como LED.
- ✓ **Motores elétricos:** Dimensionar a potência necessária para realizar um trabalho mecânico, como movimentar uma carga ou operar um ventilador.
- ✓ **Aparelhos eletrônicos:** Garantir que dispositivos como televisores, computadores ou carregadores de celular funcionem corretamente sem sobrecarregar o circuito.

Considere como exemplo, um ferro de passar roupas que opera em **220 volts** e consome uma corrente de **5 ampères**. A potência elétrica pode ser calculada pela fórmula:

$$P = V \cdot I,$$

Substituindo os valores:

$$P=220 \text{ V} \cdot 5 \text{ A}$$

$$P=1.100 \text{ w}$$

Isso significa que o ferro consome **1.100 watts** de potência elétrica enquanto está em funcionamento. Esse dado é importante para verificar se o circuito onde o ferro está conectado possui a capacidade necessária para suportar a corrente exigida.

Cuidados Práticos

- ✓ Sempre verifique a potência nominal de um dispositivo para evitar sobrecargas no circuito.
- ✓ Certifique-se de que os cabos e disjuntores do sistema elétrico estão dimensionados para a potência máxima dos aparelhos conectados.
- ✓ Para economizar energia, prefira dispositivos com alta eficiência energética.

Energia elétrica e eficiência energética

Conceito de energia elétrica

A **energia elétrica** é a capacidade de realizar trabalho utilizando cargas elétricas em movimento. Ela é uma das formas mais versáteis de energia, podendo ser transformada facilmente em calor, luz, movimento ou som, dependendo do dispositivo que a consome. Essa forma de energia é amplamente utilizada em residências, indústrias e transportes, sendo gerada por fontes como hidrelétricas, termoelétricas, solares e eólicas.

No Sistema Internacional (SI), a energia elétrica é medida em **joules (J)**, mas no contexto cotidiano e comercial, utiliza-se o **quilowatt-hora (kWh)**, que representa a energia consumida por um dispositivo que opera com uma potência de 1 quilowatt durante uma hora.

Cálculo de consumo energético

O consumo de energia elétrica de um dispositivo ou sistema pode ser calculado pela fórmula:

$$E = P \cdot t$$

Onde:

- ✓ **E:** é a energia consumida em quilowatt-hora (kWh);
- ✓ **P:** é a potência do dispositivo em quilowatts (kW);
- ✓ **t:** é o tempo de funcionamento em horas (h).

Para calcular o custo desse consumo, multiplica-se a energia consumida pelo valor da tarifa de energia elétrica praticada pela concessionária.

Considere como exemplo, um ar-condicionado de 2.000 watts (ou 2 kW) que funciona por 6 horas ao dia. O consumo diário de energia é calculado como:

$$E = P \cdot t$$

$$E = 2 \text{ kW} \cdot 6 \text{ h}$$

$$E = 12 \text{ kWh}$$

Se a tarifa de energia elétrica for R\$ 0,60 por kWh, o custo diário será:

$$\text{Custo} = E \cdot \text{Tarifa} = 12 \text{ kWh} \cdot \text{R\$ } 0,60 = \text{R\$ } 7,20$$

Princípios de eficiência energética

A **eficiência energética** refere-se ao uso racional da energia, maximizando o desempenho de dispositivos e sistemas com o mínimo de desperdício. Esse princípio é essencial tanto para reduzir custos quanto para minimizar impactos ambientais, como o consumo excessivo de recursos naturais.

Os principais princípios para promover a eficiência energética incluem:

- ✓ **Uso de dispositivos eficientes:** Equipamentos com o selo de eficiência energética (como o Selo Procel no Brasil) consomem menos energia para realizar a mesma tarefa.
- ✓ **Manutenção regular:** Manter dispositivos como motores, lâmpadas e sistemas de ar condicionado em boas condições reduz o consumo desnecessário.
- ✓ **Adaptação de hábitos:** Evitar deixar aparelhos em modo stand-by ou ligados sem necessidade reduz significativamente o consumo energético.
- ✓ **Otimização de sistemas industriais:** Em indústrias, o uso de tecnologias como motores de alta eficiência e inversores de frequência pode reduzir o consumo elétrico em larga escala.

Impacto Prático

A aplicação de práticas de eficiência energética pode ser vista em uma residência que substitui lâmpadas incandescentes de 60 W por lâmpadas LED de 9 W. Considerando 10 lâmpadas usadas por 5 horas ao dia, o consumo com lâmpadas incandescentes seria:

$$E = P \cdot t$$

$$E = (60 \text{ W} \cdot 10) \cdot 5 \text{ h}$$

$$E = 3.000 \text{ Wh}$$

$$E = 3 \text{ kWh/dia}$$

Enquanto o consumo com lâmpadas LED seria:

$$E = P \cdot t$$

$$E = (9 \text{ W} \cdot 10) \cdot 5 \text{ h}$$

$$E = 450 \text{ Wh}$$

$$E = 0,45 \text{ kWh/dia}$$

Essa substituição resulta em uma economia de **2,55 kWh/dia**, que, ao final do mês, representa **76,5 kWh**, reduzindo significativamente o valor da conta de energia.

CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CC. ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

Associações de resistores

Quando diversos resistores são interligados, os efeitos de suas resistências se combinam e o resultado é que todo o conjunto se comporta de uma forma bem definida, que pode ser prevista através de cálculos. Além disso, cada resistor associado passa a se comportar de uma forma diferente de quando está isolado.

Nos circuitos elétricos alimentados por corrente contínua (CC), a tensão fornecida pela fonte é constante, resultando em um fluxo de corrente uniforme no circuito. Nesses sistemas, os resistores desempenham um papel essencial no controle do fluxo de corrente e na distribuição de energia elétrica. As associações de resistores em série, paralelo ou combinações das duas permitem ajustar as características do circuito para atender às necessidades específicas de operação.

Para os profissionais da eletrônica, é importante saber como calcular os efeitos dessas associações de resistores e saber o que acontece com cada um, dependendo da forma como eles são ligados. Aprenderemos então os tipos de associações de resistores e quais os seus efeitos.

Associação em série

Quando dois ou mais resistores são ligados da forma indicada na figura, dizemos que eles estão associados ou ligados em **série**.

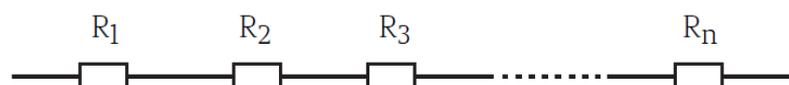


Figura 3: Representação de resistores em série no circuito elétrico.

Este conjunto de resistores, de R₁ a R_n, se comporta como um único resistor que tem resistência R, cujo valor é a soma das resistências associadas:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Em suma, para calcular a resistência equivalente a uma associação de resistores em série, basta somar suas resistências. Por exemplo, um resistor de 5 ohms em série com um de 7 ohms resulta numa resistência equivalente de 12 ohms. A seguir enumeramos as propriedades de uma associação de resistores em série:

1. A corrente é a mesma em todos os resistores.
2. O resistor de maior valor fica submetido à maior tensão.
3. O resistor de maior valor se aquece mais (dissipa mais calor).
4. A resistência equivalente é maior que o valor do maior resistor associado.

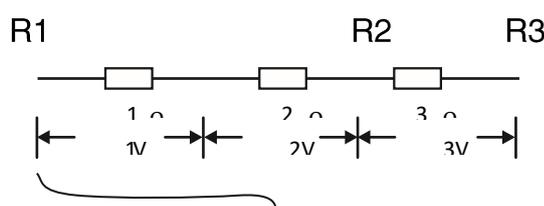


Figura 4: Representação de um circuito elétrico em série contendo três resistores (R_1 , R_2 e R_3), com suas respectivas resistências, quedas de tensão e a corrente fluindo por todo o circuito.

O circuito apresentado na figura (*figura 4*) ilustra o comportamento de um sistema de resistores conectados em série. Em um circuito em série, a corrente elétrica (I) é a mesma para todos os componentes, enquanto a tensão total do circuito é distribuída entre os resistores proporcionalmente às suas resistências.

No caso específico da figura, temos os resistores R_1 , R_2 e R_3 com resistências de 10Ω , 20Ω e 30Ω , respectivamente. As quedas de tensão (V) em cada resistor são $1V$, $2V$ e $3V$, obedecendo à Lei de Ohm ($V = R \cdot I$). A soma das quedas de tensão nos resistores é igual à tensão total aplicada ao circuito, o que reflete o princípio da conservação de energia.

Esse tipo de configuração é amplamente utilizado em sistemas onde é necessário dividir a tensão de forma controlada ou analisar o comportamento de diferentes elementos em uma mesma corrente elétrica. Os conceitos ilustrados aqui são fundamentais para entender o funcionamento de circuitos mais complexos.

Associação em paralelo

Quando dois ou mais resistores são ligados da forma indicada na figura (*figura 5*), dizemos que eles estão associados em **paralelo**.

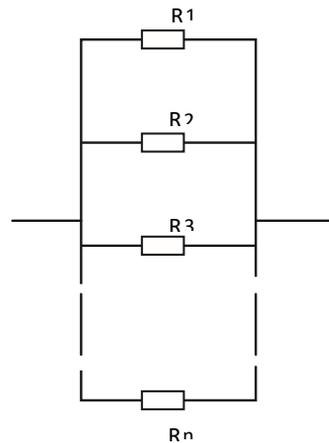


Figura 5: Representação de um circuito elétrico em paralelo contendo múltiplos resistores (R_1 , R_2 , R_3 e R_n), com caminhos independentes para a corrente elétrica.

O circuito ilustrado (*figura 5*) apresenta uma configuração de resistores conectados em paralelo. Em um circuito paralelo, a corrente elétrica é dividida entre os diferentes ramos, enquanto a tensão nos terminais de cada resistor é a mesma. Essa configuração é caracterizada por múltiplos caminhos independentes para a corrente.

A resistência equivalente (R_{eq}) em um circuito paralelo é calculada utilizando a fórmula:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} +$$

Essa relação indica que a resistência equivalente de um circuito paralelo será sempre menor do que a menor resistência individual presente no circuito.

Essa configuração é amplamente utilizada em aplicações práticas, como em sistemas de distribuição de energia elétrica, onde é necessário garantir que dispositivos conectados a uma mesma fonte recebam a mesma tensão. Compreender o comportamento dos circuitos paralelos é fundamental para a análise e o dimensionamento de sistemas elétricos mais complexos.

Este conjunto de resistores de R_1 a R_n se comporta como um único resistor de valor R , ou seja, tem uma resistência equivalente a R que pode ser calculada pela seguinte fórmula:

Se tivermos apenas dois resistores associados, como no circuito ilustrado (*figura 6*), podemos simplificar esta fórmula para:

$$R = \frac{(R_1 \cdot R_2)}{(R_1 + R_2)}$$

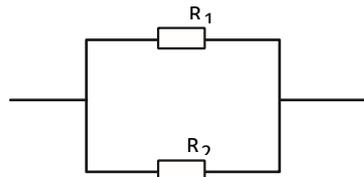


Figura 6: Representação de um circuito elétrico em paralelo contendo dois resistores R1 e R2, com caminhos independentes para a corrente elétrica.

EXEMPLO:

Calcule a resistência equivalente do circuito ilustrado (figura 7):

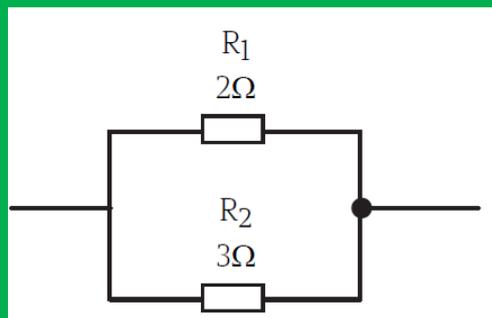


Figura 7: Resistor de 2 ohms ligado em paralelo com um de 3 ohms.

$$R = \frac{(2 \times 3)}{(2 + 3)}$$

$$R = \frac{6}{5}$$

$$R = 1,2 \text{ ohm}$$

Em uma associação em paralelo, a corrente se divide pelos resistores, enquanto todos eles ficam submetidos à mesma tensão. A seguir enumeramos as propriedades desta associação, as quais devem ser memorizadas:

1. A resistência equivalente a uma associação em paralelo é menor que o valor do menor resistor associado.
2. Todos os resistores ficam submetidos à mesma tensão.
3. O resistor de menor valor é percorrido pela maior corrente.
4. O resistor de menor valor dissipa mais calor.

OBSERVAÇÃO:

- ✓ É muito importante que você memorize tanto as fórmulas para o cálculo das resistências equivalentes quanto às principais propriedades de cada tipo de

associação. Como o cálculo de resistores em série e em paralelo envolve o conhecimento de um pouco de matemática básica, em caso de dúvidas você deve procurar ajuda específica.

Associação em série/paralelo

Podemos combinar resistores em série e em paralelo, obtendo, desta forma, associações mais complexas, como ilustrado (*figura 8*). Nela encontramos alguns resistores ligados em série e outros ligados em paralelo.

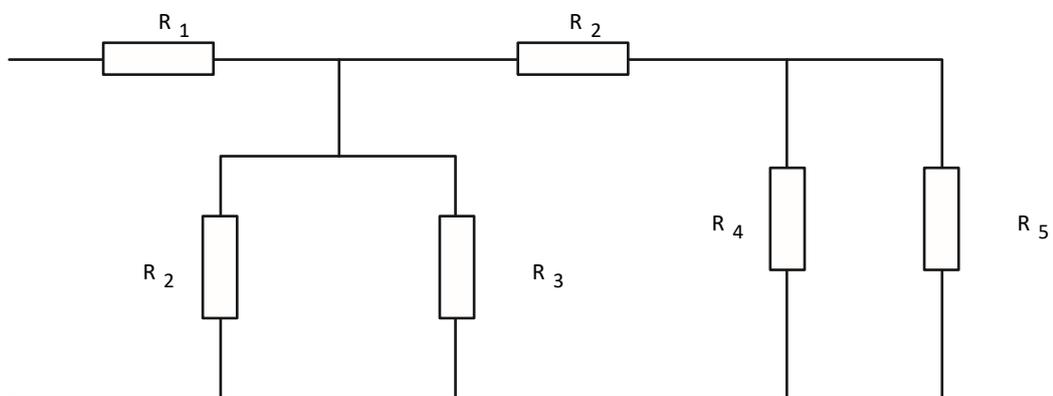


Figura 8: Circuito elétrico com resistores em série/paralelo.

Para determinar a resistência equivalente a esse tipo de associação, não temos uma fórmula específica, pois as ligações série/paralelo podem ser feitas de várias formas, como ilustrado (*figura 9*).

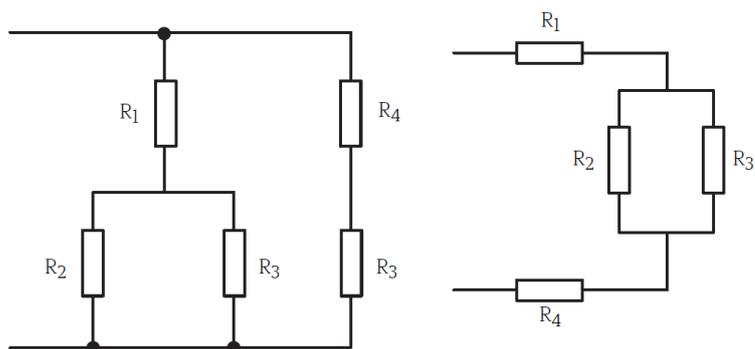


Figura 9: Circuitos elétricos com resistores em série/paralelo em diferentes configurações.

Para se calcular a resistência equivalente a esse tipo de associação, o que fazemos é trabalhar por etapas, calculando setores em que podemos perceber que temos uma associação em série ou uma associação em paralelo simples.

No circuito da figura (figura 10), podemos começar calculando a resistência R_a equivalente a R_1 e R_2 , que estão em série. Depois calculamos R_b equivalente a R_3 e R_4 , que estão em paralelo.

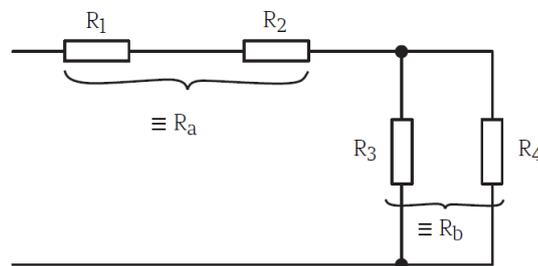


Figura 10: Circuito elétrico com resistores em série/paralelo.

Como resultado desses cálculos, temos uma associação mais simples, em que R_a e R_b estão em série, como ilustrado (figura 11).

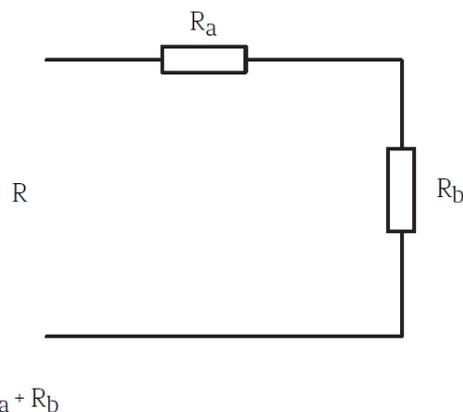


Figura 11: Circuito elétrico com resistores em série após junção da equivalência entre resistores em série/paralelo.

Basta então somar R_a e R_b para se obter a resistência equivalente a todo o conjunto que é R . Evidentemente, para as associações mais complicadas, precisamos fazer muitos cálculos como esse para obter a resistência final equivalente.

Propriedades e componentes associados

Resistência Elétrica

Quando uma corrente atravessa um fio metálico, temos a produção de calor, que resulta da conversão da energia gasta pelas cargas para vencer a oposição do condutor metálico. Isso ocorre porque, da mesma forma que não existe um isolante perfeito, também não existe um condutor perfeito. Mesmo o melhor metal, ou qualquer outro meio sólido, líquido ou gasoso, não permite que as cargas o atravessem sem lhes apresentar uma certa oposição, denominada **resistência elétrica**.

Essa característica dos materiais pode ter muitas aplicações práticas. Podemos, por exemplo, usar um dispositivo que tenha uma certa resistência elétrica para reduzir propositalmente a intensidade da corrente num circuito, até que ela atinja um valor desejado. Essa é uma das funções dos resistores.

Resistores

Os resistores podem ser definidos como componentes cuja finalidade é apresentar uma certa resistência elétrica. Veja a seguir (*figura 12*) os símbolos adotados para representá-los:



(Internacional)



(EE. UU.)

Figura 12: Símbolo encontrado em diagramas de origem europeia, que é também o mais adotado em nosso país e o símbolo adotado nos diagramas de origem americana.

Na prática, precisamos de componentes que apresentem uma certa resistência para executar diversas funções nos circuitos, tais como reduzir a intensidade de uma corrente a um valor desejado, ou reduzir uma tensão a um determinado valor.

Dependendo do tipo de aplicação, da intensidade da corrente com que devem trabalhar, além de outros fatores, os resistores podem ser fabricados com diversos materiais e em diversos tamanhos. A seguir iremos conhecer os tipos mais comuns.



VOCÊ SABIA?

Você sabia que a resistência elétrica de um fio pode variar de acordo com o material e sua temperatura? É por isso que o cobre, com baixa resistividade, é o material preferido em cabos elétricos.

Tipos de Resistores

As dimensões e os materiais usados na fabricação dos resistores influem no seu desempenho, assim como na quantidade de calor que eles transferem para o ambiente. Um

resistor que não transfere o calor gerado para o ambiente acaba se aquecendo demais e “queimando”. Por isso a fabricação desses componentes deve levar em conta não só o material de que são feitos, mas também as suas dimensões, a fim de controlar as características de cada resistor, como ilustrado (figura 13):

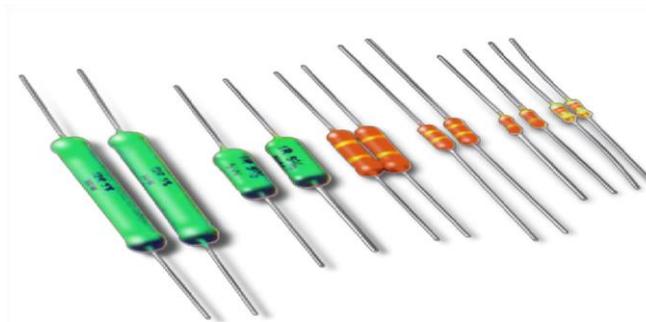


Figura 13: Diferentes dimensões espaciais de resistores.

Os resistores fabricados com um valor de resistência determinado são também conhecidos como “resistores fixos”. Os principais tipos de resistores fixos são os seguintes:

Carvão ou carbono

Os resistores de carbono são os mais comuns de todos. São fabricados depositando-se uma película de carbono num pequeno tubo de porcelana. A espessura e as raiais dessa película determinam a resistência que o componente vai apresentar.

O tamanho desses resistores depende da quantidade de calor que eles podem dissipar, mas em geral são resistores de pequena ou baixa potência, podendo ser encontrados com dissipações de 1/8 W (0,125) a 2 W.

Um aspecto negativo dos resistores de carbono está no fato de serem ruidosos: quando a corrente passa através de um deles, a agitação térmica do material acaba gerando ruídos no circuito. Isso impede, por exemplo, a utilização desse tipo de componente em circuitos de som mais sensíveis.

Película metálica

Os resistores de película metálica são menos ruidosos que os de carbono. São fabricados depositando-se uma fina película de metal num tubinho de porcelana, exatamente como no caso dos resistores de carbono. Podem ser encontrados na mesma faixa de dissipação dos resistores de carbono.

Fio ou potência

Um importante tipo de resistor é o que se destina a trabalhar com correntes intensas, devendo, para isso, dissipar uma grande quantidade de calor. Esses resistores, além de serem maiores, precisam ser feitos de materiais que suportem temperaturas mais elevadas.

O tipo mais comum é fabricado enrolando-se fio metálico (normalmente níquel-cromo, ou nicromo) numa base de porcelana. O resistor de fio pode ser encontrado em dissipações que vão de 1 ou 2 W até mais de 100 W.

Valores e Tolerância

A resistência elétrica é medida em ohms (Ω), e quando se refere a um resistor é também chamada de **valor**. Nas aplicações eletrônicas, podemos encontrar resistores de uma grande variedade de valores. Os menores chegam a ser de 0,1 ohm e os maiores podem chegar a 22.000.000 ohms (22 M).

Evidentemente, fabricar todos os valores entre esses dois extremos seria impossível. Se fôssemos fabricar resistores com todos os valores até 22.000.000 ohms (22 M), precisaríamos ter 22 milhões de “formas” diferentes e, para ter um estoque de trabalho, precisaríamos de um gaveteiro com igual número de gavetas. Como fazer então?

Ocorre que, na prática, não precisamos ter valores precisos de resistores para a maioria das aplicações. Assim, quando se projeta um equipamento eletrônico, leva-se em conta uma certa **tolerância** de valores para os componentes usados.

Uma faixa comum de tolerância é 10%. Isso significa que, se calcularmos um valor de 100 ohms para uma aplicação, o aparelho vai funcionar normalmente se usarmos qualquer valor de resistência entre 90 e 110 ohms (10% para mais ou para menos). Como consequência, em vez de precisarmos fabricar todos os valores de resistores entre 90 e 110 ohms, é suficiente que tenhamos o valor de 100 ohms, que vai cobrir esta faixa; em seguida teremos o de 120 ohms, que vai cobrir a faixa logo acima, e assim por diante, como ilustrado (figura 14):

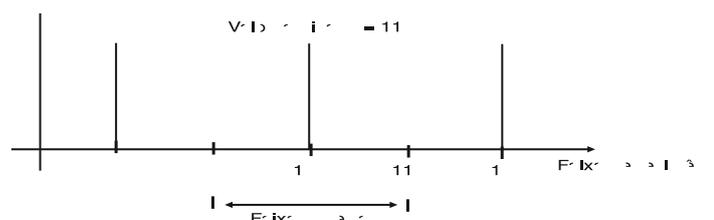


Figura 14: Faixa de resistência para três tipos diferentes de resistores.

Em aplicações mais críticas, podemos adotar uma tolerância de 5% e, em outros casos, de até 20%. Isso nos possibilita trabalhar com poucos valores padronizados e cobrir todos os valores usados nos circuitos, empregando sempre o mais próximo do desejado.

Para cada faixa de tolerância, existe uma **série** de valores. Tais séries são adotadas universalmente e correspondem aos códigos E6, E12 e E24.

10 12 15 18 22 27 33 39 47 56 68 82

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Observe que a série é chamada E12 pois usa 12 valores básicos. Multiplicando-os ou dividindo-os Para a série E12, por exemplo, os valores são: por 10, 100, 1.000, etc., obtemos os outros valores possíveis.

Nesta série, com 10% de tolerância, temos, portanto, valores como 470 ohms, 2.200 ohms, 56.000 ohms, 1,2 ohm, 330.000 ohms, etc. Evidentemente não teremos valores como 38 ohms, 245 ohms, 24.000 ohms, pois não fazem parte da série.

Para a série E6 (20% de tolerância) temos os valores básicos:

10 15 22 33 47 68

Para a série E24 (5% de tolerância) os valores são:

10 11 12 13 15 16 18 20 22 24 27 30 33 36 39 43 47 51 56 62 68 75 82 91 0

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Para as séries E6 e E24, é válido o mesmo processo de multiplicação e divisão por 10, 100 e 1000.

Código de Cores

Nos resistores de grandes dimensões, como os resistores de fio, existe bastante espaço para especificar o valor, dissipação e demais informações que sejam importantes para o usuário. No entanto, nos resistores pequenos esse espaço não existe, o que acarreta dificuldades para fabricantes e usuários.

Uma forma de se especificar os valores dos resistores (e de outros componentes pequenos) é por meio de pintas, anéis ou faixas coloridas. Essas faixas podem ser pintadas automaticamente durante a fabricação, num processo muito mais simples que o da escrita

de cada detalhe do componente. Adota-se então uma codificação universal que os profissionais da área devem conhecer.

O código para os resistores consiste numa sequência de faixas coloridas que são pintadas no corpo do componente, cada faixa tendo um significado associado à posição que ocupa na sequência. Os resistores podem ter três, quatro ou cinco faixas pintadas.

Cor	Valor	Multiplicador	Tolerância
Preto	0	x 1	-
marrom	1	x 10	± 1%
Vermelho	2	x 100	± 2%
Laranja	3	x 1.000	-
Amarelo	4	x 1.0000	-
verde	5	x 100.000	± 0,5%
Azul	6	x 1.000.000	± 0,25%
Violeta	7	-	± 0,1%
Cinza	8	-	-
Branco	9	-	-
Ouro	-	x 0,1	± 5%
Prata	-	x 0,01	± 10%
Incolor	-	-	± 20%

Tabela 1: código de cores.

O código de cores ilustrado (*figura 15*) é de extrema importância para o profissional, pois também é adotado na identificação de outros componentes que não os resistores.

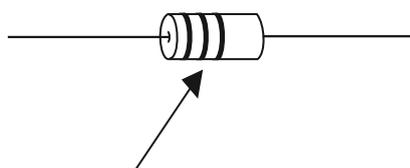


Figura 15: Código de cores de um resistor.

Usando o código:

a) Três e quatro faixas: contando a partir da esquerda, as duas primeiras faixas ou dois primeiros anéis determinam os dois primeiros dígitos do valor da resistência. Ex.: Vermelho, Violeta = 27

A terceira faixa determina qual será o multiplicador das primeiras faixas.

EXEMPLO:

- ✓ Laranja ($\times 1.000$). $27 \times 1.000 = 27.000$
- ✓ O valor será 27.000 ohms ou 27 k.
- ✓ Se tivermos três faixas, a tolerância será de 20%; se tivermos quatro faixas, a quarta determina a tolerância conforme a tabela.

b) Cinco faixas: as três primeiras determinam os três dígitos do valor.

EXEMPLO:

- ✓ Marrom, verde, violeta = 157.
- ✓ A quarta faixa é o multiplicador. Exemplo: vermelho ($\times 100$)
- ✓ $157 \times 100 = 15.700$
- ✓ O resistor será de 15.700 ohms, ou 15,7 k.
- ✓ A quinta faixa determina a tolerância, conforme a tabela.

Resistores Variáveis

Nos circuitos eletrônicos em geral, existem aplicações em que é preciso alterar o valor do resistor de modo a ajustá-lo ao funcionamento de um equipamento, ou mesmo mudar o comportamento do aparelho durante a operação. É o que acontece quando desejamos alterar o volume ou o tom da reprodução do som de um rádio ou amplificador. Para essas aplicações, existem os **resistores variáveis**.

Dentre os diversos tipos de resistores variáveis, os mais comuns são os potenciômetros e os trimpots.

Potenciômetros

Os potenciômetros são resistores variáveis que nos permitem atuar sobre um elemento de controle e mudar sua resistência a qualquer momento. São usados como controles em diversos equipamentos, normalmente instalados em seus painéis. É o caso dos potenciômetros de controle de volume e tom de rádios e amplificadores.

Os potenciômetros são representados pelos seguintes símbolos (*figura 16*):

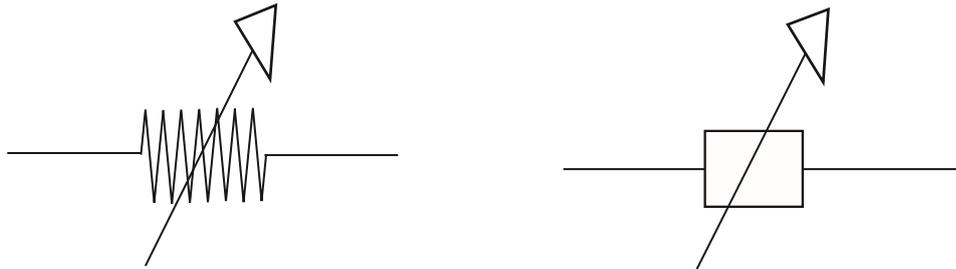


Figura 16: Símbolos de representação para potenciômetros.

Nos potenciômetros **rotativos**, como ilustrado (*figura 17-a*) existe um cursor que desliza sobre um elemento de resistência, de modo que a resistência entre o ponto A e o cursor varia ao mesmo tempo que a resistência entre o ponto B e o cursor (*figura 17-b*).

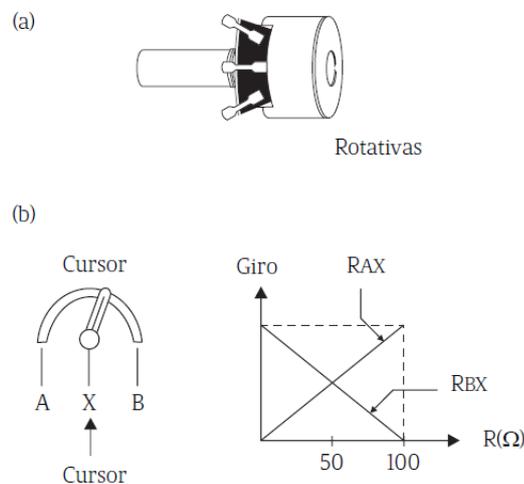


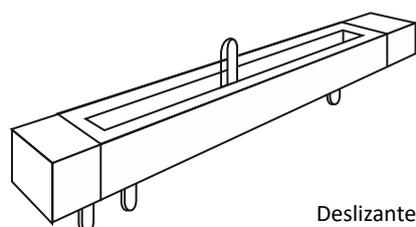
Figura 17: a) Potenciômetros rotativos. b) Cursor de giro.

Assim, quando o cursor vai de A para B, a resistência entre A e o cursor aumenta, enquanto a resistência entre B e o cursor diminui. Enquanto isso, a resistência entre as extremidades permanece constante; é a chamada **resistência nominal** do potenciômetro.

Vejamos um exemplo: num potenciômetro de 100 ohms, a resistência varia de 0 a 100 entre A e o cursor, e de 100 ohms a 0 entre o cursor e B, mas fica constante em 100 ohms entre as extremidades.

Dependendo da intensidade da corrente que deverá passar pelos potenciômetros, eles podem ser feitos de carbono ou fio. Os de fio são usados no controle de correntes maiores.

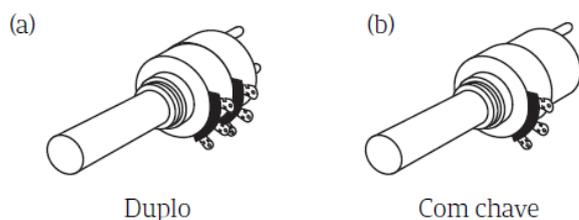
Nos potenciômetros **deslizantes**, como o ilustrado (*figura 18*), ou slide, o cursor desliza sobre o elemento resistivo de carbono, de modo a termos o mesmo tipo de variação da resistência entre A e o cursor e entre B e o cursor.



Deslizante

Figura 18: Potenciômetros deslizantes.

Em alguns casos os potenciômetros podem ser duplos ou mesmo incorporar outros elementos de controle de um circuito, como, por exemplo, uma chave que liga e desliga, como ilustrado (*figura 19*).



Duplo

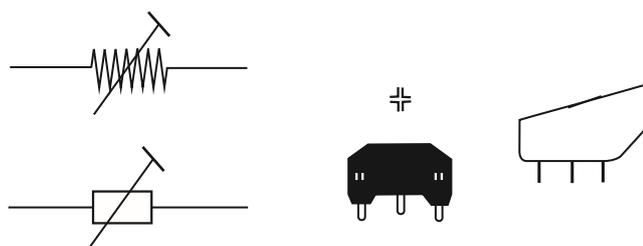
Com chave

Figura 19: a) Potenciômetro deslizante duplo. b) Potenciômetros deslizantes com chave.

Trimpots

Esse tipo de resistor variável é usado na parte interna dos equipamentos, tendo a função de possibilitar ajustes. Normalmente, uma vez ajustados para apresentar uma determinada resistência, os trimpots não são mais tocados, a não ser quando necessário.

Na figura (*figura 20*) vemos os aspectos mais comuns desses componentes, assim como seu símbolo.

**Figura 20:** Símbolos e resistores variáveis trimpots.

Os trimpots são normalmente de carbono e têm o mesmo modo de variação de resistência que os potenciômetros.

Um tipo importante de resistor variável de ajuste é o trimpot (ou potenciômetro) multivoltas (*figura 21*).

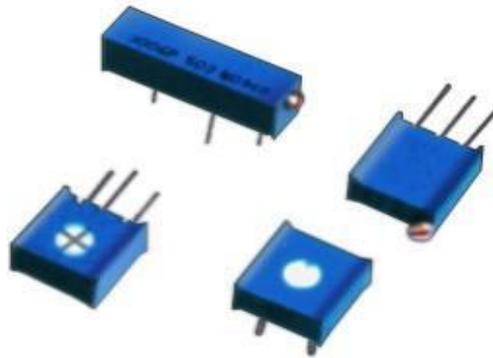


Figura 21: Potenciômetro multivoltas.

Nele, o cursor desliza quando é girado um parafuso. Para que o cursor vá de uma extremidade a outra do elemento de resistência, é preciso dar muitas voltas no parafuso. Isso permite um ajuste preciso da resistência apresentada pelo componente, o que o torna ideal para as aplicações mais críticas.

Tanto os potenciômetros como os trimpots são encontrados em faixas de valores que vão de poucos ohms até mais de 4,7 Mohms.

Potenciômetros Lineares e Logarítmicos

A utilidade dos resistores variáveis, principalmente potenciômetros, não se limita à variação do valor e da capacidade de dissipar mais ou menos calor. Existem aplicações em que precisamos variar de maneira constante e uniforme a resistência apresentada pelo componente num circuito; outras ainda esperam de um componente um comportamento não uniforme. Isso nos leva a dois grupos de potenciômetros, que se diferenciam segundo o modo de variação da sua resistência.

Potenciômetros Lineares ou Lin

Os potenciômetros lineares são aqueles cuja resistência varia em proporção direta com o movimento de seu cursor; ou seja, em proporção direta com o ângulo de giro nos potenciômetros rotativos, ou com o deslocamento do cursor nos potenciômetros deslizantes.

A “curva” de variação da resistência desses potenciômetros é uma reta como ilustrado (figura 22).

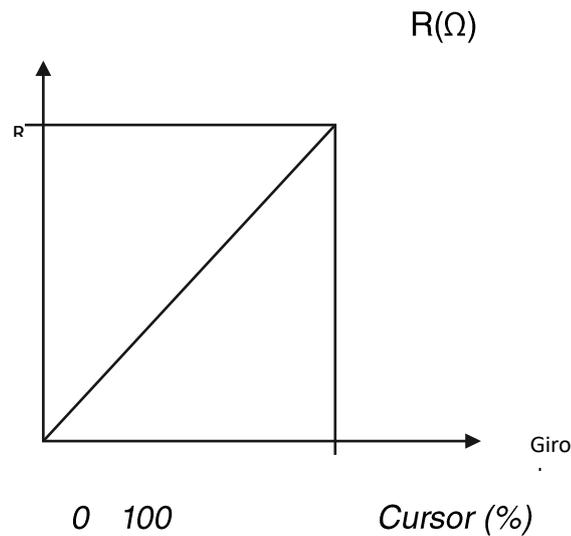


Figura 22: Curva de um Potenciômetro Linear.

Os potenciômetros lineares podem ser usados em aplicações de controle e em outras nas quais seja necessária uma variação desse tipo.

Potenciômetros Logarítmicos ou Log

O ouvido humano não tem uma característica linear de sensibilidade. Ele é mais sensível aos sons fracos e diminui a sensibilidade para os sons mais fortes, como se houvesse um “controle de ganho” evitando que nossos tímpanos sejam feridos.

A curva de sensibilidade do ouvido humano é representada pelo gráfico da figura (figura 23).

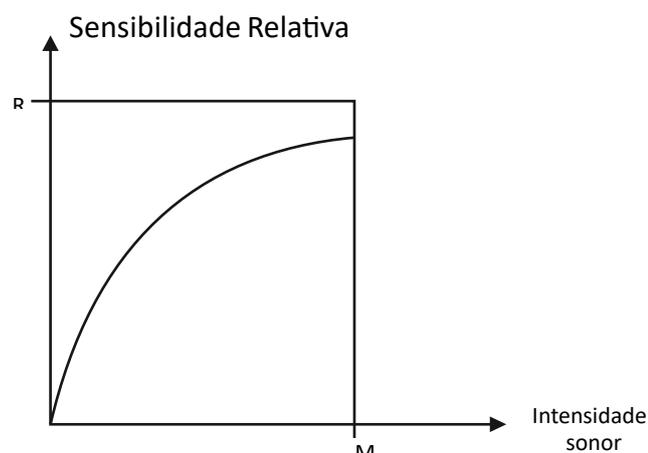


Figura 23: Curva de Sensibilidade do Ouvido.

Trata-se de uma curva logarítmica em que a sensibilidade é proporcional ao logaritmo (log) da intensidade sonora.

Como, em muitas aplicações, os potenciômetros são usados como controle de volume sonoro (por exemplo, em amplificadores e outros equipamentos de som), é interessante adaptar esses componentes para que sua curva de variação de resistência esteja de acordo com a sensibilidade do nosso ouvido. Isso possibilita um controle mais suave e preciso do som naqueles equipamentos.

Os potenciômetros que apresentam esse tipo de curva são chamados potenciômetros logarítmicos, ou log, como ilustrado (*figura 24*). Encontrados nos controles de volume de diversos tipos de aparelhos, possuem uma variação mais suave da resistência no início do movimento do cursor e mais acentuada no centro.

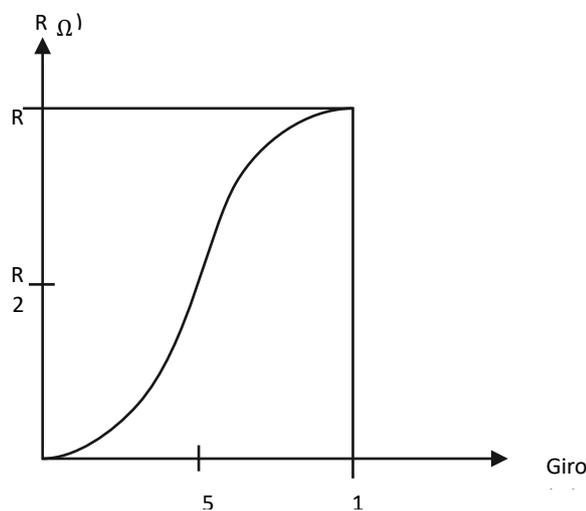


Figura 24: Curva de um potenciômetro Logarítmico.

OBSERVAÇÃO:

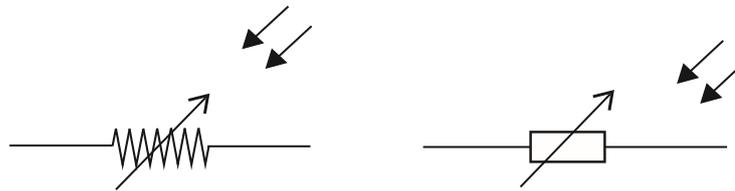
- ✓ Os potenciômetros lin e log podem ser tanto rotativos como deslizantes. Além desses dois tipos, são encontráveis potenciômetros com curvas as mais diversas, adaptadas ao tipo de controle que se quer ter sobre o circuito.

Resistores Sensíveis à Luz (LDRs)

LDR é a abreviação de Light Dependent Resistor, ou Resistor Dependente de Luz. Trata-se de um componente cuja resistência varia conforme a quantidade de luz que incide numa superfície sensível, feita de sulfeto de cádmio (CdS). Por isso, em algumas publicações

técnicas, o LDR poderá ser chamado de célula de sulfeto de cádmio, ou CdS. Também é conhecido como foto-resistor.

Na figura (figura 25) temos o símbolo adotado para representar esse componente dos tipos mais comuns.



Símbolos

Figura 25: Símbolos mais comuns para resistores sensíveis a luz.

O comportamento elétrico do LDR é mostrado pelo gráfico da figura (figura 26).

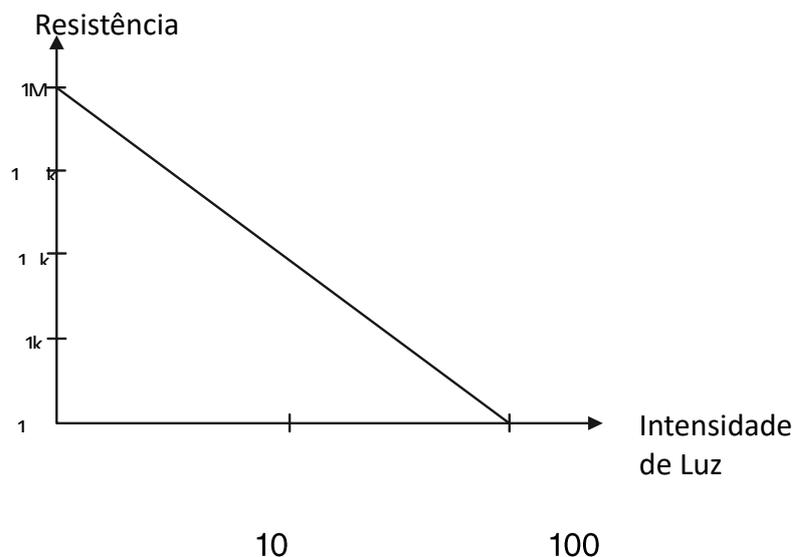


Figura 26: Comportamento elétrico de resistores sensíveis a luz.

No escuro, este componente apresenta uma resistência muito alta, da ordem de centenas de milhares ou mesmo milhões de ohms. No claro, sob iluminação forte como a do sol, essa resistência pode cair para menos de 100 ohms.

Em outras palavras: no escuro, o LDR se comporta como um resistor de valor muito alto, não deixando passar a corrente elétrica; no claro, funciona como um resistor de valor baixo, que deixa passar bastante corrente.

A sensibilidade do LDR é muito grande, o que faz dele um componente muito apropriado para aplicações tanto amadores como profissionais. Por exemplo, tanto os

sistemas de iluminação pública quanto sistemas automáticos de uso doméstico usam o LDR como sensor.

Apesar dessa sensibilidade e versatilidade, o LDR tem uma limitação que precisa ser considerada: para certas aplicações, ele é muito lento. Mesmo sendo mais rápido que o olho humano, ele não pode ser usado em aplicações mais críticas que envolvam, por exemplo, a detecção de variações de luz que ocorram com muita rapidez.

Resistores Sensíveis à Temperatura

Além dos componentes cuja resistência se altera conforme a luz, temos aqueles cuja resistência varia de acordo com a temperatura. São os chamados PTCs e NTCs.

PTC: é a abreviação de Positive Temperature Coefficient, ou Coeficiente Positivo de Temperatura. Trata-se de um componente cuja resistência aumenta quando a temperatura aumenta (por isso a expressão “coeficiente positivo”).

Na (figura 27) temos o símbolo adotado para representar esse componente e o aspecto dos tipos mais comuns.

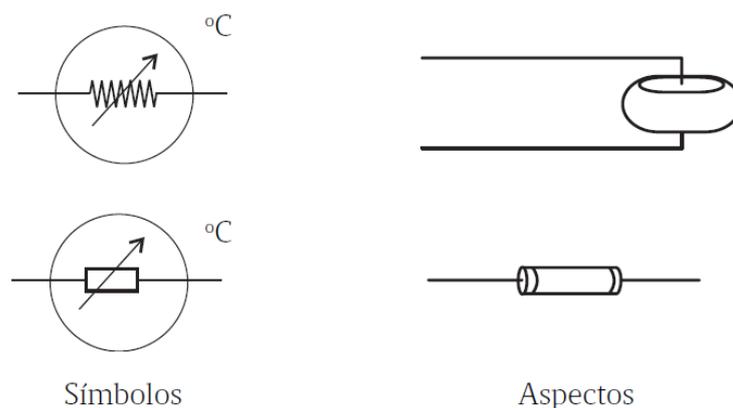


Figura 27: Símbolos para resistores PTC.

A figura representa a curva característica do PTC (figura 28). Pelo gráfico, fica claro que, para temperaturas maiores, a resistência desse componente é maior.

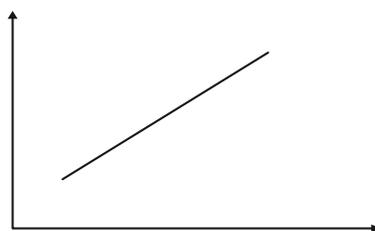


Figura 28: Gráfico de resistores PTC.

Os PTCs podem ser usados como estabilizadores em circuitos, de modo a compensar os efeitos da temperatura. Por exemplo, quando a corrente aumenta num circuito, tendendo a aquecer demais um componente crítico, o PTC entra em ação, reduzindo a corrente e com isso compensando os efeitos da elevação da temperatura.

Encontramos os PTCs em televisores, monitores de vídeo, diversos tipos de equipamentos de uso doméstico e industrial, além de equipamentos científicos.

NTC é a abreviação de Negative Temperature Coefficient, ou resistor com Coeficiente Negativo de Temperatura. Este componente funciona “ao contrário” do PTC, pois sua resistência diminui quando a temperatura aumenta.

Na figura (figura 29) temos o símbolo adotado para representar este componente e seus aspectos mais comuns.

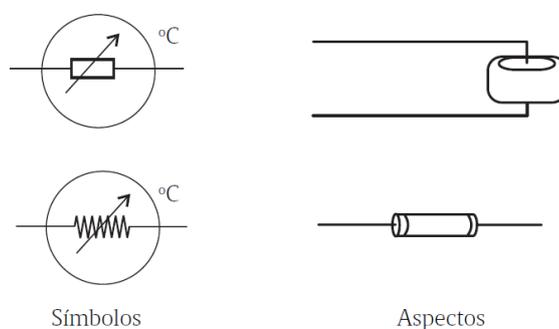


Figura 29: Símbolos para resistores NTC.

Na figura (figura 30), mostramos a sua curva característica. Observe que, nas temperaturas mais altas, a resistência é mais baixa.

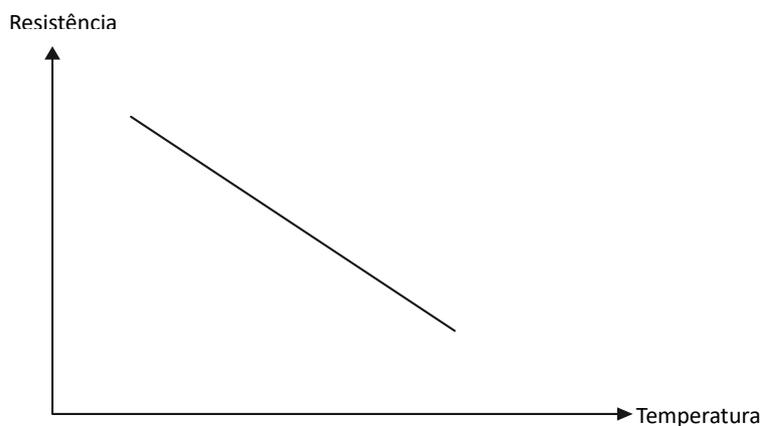


Figura 30: Gráficos para resistores NTC.

Os NTCs têm basicamente as mesmas aplicações que os PTCs, atuando como sensores de temperatura de algum dispositivo de controle. Eles podem ser encontrados em equipamentos de uso doméstico e industrial, além de equipamentos médicos e de pesquisa.

Um tipo especial de NTC é o mostrado na figura (*figura 31*), que possui uma capacidade térmica muito pequena, ou seja, absorve pouco calor.



Figura 31: Gráficos para resistores NTC.

Como absorve muito pouco calor, dadas as suas dimensões, este sensor afeta muito pouco a temperatura do local em que está sendo usado, o que o torna ideal para a fabricação de termômetros eletrônicos sensíveis. Por isso, esse tipo de NTC é chamado de termométrico.

Capacitores

Podemos definir o capacitor como um componente que pode armazenar cargas ou energia elétrica.

Duas placas de metal separadas por um material isolante formam um componente que chamamos de **capacitor plano**. As placas de metal são chamadas de **armaduras** e o material isolante de **dielétrico**, como ilustrado (*figura 32*).

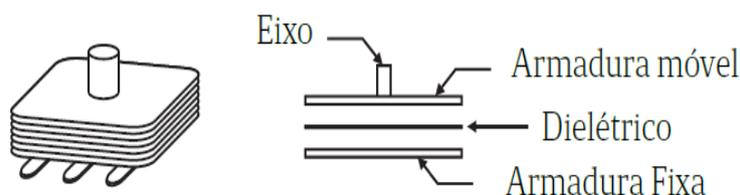


Figura 32: Elementos de capacitores.

Ligando esse componente a uma bateria, uma das armaduras se carrega positivamente e a outra negativamente. Ao carregarmos um capacitor, produzimos um campo

elétrico entre as armaduras e, em consequência, estabelecemos uma diferença de potencial entre elas, como ilustrado (figura 33).

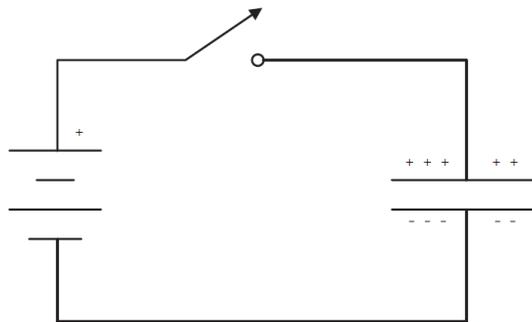


Figura 33: Circuito elétrico com chave para o carregamento das placas de um capacitor.

A quantidade de cargas da armadura positiva é igual à da armadura negativa. Mesmo depois de desligarmos a bateria, essas cargas são mantidas pela atração mútua através do dielétrico.

Se as armaduras de um capacitor forem interligadas por meio de um fio condutor, as cargas podem fluir de uma para a outra até se anularem, pois, conforme vimos, elas são equivalentes e de polaridades opostas. Nessas condições, o capacitor se descarrega, como ilustrado (figura 34).

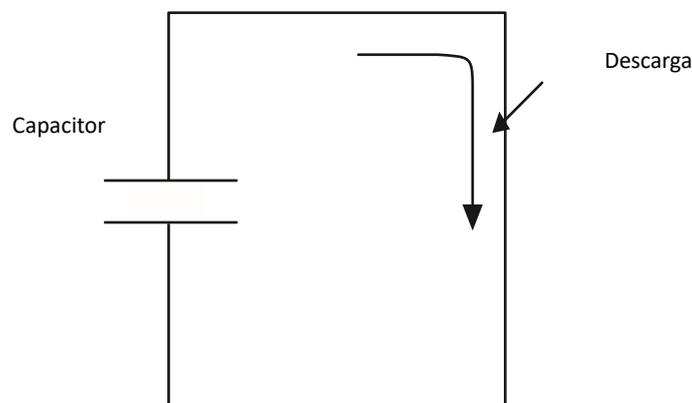


Figura 34: Descarregamento de um capacitor.

A quantidade de cargas que um capacitor pode armazenar depende de fatores como:

- ✓ O tamanho das armaduras: quanto maiores forem as armaduras de um capacitor, mais energia ele pode armazenar. Podemos dizer que a capacidade de armazenamento é diretamente proporcional à superfície das armaduras.
- ✓ A separação entre as armaduras: quanto mais próximas elas estiverem uma da outra, maior será a quantidade de cargas que o capacitor pode armazenar. Podemos dizer que a capacidade de armazenamento é inversamente proporcional à separação entre as armaduras.

- ✓ A diferença de potencial estabelecida entre as armaduras: a quantidade de cargas que podemos armazenar num capacitor depende da tensão em que isso ocorre (trataremos especificamente desse item mais adiante).
- ✓ O material de que é feito o dielétrico: o tipo de material usado como dielétrico também influi na capacidade de armazenamento de um capacitor. Se um material com maior constante dielétrica for usado, o capacitor pode armazenar maior quantidade de cargas.

O conceito de “constante dielétrica” refere-se à capacidade que cada material tem de absorver cargas elétricas. O ar e o vácuo possuem uma constante dielétrica igual ou próxima de 1. No entanto, alguns materiais empregados na fabricação de capacitores possuem constantes dielétricas muito maiores. Confira na lista a seguir as constantes dielétricas de alguns desses materiais.

Constante Dielétrica:

- ✓ Ar: 1,0006
- ✓ Baquelite: 5
- ✓ Vidro: 6
- ✓ Mica: 5
- ✓ Óleo: 4
- ✓ Papel: 2,5
- ✓ Borracha: 3
- ✓ Teflon: 2

Tipos de Capacitores

Os materiais e a forma como são feitos os capacitores normalmente lhes dão os nomes. Assim, para aplicações em eletricidade e eletrônica, encontramos capacitores de mica, cerâmica, poliéster, styroflex, papel, etc., que são nomeados conforme o material de que são feitos.

No que diz respeito à maneira como são feitos, podemos encontrar capacitores planos, tubulares, eletrolíticos, etc. O fato é que não precisamos necessariamente usar armaduras planas como as placas da figura para ter um capacitor.

Uma tecnologia muito usada para fabricar capacitores consiste em se colocar uma folha flexível de material isolante, como papel, plástico (poliéster, styroflex, polícar bonato),

etc., entre duas folhas de material condutor. Enrolando depois o conjunto e acrescentando os fios terminais, obtemos um capacitor de formato tubular, como ilustrado (figura 35).

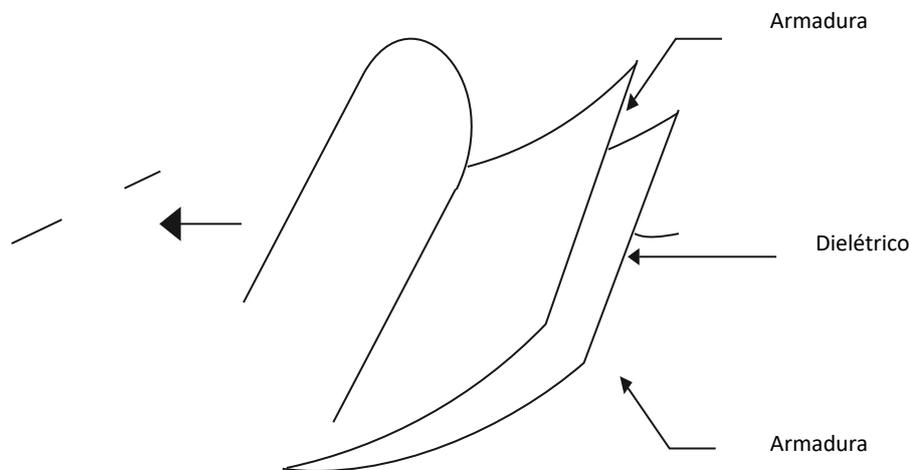


Figura 35: Uso da folha flexível em capacitores.

Outro tipo de capacitor é aquele em que o metal de uma das armaduras é “atacado” quimicamente por uma substância, formando-se entre eles uma película isolante que será o dielétrico, como o ilustrado (figura 36). Como o líquido (denominado eletrólito) que ataca quimicamente o material é condutor, ele forma a outra armadura.

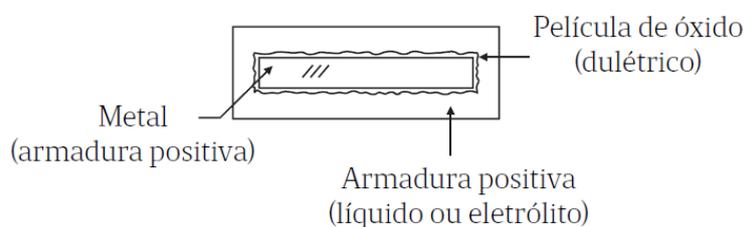


Figura 36: Capacitores com metal de uma das armaduras reagindo com substância química.

Este tipo de capacitor é denominado **eletrolítico**, e pode ser de alumínio ou tântalo, conforme o material que forma uma das armaduras. Na figura (figura 37), temos diversos tipos de capacitores encontrados nos equipamentos eletrônicos comuns.

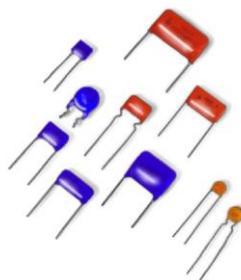


Figura 37: Tipos de capacitores encontrados em eletrônicos do dia a dia.

Capacitância

A quantidade de cargas que podemos armazenar num capacitor depende da tensão em que isso ocorre. Essa relação carga/tensão nos dá uma grandeza denominada **capacitância** do capacitor.

Chamando de C a capacitância, de Q a quantidade de cargas e de V a tensão, podemos escrever:

$$C = \frac{Q}{V}$$

A unidade de capacitância é o Farad, abreviado por F, mas o Farad é muito grande, sendo muito mais prático usar seus submúltiplos:

- ✓ microfarad (mF) que equivale a 0,000001 farad ou 10^{-6} F
- ✓ nanofarad (nF) que equivale a 0,000.000.001 farad ou 10^{-9} F
- ✓ picofarad (pF) que equivale a 0,000.000.000.001 farad ou 10^{-12} F

Veja que:

- ✓ 1 nanofarad = 1.000 picofarads
- ✓ 1 microfarad = 1.000 nanofarads
- ✓ 1 microfarad = 1.000.000 picofarads

Códigos dos Capacitores

Na prática, encontramos capacitores numa faixa de valores muito grande, que vai de poucos picofarads a mais de 100.000 microfarads ou perto de 1 farad.

Isso significa que os capacitores podem ser encontrados em tamanhos os mais variados, desde as pequenas pastilhas para montagem em superfície, de dimensões reduzidas a poucos milímetros, até os grandes, tubulares, do tamanho de uma garrafa de refrigerante de 2 litros.

Da mesma forma que nos resistores, nos capacitores pequenos a indicação dos valores pode apresentar dificuldades, o que leva os fabricantes a adotar códigos variados. A existência de mais de uma forma de se marcar o valor de um capacitor pode levar a interpretações equivocadas, por isso mesmo é preciso estar atento ao trabalhar com um componente desse tipo, a fim de evitar confusões.

Na figura (*figura 38*) temos a forma como alguns capacitores são marcados, e que deu origem a alguns códigos.

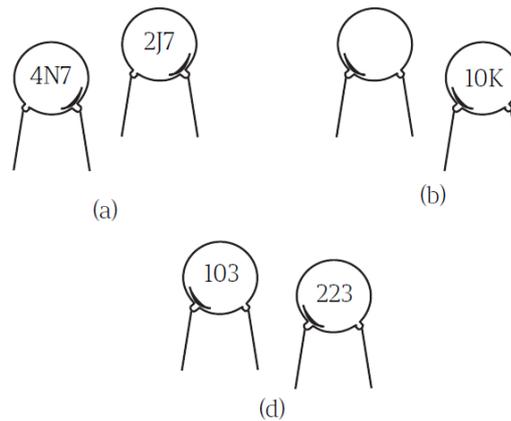


Figura 38: Forma como alguns capacitores são marcados.

No primeiro caso (a) temos a marcação de capacitores cerâmicos de pequenos valores (da ordem de poucos picofarads), em que uma letra substitui a vírgula decimal. Esta letra indica o comportamento térmico do capacitor, ou seja, se ele aumenta ou diminui de capacitância com o calor e em que proporção. Assim, 4N7 significa que se trata de um capacitor de 4,7 nF. (Observe que o N é maiúsculo)

Em (b) temos uma marcação em que usamos a letra k (minúsculo) para indicar quilo ou milhares de picofarads. Para este tipo de marcação, 4k7 significa que se trata de um capacitor de 4.700 picofarads, ou 4,7 nF; 10k refere-se a um capacitor de 10.000 picofarads, ou 10 nF.

Finalmente, em (c), temos o mais comum, que é o mesmo código de três dígitos usado nos resistores. Nele, os dois primeiros números indicam os dois primeiros dígitos da capacitância; o terceiro indica o fator de multiplicação, ou o número de zeros a serem acrescentados. O resultado obtido é em picofarads. Por exemplo, 223 indica 22 x 1.000, ou 22.000 pF, que também pode ser expresso por 22 nF. 474 indica 47 x 10.000, ou 470.000 pF, que equivale a 470 nF ou 0,47 uF.

Associações de Capacitores

Quando diversos capacitores são interligados, os efeitos de suas capacitâncias se combinam, e o resultado é que todo o conjunto se comporta de uma forma bem definida, que pode ser prevista através de cálculos. Além disso, cada capacitor passa a se comportar de uma forma diferente daquela quando isolado.

Veremos a seguir quais são os tipos de associações de capacitores, e quais as características de cada uma delas.

Associação em Série

Quando dois ou mais capacitores são ligados da forma indicada na figura (figura 39), dizemos que eles estão associados ou ligados em **série**.

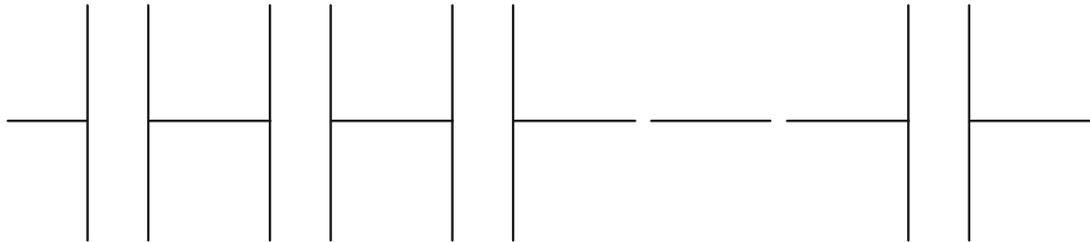


Figura 39: Capacitores em série.

Esse conjunto de capacitores, de C_1 a C_n , comporta-se como um único capacitor de capacitância C , cujo valor é calculado pela seguinte fórmula:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Quando temos apenas dois capacitores em série, o cálculo da capacitância pode ser simplificado pela fórmula:

$$C = \frac{(C_1 \cdot C_2)}{(C_1 + C_2)}$$

EXEMPLO:

- ✓ Um capacitor de 4 nF em série com um de 6 nF resulta numa capacitância equivalente de:

$$C = \frac{(4 \times 6)}{(4 + 6)}$$

$$C = \frac{24}{10}$$

$$C = 2,4 \text{ nF}$$

Esta associação tem algumas propriedades importantes que devem ser entendidas e memorizadas:

- ✓ Os capacitores, mesmo que sejam de valores (capacitâncias) diferentes, ficam carregados com a mesma carga.
- ✓ O menor capacitor fica submetido à maior tensão.

✓ A capacitância equivalente é menor que o menor capacitor associado.

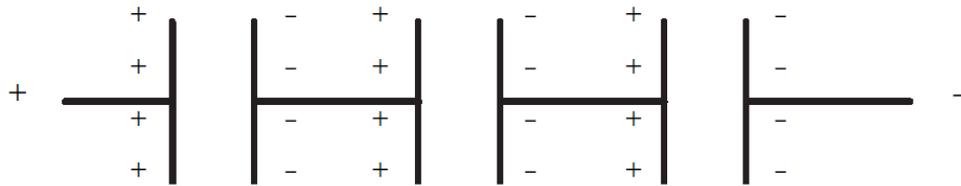


Figura 40: associação de capacitores em série.

Essa configuração ilustrada (*figura 40*) é comum em circuitos elétricos que precisam reduzir a capacitância total ou aumentar a tensão máxima suportada. Onde os capacitores estão conectados de modo que o terminal positivo de um está ligado ao terminal negativo do seguinte, formando uma única linha contínua.

Associação em Paralelo

Quando dois ou mais capacitores são ligados da forma indicada na figura (*figura 41*), dizemos que eles estão associados em **paralelo**.

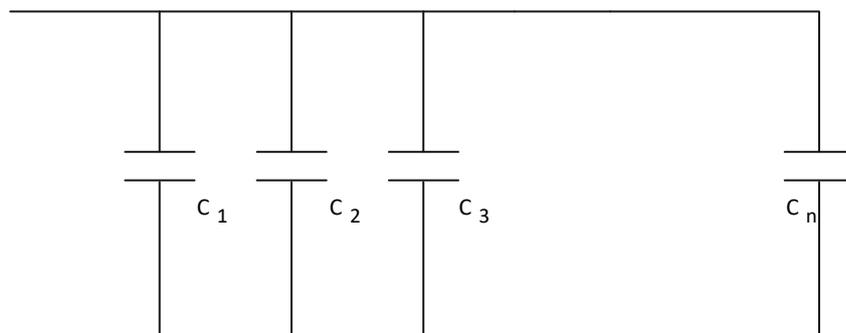


Figura 41: associação de capacitores em paralelo.

Este conjunto de capacitores de C_1 a C_n comporta-se como um único capacitor (C), que pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$

Ou seja, numa associação em paralelo a capacitância equivalente é a soma das capacitâncias associadas.

EXEMPLO:

- ✓ Calcular a capacitância equivalente a um capacitor de 100 pF ligado em paralelo com um de 200 pF.

$$C = 100 + 200$$

$$C = 300 \text{ pF}$$

As seguintes propriedades desse tipo de associação devem ser memorizadas:

- ✓ A capacitância equivalente a uma associação em paralelo é maior que o valor do maior capacitor associado.
- ✓ Todos os capacitores ficam submetidos à mesma tensão.
- ✓ O maior capacitor fica carregado com a maior carga.

Como o cálculo de capacitores em série e em paralelo envolve o conhecimento de um pouco de matemática básica, em caso de dúvidas procure auxílio específico.

Associação em Série/Paralelo

Podemos combinar capacitores em série e em paralelo ao mesmo tempo, obtendo desta forma associações mais complexas, como mostram os diferentes circuitos da figura (figura 42).

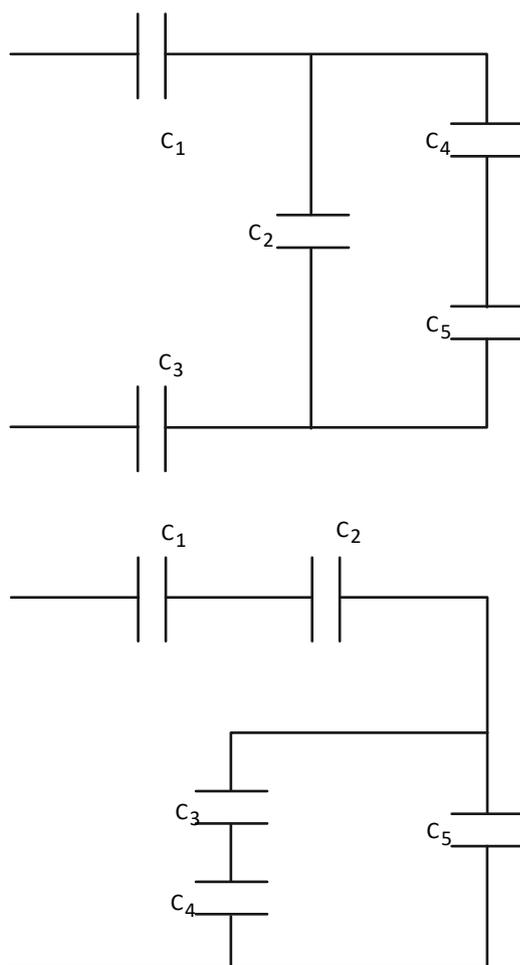
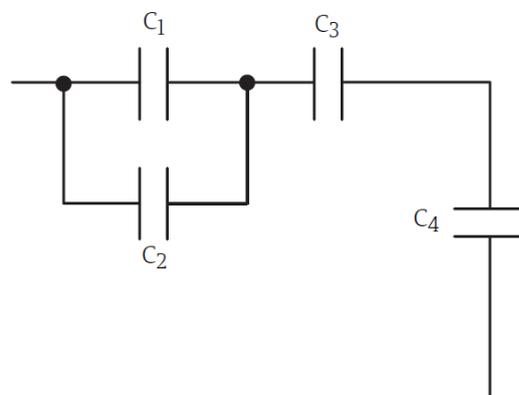


Figura 42: Diferentes associações de capacitores em série/paralelo.

Da mesma forma que nos resistores, não há fórmula específica para o cálculo da capacitância equivalente a este tipo de associação, pois as ligações podem ser feitas de diversas maneiras, como mostra a figura (figura 43).



$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1 + C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_4}$$

Figura 43: Associação de capacitores em série/paralelo e fórmula para capacitância equivalente para essa configuração.

Para se calcular a capacitância equivalente a este tipo de associação, o que fazemos é trabalhar por etapas, calculando setores em que podemos perceber que temos uma associação em série ou uma associação em paralelo simples. Em suma, trabalhamos pela redução da associação a formas sucessivamente mais simples.

EXEMPLO:

- ✓ No circuito da figura (figura 44), podemos começar calculando a capacitância C_a , equivalente a C_1 e C_2 , que estão em série. Depois calculamos C_b , equivalente à associação C_3 e C_4 , que estão em paralelo.

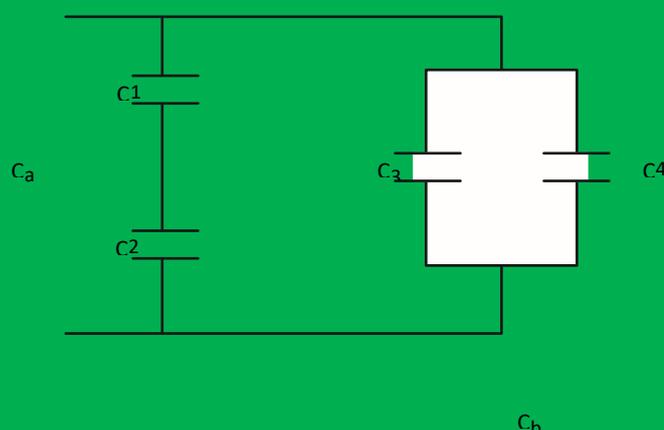


Figura 44: Associação de capacitores em série/paralelo.

O resultado é que a associação fica convertida numa mais simples, desenhada na figura (figura 45), em que temos C_a e C_b em paralelo.

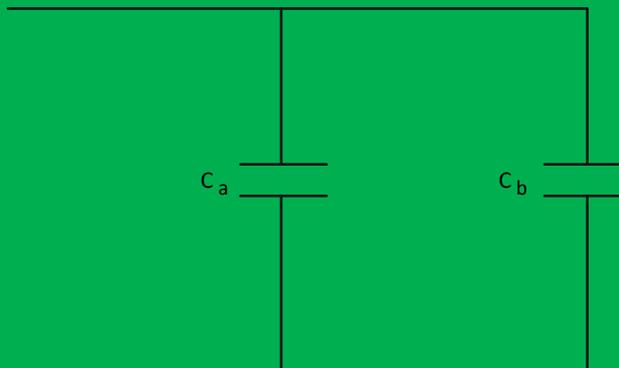


Figura 45: Associação de capacitores em paralelo.

Basta então somar C_a e C_b (que estão em paralelo) para se obter a capacitância equivalente a todo o conjunto que é C .

Evidentemente, para associações mais complexas, precisamos fazer muitos cálculos como este para obter a capacitância final equivalente.

Capacitores Variáveis

Depois da montagem de um equipamento, é comum precisarmos ajustar a capacitância de um componente num ponto qualquer, a fim de garantir o bom funcionamento do conjunto. Também é comum precisarmos alterar a capacitância de um circuito durante o próprio funcionamento do aparelho. Para esse tipo de finalidade, utilizamos os *capacitores variáveis*.

Capacitores Variáveis Comuns

O capacitor variável de placas paralelas, componente mais comum dessa categoria. Na mesma figura mostramos o símbolo usado para representá-lo.

Esse tipo de capacitor é constituído por um conjunto de placas de metal que formam a armadura fixa, e um conjunto de placas móveis acionadas por um eixo, que formam a armadura móvel. Quando o eixo da armadura móvel é movimentado, as placas desta armadura se interpõem às placas fixas, porém sem tocá-las. Com isso amplia-se a área de proximidade efetiva entre as placas, e a capacitância do capacitor aumenta.

O capacitor tem então sua capacitância máxima quando está totalmente fechado, e mínimo quando totalmente aberto. No tipo de capacitor mostrado, as armaduras móveis se movimentam sem encostar nas armaduras fixas, e o próprio ar funciona com dielétrico.

Um outro tipo de capacitor variável é o mostrado na figura (figura 48). O dielétrico desse tipo de capacitor é composto por folhas de plástico dispostas entre as armaduras fixas e móveis.

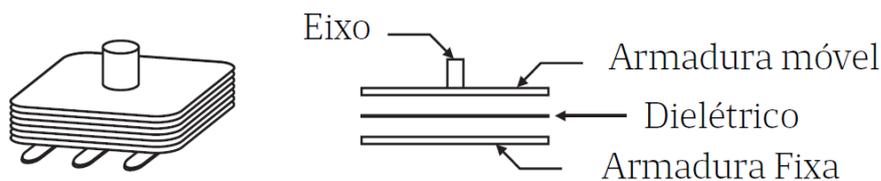


Figura 48: Capacitores variáveis comuns com dielétricos.

Os capacitores variáveis são normalmente usados em circuitos de sintonia de altas frequências. Suas aplicações típicas incluem a sintonia de rádios, transmissores, instrumentos de laboratório, etc. O botão que muda as estações de seu rádio controla um capacitor variável.

Existem casos em que precisamos controlar simultaneamente a capacitância em mais de um ponto de um circuito. Nesses casos podemos usar capacitores variáveis de mais de uma seção, como ilustrado (figura 49).

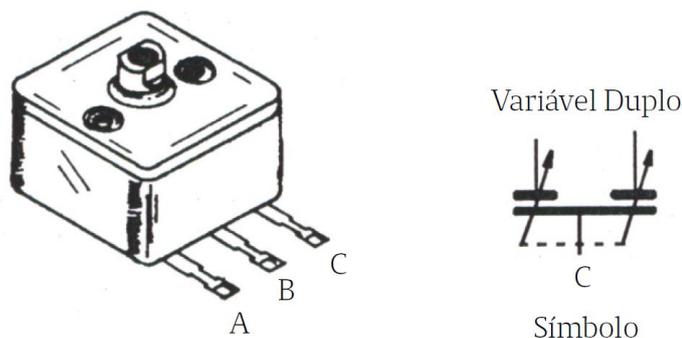


Figura 49: Capacitor variável duplo.

Trimmers e Padders

Outra possibilidade refere-se a quando o componente é ajustado apenas uma vez para garantir o funcionamento adequado do equipamento, só precisando ser novamente ajustado em caso de reparos. Para esse tipo de função, usamos os capacitores ajustáveis.

Neste grupo, destacamos os trimmers (figura 50) e os padders.

Os trimmers e padders podem ter o aspecto de capacitores variáveis em miniatura, ou podem ser formados por placas (armaduras) que são apertadas/ desapertadas por um parafuso. Nesse tipo, quando as placas estão afastadas, a capacitância do componente é mínima, e quando estão totalmente apertadas a capacitância é máxima. Nos tipos mais antigos, o dielétrico usado é uma fina folha de mica; nos mais modernos, usam-se folhas de plástico especial.

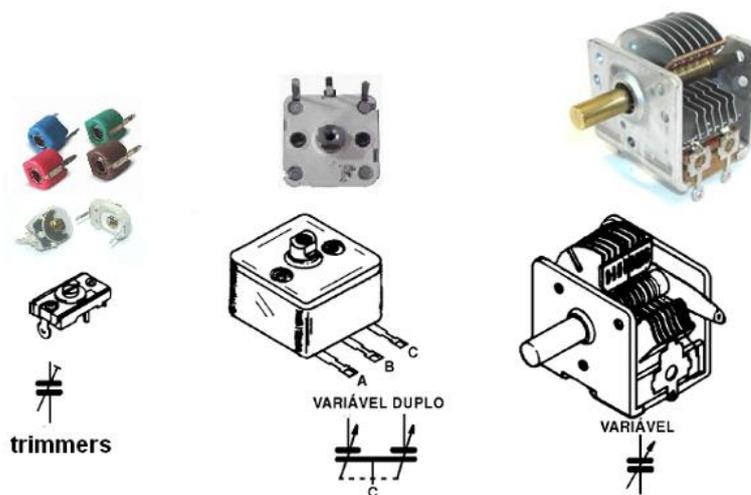


Figura 50: Capacitores variáveis trimmers.

Valores dos Capacitores Variáveis

Os capacitores variáveis comuns e ajustáveis são componentes de ajuste de circuitos de altas frequências, por isso normalmente têm pequenas capacitâncias.

As variáveis comuns possuem capacitâncias máximas da ordem de poucas dezenas ou centenas de picofarads (na faixa de 50 a 500 pF). Quando especificamos um capacitor deste tipo, é conveniente indicar a faixa de valores que ele pode varrer. Por meio da indicação de uma variável 10-100 pF, por exemplo, sabemos que se trata de um capacitor que, quando está todo aberto, tem uma capacitância de 10 pF, e todo fechado, de 100 pF.

Em alguns casos, pode-se indicar apenas a capacitância máxima, bastando lembrar que ela nunca será zero quando o componente estiver no mínimo, ou todo aberto.

Nos trimmers e padders, a capacitância é ainda menor, no máximo de 40 ou 50 pF para os tipos comuns. Os valores desses componentes são especificados como nas variáveis comuns, ou seja, pelos valores mínimo e máximo. Um trimmer de 2-20 pF tem no mínimo 2 pF e no máximo 20 pF, podendo ser ajustado para qualquer capacitância intermediária entre estes dois valores.

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Para os capacitores variáveis, também é comum especificar-se a tensão máxima que podem suportar entre as armaduras.

Capacitores Cerâmicos

Conforme o nome sugere, este tipo de capacitor fixo tem por dielétrico o material isolante conhecido como cerâmica. A cerâmica tem uma boa constante dielétrica e pode suportar tensões elevadas, o que fez dela um material ideal para a construção de diversos tipos de capacitores.

Os tipos mais comuns de capacitores cerâmicos (*figura 51*) podem ter o formato de discos, pastilhas ou cilindros (capacitores tubulares).

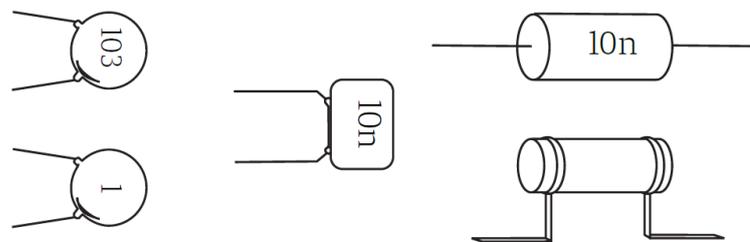


Figura 51: Capacitores cerâmicos.

Encontrados na faixa de valores que vai de menos de 1 pF até 1 uF, os capacitores cerâmicos suportam tensões de trabalho que variam de 25 V a mais de 10.000 volts (10 kV). Evidentemente, a capacitância e a tensão de trabalho vão determinar o tamanho desse tipo de componente.

Além dessas, duas outras especificações são importantes nesse tipo de capacitor: a tolerância e o coeficiente de temperatura. A tolerância diz respeito à máxima variação possível entre o valor real e o valor especificado para o componente em um circuito. O coeficiente de temperatura nos diz o quanto a mudança de temperatura interfere na capacitância de um componente.

Os capacitores cerâmicos são muito usados nos equipamentos eletrônicos em geral, especialmente para altas frequências.

Códigos dos Capacitores Cerâmicos

Você já sabe que o pequeno tamanho de muitos componentes dificulta que se escrevam por extenso suas especificações. Nos capacitores cerâmicos, são usados diversos

códigos que é preciso conhecer. O mais comum é código de 3 dígitos, em que os dois primeiros dígitos indicam os dois primeiros algarismos da capacitância, e o terceiro indica o multiplicador, conforme a seguinte tabela 2:

0	1
1	10
2	100
3	1.000
4	10.000
5	100.000
6	não usado
7	não usado
8	.01
9	.1

Tabela 2: Códigos dos capacitores cerâmicos.

EXEMPLO:

- ✓ Um capacitor cerâmico com a marca 104 é de 100.000 pF ou 100 nF como ilustrado (figura 52).

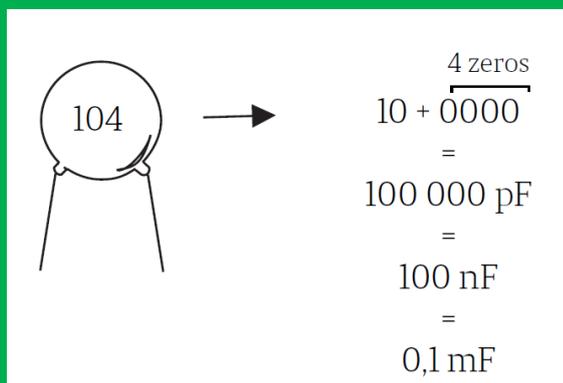


Figura 52: Capacitor cerâmico.

- ✓ Se após os três dígitos aparecer uma letra, ela indica a tolerância, conforme a seguinte tabela 3:

Letra	Tolerância
B	+/- 0.10%
C	+/- 0.25%
D	+/- 0.5%
E	+/- 0.5%
F	+/- 1%
G	+/- 2%
H	+/- 3%
J	+/- 5%
K	+/- 10%
M	+/- 20%
N	+/- 0.05%
P	+100%, -0%
Z	+80%, -20%

Tabela 3: tolerância de capacitores cerâmicos.

Um outro tipo de código é aquele em que temos um número entre duas letras, como, por exemplo, A 103 Z5U. Trata-se de um capacitor para baixas temperaturas de 10 nF e tolerância de +22% a -56%. Confira as tabelas:

Primeiro Símbolo	Baixa Temperatura
Z	+10 °C
Y	-30 °C
X	-55 °C
Segundo Símbolo	Alta Temperatura
2	+45 °C
4	+65 °C

5	+85 °C
6	+105 °C
Terceiro Símbolo	Variação de Capacitância na faixa de temperaturas
A	+/- 1%
B	+/- 1,5%
C	+/- 2,2%
D	+/- 3.3%
E	+/- 4.7%
F	+/- 7.5%
P	+/- 10.0%
R	+/- 15.0%
S	+/- 22.0%
T	+22%, -33%
U	+22%, -56%
V	+22%, -82%

Tabelas 4 e 5: tolerância de capacitores cerâmicos.

Em alguns capacitores de pequenos valores, podemos encontrar uma letra substituindo a vírgula decimal, ou no final da marcação, indicando a tolerância ou o coeficiente de temperatura. Assim, 4N7 ou 4J7 indicam capacitores de 4,7 pF.

As letras n e k (minúsculas) podem aparecer como multiplicadores (nano ou quilo) em capacitores como 4n7 (4,7 nF), 10n (10 nF) e 10k (10 nF ou 10.000 pF, onde o k significa quilo).

Capacitores de Poliéster

O poliéster é uma resina sintética (um tipo de plástico) usada como dielétrico nesse tipo de capacitor. Na figura (*figura 53*) temos os aspectos mais comuns desses capacitores, que se dividem em duas categorias: poliéster comum e metalizado.

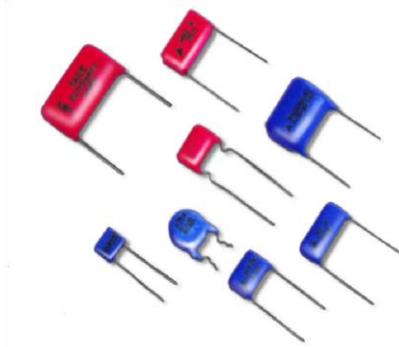


Figura 53: Capacitor de poliéster.

No tipo comum tubular, uma folha de poliéster é enrolada juntamente com duas folhas de material condutor (folhas de alumínio), que formam as armaduras. No tipo metalizado, as armaduras são finas películas de metal aplicadas no próprio dielétrico de poliéster.

Estes capacitores podem ser encontrados na faixa de valores que vai de 470 pF a mais de 1 uF. As tensões de operação podem variar entre 50 e 600 V tipicamente, dependendo do fabricante.

Os capacitores de poliéster não são indicados para operação com sinais de altas frequências. Suas aplicações se limitam a circuitos de corrente contínua e sinais de baixas e médias frequências, ou circuitos que operam com pulsos.

Códigos dos Capacitores de Poliéster

Para os tipos comuns destes capacitores, podemos encontrar tanto o código de 3 dígitos como outras formas de marcação de valores. A mais comum é a que indica o próprio valor numérico da capacitância, que pode aparecer de 3 formas:

- ✓ Para capacitâncias inferiores a 10 nF, o valor é dado diretamente em picofarads. Exemplo: 4.700 significa 4.700 pF ou 4,7 nF
- ✓ Para valores acima de 10 nF, porém inferiores a 1 uF, o valor é dado em microfarads na forma de ponto seguido por um número. Exemplo: .1 para 100 nF, ou 0,1 uF; .47 para 0,47 uF, ou 470 nF.
- ✓ Para valores acima de 1 uF, a capacitância é marcada diretamente com a indicação uF. Exemplo: 1,5 uF.

Na figura (figura 54), vemos estes capacitores com suas indicações.

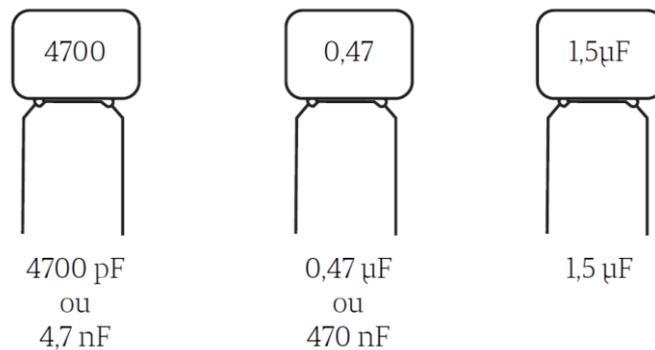


Figura 54: Capacitor de poliéster e suas indicações.

Existem ainda outros tipos de códigos, como o chamado “zebrinha”, em que faixas coloridas (como as dos resistores) representam números que indicam a capacitância em picofarads. As faixas restantes indicam a tensão de trabalho e a tolerância.

Coefficiente de Temperatura

Todos os materiais manifestam mudanças de suas características físicas (e eventualmente químicas) com a temperatura. Os corpos podem dilatar-se, podem ter sua condutividade elétrica modificada, podem sofrer alterações estruturais, etc.

Com a mudança da temperatura, diversas das características de um capacitor podem se alterar, dentre elas a capacitância. Essa alteração pode ser indicada de três formas principais:

- ✓ Pela quantidade de picofarads que a capacitância do componente é alterada na sua faixa de temperatura. Por exemplo, o coeficiente de temperatura é 2 pF na faixa de – 10 a +125 °C para um capacitor de 10 pF. Isso significa que nesta faixa sua capacitância estará entre 8 a 12 pF.
- ✓ Por porcentagem, também na faixa de temperaturas. Exemplo: o coeficiente de temperatura é de –10% na faixa de temperatura de operação de um capacitor de 100 pF. Sua capacitância estará entre 100 e 90 pF na faixa de operação.
- ✓ Por quantas partes por milhão (ppm) a capacitância é alterada para cada grau centígrado de variação da temperatura. Exemplo: o coeficiente de temperatura de um capacitor de 1.000 pF é de 10 ppm/°C. Isso significa que de 10 a 20 °C sua capacitância vai mudar de 100 ppm, ou 0,01 pF

Em muitos casos, este comportamento dos capacitores pode vir indicado na forma de um gráfico (*figura 55*).

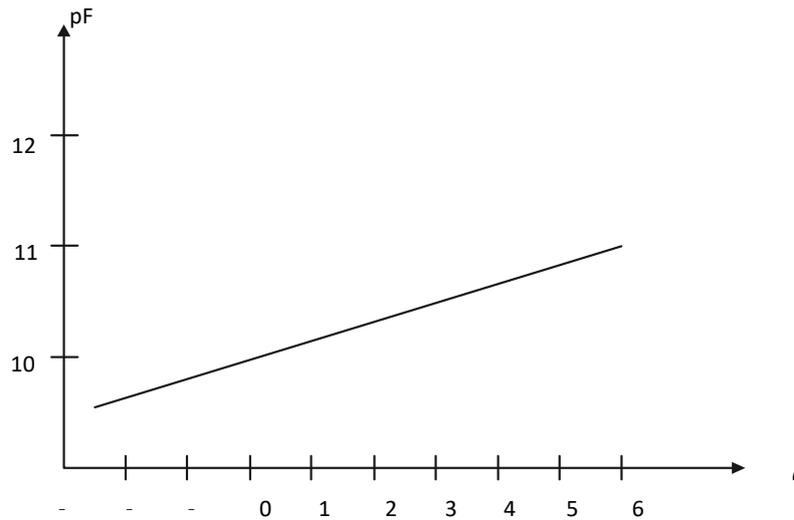


Figura 55: Comportamento de capacitores em relação a temperatura.

Capacitores Eletrolíticos

Os capacitores eletrolíticos formam uma categoria de componentes de grande utilidade, que todo profissional da eletrônica precisa conhecer. Quando, em um equipamento, a substituição de um capacitor danificado se faz necessária, é preciso saber se um capacitor eletrolítico pode ser usado, ou quais devem ser as características do substituto, a fim de não comprometer o bom funcionamento do equipamento.

Da mesma forma, o profissional deve estar apto a interpretar os códigos de marcação, assim como outras especificações que os capacitores eventualmente tenham.

Como são Construídos os Eletrolíticos

Se uma substância líquida condutora de eletricidade denominada **eletrólito** entrar em contato com uma placa de alumínio, ocorre uma reação química que forma sobre a placa uma finíssima capa de material isolante (*figura 56*).

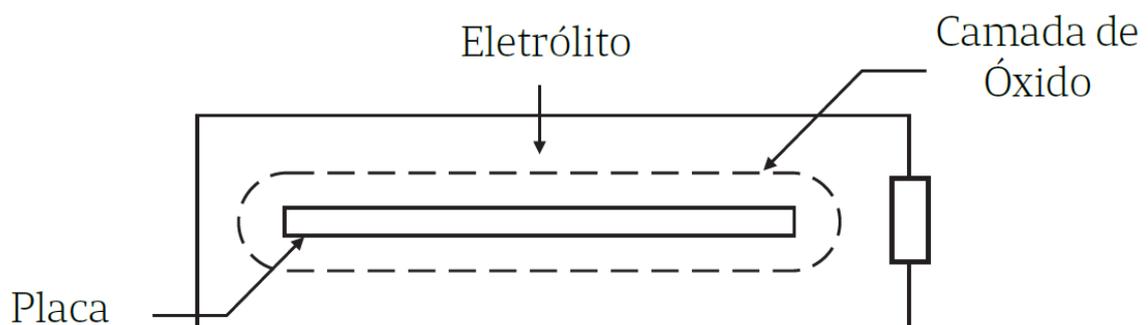


Figura 56: Construção de capacitores eletrolíticos.

Nessas condições, o eletrólito pode ser considerado a armadura de um capacitor, a placa de alumínio a outra armadura e a finíssima camada de óxido o dielétrico.

Como a capacitância de um capacitor é tanto maior quanto menor for a espessura do dielétrico e maior a sua constante dielétrica, essa técnica possibilita que se fabriquem componentes de capacitâncias muito altas.

Os capacitores fabricados de acordo com esse princípio são denominados “eletrolíticos”, justamente por se basearem na ação química de um eletrólito sobre uma superfície de metal.

Tipos

Os tipos mais comuns de capacitores eletrolíticos são os de alumínio (*figura 57*).



Figura 57: Capacitores eletrolíticos de alumínio.

Esses capacitores podem ser encontrados na faixa de capacitância que vai de 1 uF a mais de 500.000 uF. Como a película que forma a camada de dielétrico é muito fina, eles são indicados para trabalhar com tensões relativamente baixas. Podemos encontrar os eletrolíticos com tensões de trabalho na faixa de 1,5 a 500 volts.

Polaridade

Os capacitores eletrolíticos, diferentemente de muitos outros tipos, são polarizados, como ilustra a figura (*figura 58*). A armadura metálica deve ser sempre carregada com carga positiva e o eletrolítico com carga negativa. Se houver inversão, o dielétrico perde suas propriedades, permitindo a circulação de uma corrente que o destrói. O capacitor “entra em curto”, não mais podendo ser usado. Por isso os capacitores eletrolíticos possuem marcação de polaridade.

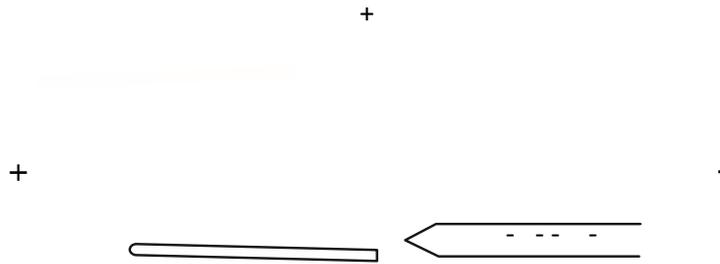


Figura 58: Capacitores e polaridade.

Ao usar um capacitor eletrolítico, é preciso sempre observar sua polaridade, a fim de evitar a sua queima.

Eletrolíticos de Tântalo

O tântalo é um metal cujo óxido possui uma constante dielétrica muito maior do que a do óxido de alumínio. Isso significa que usando com o tântalo a mesma tecnologia de fabricação dos eletrolíticos de alumínio, podemos obter capacitores muito menores ou com capacitâncias muito altas.

Na figura (figura 59) mostramos um capacitor de tântalo e um de alumínio com a mesma capacitância.

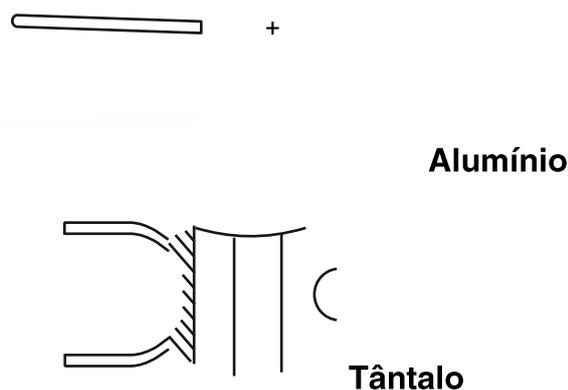


Figura 59: Capacitores de tântalo e de alumínio.

O ideal seria sempre usar os capacitores de tântalo, mas infelizmente eles são muito mais caros, o que limita seu uso. Apenas nos casos em que se necessita de altas capacitâncias ocupando pouco espaço é que eles são empregados.

Atualmente já se pode fabricar capacitores eletrolíticos também de um outro metal cujo óxido tem elevadíssima constante dielétrica: o nióbio. No entanto, as aplicações destes capacitores ainda são limitadas.

Uso dos Capacitores Eletrolíticos

Com capacitores eletrolíticos, podemos obter capacitâncias elevadas e tensões de trabalho até relativamente altas, mas existem algumas propriedades adicionais que limitam a sua utilização. Na prática, muitos desses capacitores são formados por um papel embebido no eletrólito e posto em contato com uma folha de alumínio, como ilustrado (*figura 60*).

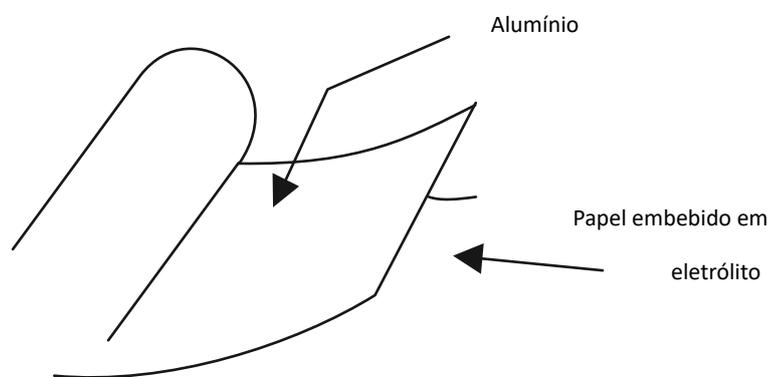


Figura 60: Capacitores eletrolíticos.

Esta construção faz com que o capacitor se comporte como uma verdadeira “bobina” (que estudaremos mais adiante), o que é indesejável para algumas aplicações. Assim, além de só poderem ser usados em circuitos que tenham polaridade definida, ou seja, circuitos de corrente contínua, eles não podem ser usados em circuitos de altas frequências.

É nos circuitos de baixas e médias frequências que eles são geralmente utilizados. Encontramos os capacitores eletrolíticos em funções tais como a filtragem de correntes de fontes, circuitos de som (saída de amplificadores, por exemplo) e outros onde não existem sinais de alta frequência sobre estes componentes.

Valores dos Capacitores Eletrolíticos

Os capacitores eletrolíticos de alumínio ilustrados (*figura 61*), são componentes relativamente grandes, por isso podem ter seus valores (capacitâncias) e tensões gravados diretamente nos seus invólucros.

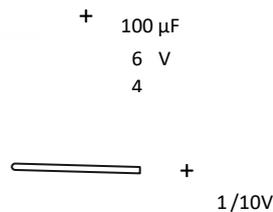


Figura 61: Capacitores eletrolíticos de alumínio.

Já os capacitores de tântalo são componentes muito pequenos, para os quais é adotada uma codificação que faz uso de faixas e pintas coloridas, semelhante à dos demais capacitores e outros componentes eletrônicos.

Nos capacitores de tântalo temos um conjunto de três faixas para o valor, uma pinta para a tolerância e uma pinta para a tensão de trabalho, conforme a seguinte tabela 6:

Preto	4	0	0	-
Marrom	6	1	1	-
Vermelho	10	2	2	-
Laranja	15	3	3	-
Amarelo	20	4	4	10.000
Verde	25	5	5	100.000
Azul	35	6	6	1 000.000
Violeta	50	7	7	10.000.000
Cinza	-	8	8	-
Branco	3	9	9	-

Tabela 6: Capacitores de tântalo e tolerância.

Os valores são dados em picofarads.

Na figura (figura 62) temos o modo como é feita a marcação.

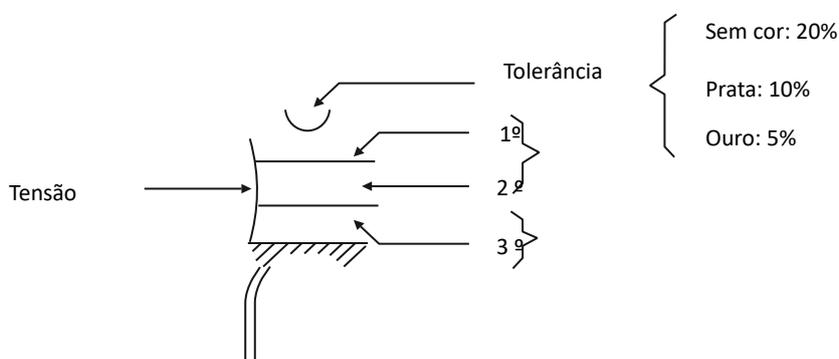


Figura 62: marcação de tolerância em capacitores.

EXEMPLO:

- ✓ Um capacitor com a ponta prateada, faixas de valor vermelha, vermelha e azul e ponta de tensão violeta tem: 22.000.000 pF ou 22 uF, tolerância de 10% e tensão de trabalho de 50 V.

Procure memorizar esses códigos, pois eles são úteis na identificação de diversos componentes.

Indutores

Quando uma corrente elétrica percorre um fio, é criado um campo magnético à sua volta, como representado (*figura 63*). Este campo criado em torno do condutor tem uma propriedade interessante: funciona como uma espécie de **freio**, opondo-se à própria circulação da corrente.

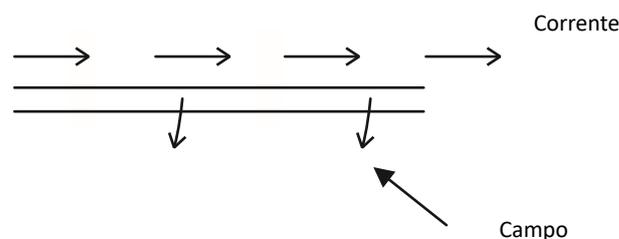


Figura 63: campo magnético gerado por uma corrente elétrica em um fio.

Uma corrente não se propaga com facilidade por um fio muito longo, pois precisa vencer, além da resistência do fio, a própria oposição de seu campo magnético. Esta oposição é denominada **indutância**.

Podemos aumentar muito a indutância enrolando o fio por onde passa a corrente, de modo a formar uma bobina. Dessa forma estaremos concentrando as linhas de força do campo magnético.

A figura (*figura 64*) mostra que, numa bobina cilíndrica, as linhas de força se concentram no seu interior.

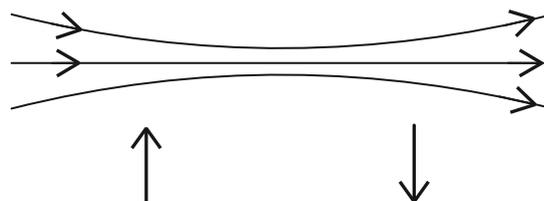


Figura 64: linhas de força no interior de uma bobina cilíndrica.

Os componentes formados por fios enrolados de modo a formar bobinas recebem o nome de **indutores**. No entanto, dependendo da aplicação, da técnica de construção e até mesmo do formato, os indutores podem receber nomes diferentes, como **bobinas**, **choques**, **toróides**, etc.

Na figura (figura 65) temos o aspecto desses componentes e os símbolos adotados para representá-los.

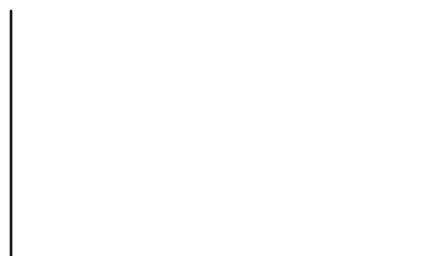


Figura 65: aspecto e símbolo para representar indutores.

Núcleos

Nos símbolos da figura as linhas pontilhadas e contínuas indicam os diferentes tipos de núcleo de um indutor.

Explicando o que é o núcleo: se, no interior de um indutor, colocarmos materiais que tenham propriedades ferromagnéticas, como o ferro doce (ferro com silício), ferro comum ou ferrite (pó de ferro aglomerado), as linhas de força do campo magnético criado se concentram, resultando numa bobina com maior indutância.

Na prática, isso significa que podemos usar esses materiais como núcleos das bobinas, fazendo com que sua indutância aumente, como ilustrado (figura 66).

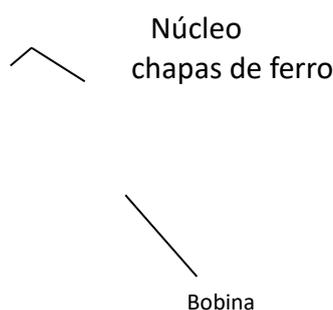


Figura 66: Núcleo de chapa de ferro em bobina indutora.

Algumas bobinas podem ter sua indutância ajustada com o uso de núcleos que se deslocam em seu interior, de modo a alterar a sua indutância. Na figura (figura 67), mostramos uma bobina ajustável.



Figura 67: bobina ajustável.

Fios Esmaltados

Nas bobinas em que as espiras estão muito próximas, ou mesmo encostadas umas nas outras, deve existir um isolamento para o fio. O isolamento de plástico dos fios comuns não se aplica, tanto pela espessura como pelas características do material.

Para o isolamento de bobinas, usamos basicamente dois tipos de fios de cobre isolados: o primeiro tipo, mais comum, é o fio de cobre com capa de esmalte, também conhecido como fio **esmaltado**; o segundo tipo, conhecido como fio **litz**, faz uso de uma capa de seda ou algodão, que pode receber um tratamento adicional de impermeabilização. Na figura (figura 68), mostramos o aspecto dos dois tipos de fio.

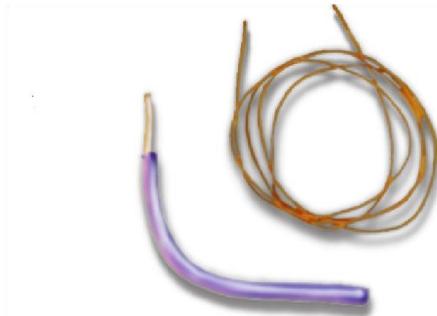


Figura 68: Aspectos dos tipos de fio.

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Os fios esmaltados são designados, ou pela sua espessura, ou por um número AWG (American Wire Gauge).
- ✓ Confira na tabela 7 (de fios AWG). É comum que uma bobina seja especificada como tendo determinadas dimensões e como sendo composta por fio de um determinado número AWG.

TABELA AWG ou B&S					
Nº	Diâmetro m/m	Secção m/m ²	Nº	Diâmetro m/m	Secção m/m ²
0	8,252	53,480	22	0,643	0,3247
1	7,348	42,410	23	0,574	0,2588
2	6,544	33,630	24	0,511	0,2051
3	5,827	26,670	25	0,455	0,1626
4	5,189	21,147	26	0,404	0,1282
5	4,620	16,764	27	0,361	0,1024
6	4,115	13,299	28	0,320	0,0804
7	3,665	10,550	29	0,287	0,0647
8	3,264	8,367	30	0,254	0,0507
9	2,906	6,633	31	0,226	0,0401
10	2,588	5,260	32	0,203	0,0324
11	2,304	4,169	33	0,180	0,0254
12	2,052	3,307	34	0,160	0,0201
13	1,829	2,627	35	0,142	0,0158
14	1,628	2,082	36	0,127	0,0127
15	1,450	1,651	37	0,114	0,0102
16	1,290	1,307	38	0,102	0,0082
17	1,151	1,040	39	0,089	0,0062
TABELA AWG ou B&S					
Nº	Diâmetro m/m	Secção m/m ²	Nº	Diâmetro m/m	Secção m/m ²
18	1,024	0,8235	40	0,079	0,0049
19	0,912	0,6533	41	0,071	0,0040
20	0,813	0,5191	42	0,064	0,0032
21	0,724	0,4117	43	0,056	0,0025

Tabela 7: fios AWG.

Usos dos Indutores

Os indutores ou bobinas têm usos de acordo com suas características e sua indutância.

Os tipos de pequenos valores de indutância, com poucas espiras, núcleo de ferrite ou sem núcleo, são usados em circuitos de alta frequência, sintonia, transmissores, etc. São chamados também de choques de RF (Radiofrequência).

Os tipos de valores intermediários são usados em circuitos de médias frequências, circuitos de áudio e em filtros de médias e baixas frequências. São chamados também de choques ou, conforme o tamanho, de microchoques.

Para os indutores de valores elevados, com milhares de espiras de fio muito fino e núcleo, ou de ferrite, ou de ferro laminado, o uso mais comum é em filtros de fonte e em circuitos especiais de frequências muito baixas.

Valores dos Indutores

A unidade de indutância é o Henry (H). Nas aplicações práticas em eletrônica, encontramos indutores cujos valores vão desde milionésimos de henry até mais de 1 henry.

Ainda que alguns indutores sejam grandes o bastante para permitir a gravação direta de seus valores, é comum o uso de submúltiplos do henry. O microhenry (uH) equivale a 0,000 001 H, ou à milionésima parte do henry. O milihenry (mH) que equivale a 0,001 H, ou à milésima parte do henry. Desses números se conclui que:

- ✓ Para converter henry em milihenry basta multiplicar por 1.000;
- ✓ Para converter henry em microhenry basta multiplicar por 1.000.000;
- ✓ Para converter milihenry em microhenry basta multiplicar por 1.000;
- ✓ Para converter milihenry em henry basta dividir por 1.000;
- ✓ Para converter microhenry em henry para dividir por 1.000.000;
- ✓ Para converter microhenry em milihenry basta dividir por 1.000.

EXEMPLO:

- ✓ 47 mH equivalem a 0,047 H e 0,22 H equivalem a 220 mH.

Associação de Indutores

Assim como os resistores e capacitores, os indutores podem ser associados de duas formas básicas: em série e em paralelo. Também é possível uma terceira forma de

associação, em série/paralelo, que combina as duas primeiras.

Quando combinados entre si, os indutores passam a apresentar efeitos diferentes de quando isolados em um circuito. É importante saber como calcular esses efeitos e com isso prever o que acontece com cada componente, dependendo da forma como são associados.

Associação em Paralelo

Quando dois ou mais indutores são ligados da forma indicada na figura, dizemos que eles estão associados ou ligados em *paralelo*.

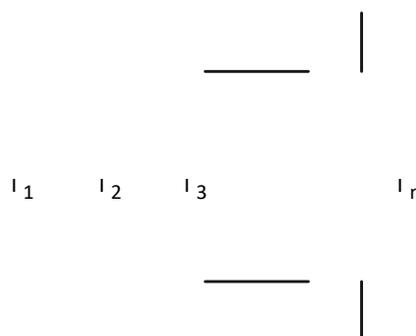


Figura 69: Indutores em paralelo.

Este conjunto de indutores de L_1 a L_n se comporta como um único indutor de indutância L , cujo valor é calculado pela seguinte fórmula:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Quando temos apenas dois indutores em paralelo, o cálculo da indutância pode ser simplificado pela fórmula:

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

EXEMPLO:

- ✓ Um indutor de 4 mH em paralelo com um de 6 mH resulta numa indutância equivalente de:

$$L = \frac{(4 \cdot 6)}{(4 + 6)}$$

$$L = \frac{24}{10}$$

$$L = 2,4 \text{ mH}$$

A associação de indutores em paralelo (*figura 70*) tem as seguintes propriedades (procure memorizá-las):

- ✓ A corrente se distribui pelos indutores.
- ✓ A indutância equivalente é menor que a do menor indutor associado.

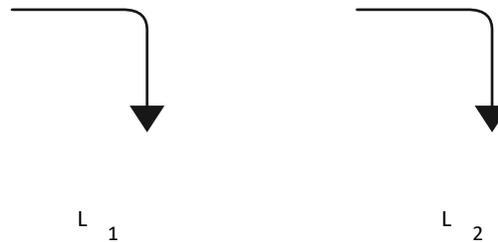


Figura 70: Indutores em paralelo.

Associação em Série

Quando dois ou mais indutores são ligados da forma indicada na figura (*figura 71*), dizemos que eles estão associados em *série*.

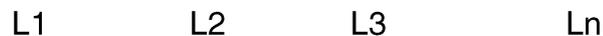


Figura 71: Indutores em série.

Este conjunto de indutores de L1 a Ln se comporta como um único indutor de valor L, ou seja, tem uma indutância equivalente a L, que pode ser calculada pela seguinte fórmula:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$$

Ou seja, numa associação em série a indutância equivalente é igual à soma das indutâncias associadas.

EXEMPLO:

- ✓ Calcular a indutância equivalente a um indutor de 100 uH ligado em série com um de 200 uH.

$$L = 100 + 200$$

$$L = 300 \text{ uH}$$

A associação de indutores em série possui as seguintes propriedades (procure memorizá-las):

- ✓ A indutância equivalente a uma associação em série é maior que o valor do maior indutor associado.
- ✓ Todos os indutores são percorridos pela mesma corrente

Associação em Série/Paralelo

Podemos combinar indutores em série e em paralelo ao mesmo tempo, obtendo desta forma associações mais complexas (*figura 72*).

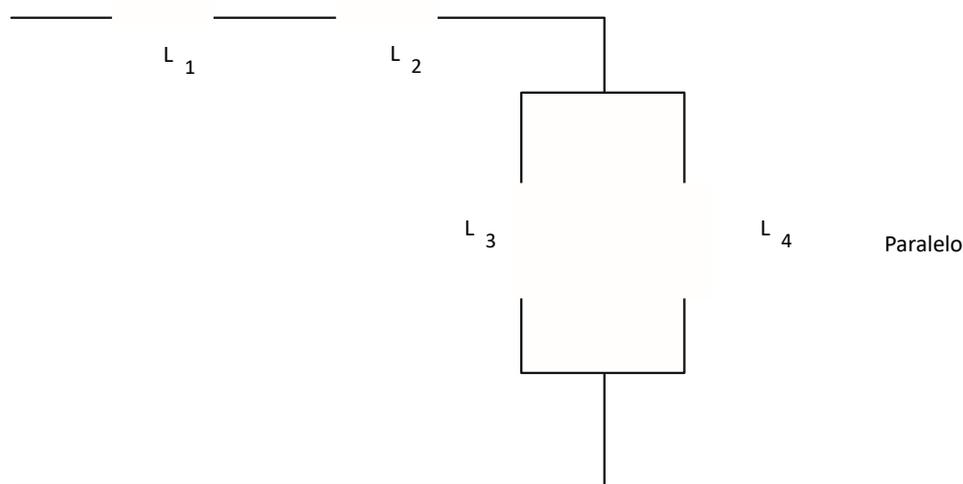


Figura 72: Indutores em série/paralelo.

Nesta associação, encontramos alguns indutores ligados em série e outros em paralelo. Para determinar a indutância equivalente a esse tipo de associação, não temos uma fórmula específica. Como nas associações mistas de resistores e capacitores, o que fazemos é trabalhar por etapas, calculando setores em que temos uma associação em série ou uma associação em paralelo simples. Em suma, trabalhamos pela redução da associação a formas sucessivamente mais simples.

EXEMPLO:

- ✓ No circuito da figura (*figura 73*), podemos começar calculando a indutância L_a equivalente a L_1 e L_2 , que estão em série. Depois calculamos L_b , que equivale à associação L_3 e L_4 , que estão em paralelo.

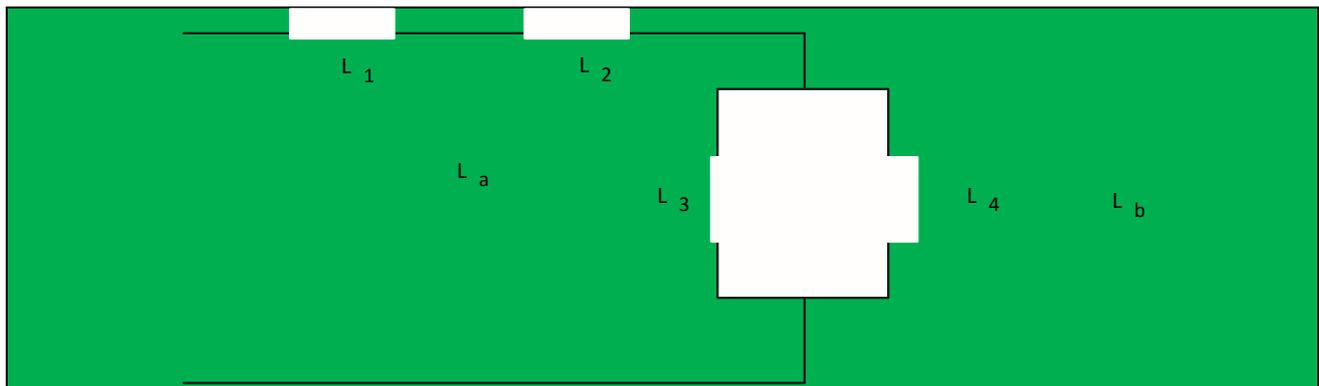


Figura 73: Indutores em série/paralelo.

- ✓ O resultado é que a associação fica convertida numa mais simples, em que temos L_a e L_b em série como ilustrado (figura 74).

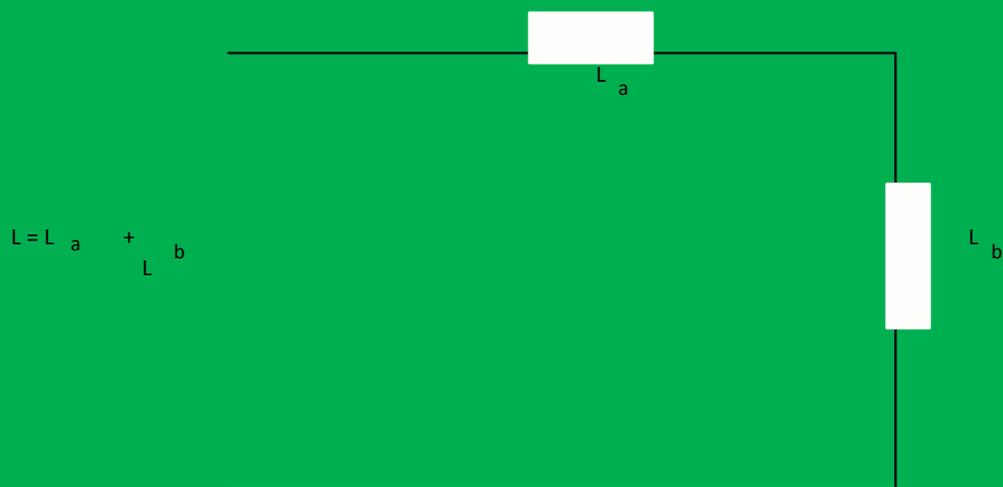


Figura 74: Indutores em série.

Basta então somar L_a e L_b (que estão em série) para se obter a capacitância L , equivalente a todo o conjunto.

Evidentemente, para as associações mais complexas, precisamos fazer muitos cálculos como este para obter a indutância final equivalente.

Magnetismo

Ímãs e suas propriedades

Certamente você já viu e até mesmo brincou com um ímã permanente. Trata-se de uma barra de metal que pode atrair determinados objetos metálicos, como alfinetes, pregos, cliques e outros. Por que, no entanto, os ímãs atraem estes objetos e não outros?

Essa propriedade dos ímãs permanentes é conhecida como “magnetismo” e só se manifesta em materiais denominados ferrosos. Somente materiais como ferro, cobalto, níquel e aço são atraídos pelos ímãs e podem, por isso, tornar-se ímãs e atrair objetos também dos

mesmos materiais. Materiais como papel, vidro, plástico, borracha e mesmo metais como alumínio, cobre, prata e ouro não são atraídos pelos ímãs.

Os ímãs permanentes são assim chamados por poderem conservar seu magnetismo por tempo indeterminado (*figura 75*).

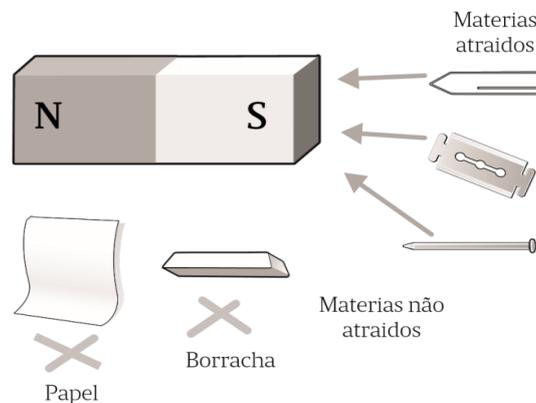


Figura 75: Ímãs e atração magnética.

Os ímãs permanentes podem ser naturais ou artificiais. Os naturais são compostos por materiais que já são encontrados na natureza com as propriedades magnéticas que os caracterizam. É o caso do minério denominado “magnetita”.

Os ímãs artificiais são obtidos de materiais ferrosos que não possuem propriedades magnéticas, mas que podem adquiri-las se passarem por processos especiais.

Observe novamente a figura, em que representamos um ímã permanente em forma de barra. Este ímã possui duas regiões nas quais a força de atração se manifesta de forma mais intensa. São seus polos, que, por analogia com os polos da Terra, são denominados Norte (N) e Sul (S).

Essa analogia vem do fato de a Terra se comportar como um gigantesco (porém muito fraco) ímã, capaz de atuar sobre a agulha de um instrumento fundamental para os navegadores de muitas épocas: a bússola. Veremos mais adiante qual a origem do magnetismo da Terra.

Uma propriedade muito importante dos ímãs pode ser exposta da seguinte maneira: pólos de mesmo nome se repelem e pólos de nomes diferentes se atraem. Em outras palavras, polos N atraem OS, polos S atraem N, polos N repelem N e polos S repelem S, como ilustrado (*figura 76*).

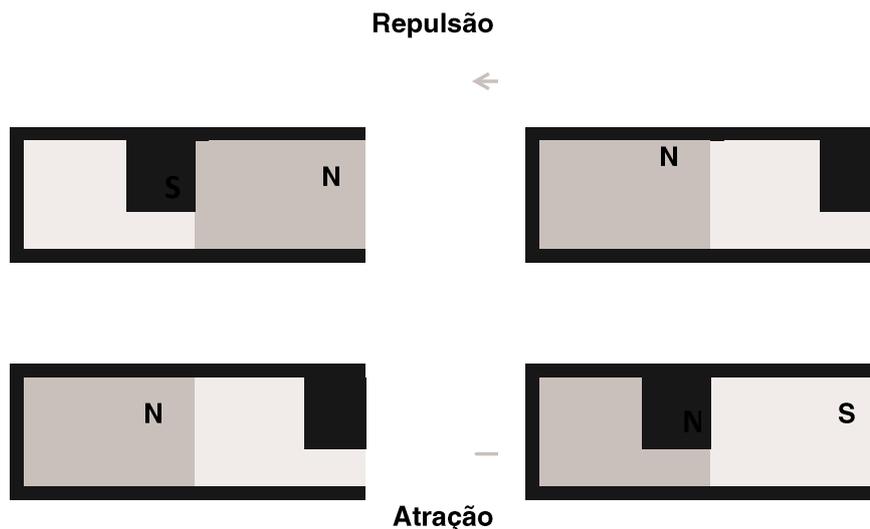


Figura 76: Ímãs e sua propriedade de atração e repulsão magnética.

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Os polos magnéticos de um ímã nada têm a ver com os pólos dos campos elétricos ou das fontes de energia elétricos denominados positivos (+) e negativo (-). Os campos elétricos são bem diferentes dos campos magnéticos. Não confunda!

Outra importante propriedade dos ímãs está na “inseparabilidade dos pólos”. Se cortarmos um ímã ao meio, as metades se tornam ímãs completos, aparecendo os pólos que faltam, como ilustrado (figura 77).

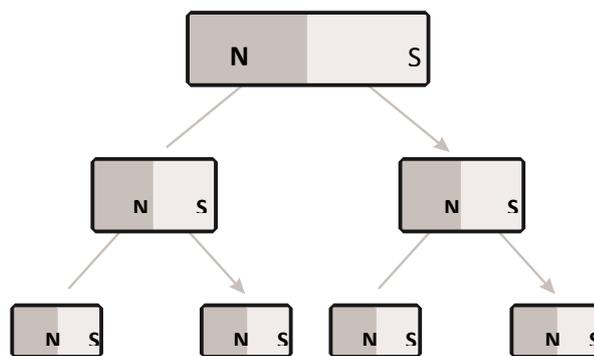


Figura 77: Ímãs e sua propriedade de inseparabilidade dos polos magnéticos.

Se continuarmos dividindo os pedaços, obteremos ímãs cada vez menores. Até quando podemos fazer isso? Até chegarmos a peças de tamanho microscópico, chamadas de “domínios magnéticos”. Um conhecimento sobre o que se passa no interior de um domínio magnético só é possível com um aprofundamento no estudo da Física Atômica. Por ora, basta saber que existe um limite para a divisão dos ímãs ao meio.

Magnetização

Em uma barra de ferro não magnetizada, os domínios magnéticos são distribuídos de forma caótica. Se aproximarmos essa barra de um ímã poderoso, todos os seus domínios se “orientam” e ela passa a funcionar como um ímã, como mostrado (*figura 78*).

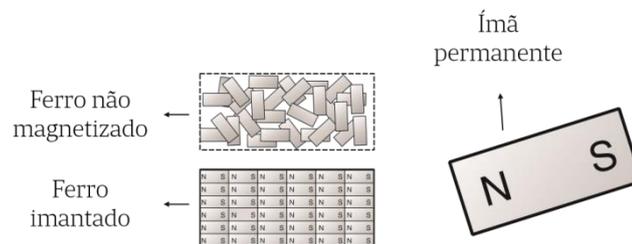


Figura 108

Figura 78: Ilustração da magnetização de materiais.

Na prática, usamos este fenômeno para “fabricar” ímãs, submetendo materiais em que a orientação dos domínios é possível a poderosos campos magnéticos.

Linhas de força

Podemos representar, por meio de linhas de força, o campo magnético de um ímã, ou seja, a sua influência no espaço que o cerca. Estas linhas saem do pólo Norte e chegam ao pólo Sul.

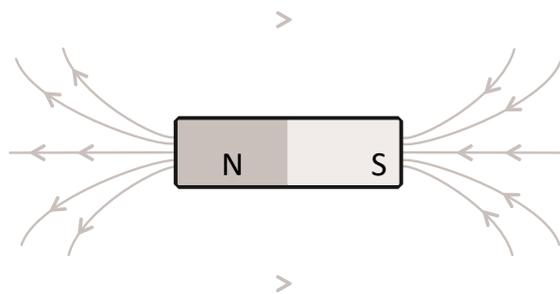


Figura 79: Campo de um ímã em forma de barra.

Como todo ímã tem sempre dois polos, as linhas que representam o campo magnético são linhas fechadas, isto é, saem sempre de um polo e chegam ao outro, como ilustrado (*figura 79*).

Observe ainda que as linhas ficam mais próximas umas das outras nos polos, onde o campo magnético é mais forte. No centro do ímã (entre os polos) as linhas são mais separadas, indicando que neste ponto a manifestação de forças magnéticas é muito menor.

**SE LIGA NA CHARADA!****PERGUNTA:**

Tenho pólos inseparáveis, sou capaz de atrair materiais ferrosos e minhas linhas de força estão sempre fechadas. Quem sou eu?

RESPOSTA:

Ímã.

Eletromagnetismo

O ramo da Física que estuda a interação entre campos elétricos e magnéticos é o eletromagnetismo. O eletromagnetismo analisa o conjunto de fenômenos associados à criação de um campo magnético pela passagem de uma corrente elétrica.

**VOCÊ SABIA?**

Você sabia que Michael Faraday, além de descobrir a indução eletromagnética, também inventou o dínamo? Esse dispositivo é o antecessor dos modernos geradores de energia elétrica.

Efeito magnético da corrente

A descoberta da relação entre eletricidade e magnetismo coube ao físico dinamarquês Hans Christian Oersted (1777-1851). Antes dele, no entanto, já havia hipóteses sobre essa relação, motivadas pela coincidência entre os aspectos opostos (na eletricidade, as cargas positivas e negativas; no magnetismo, os pólos norte e sul) e pelo fato de que, em ambos os fenômenos, os opostos se atraem e os iguais se repelem.

A experiência de Oersted (*figura 80*), feita em 1820.

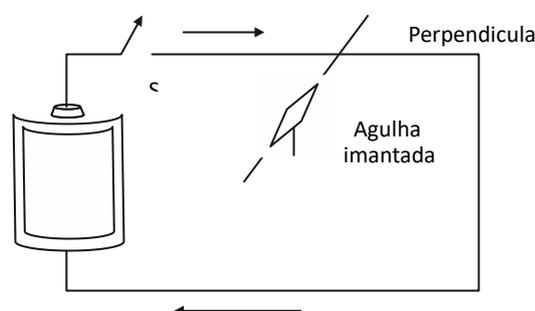


Figura 80: Experiência de Oersted. Campo de um ímã em forma de barra. Ao fechar S o campo criado pela corrente move a agulha imantada.

Nesta experiência, quando a chave S é fechada, cria-se um campo magnético perpendicular ao fio, em consequência da circulação da corrente. O campo atua sobre a agulha de uma bússola, que se posiciona de modo a ficar perpendicular ao fio, ou seja, paralela às linhas de força do campo. Vale observar que o campo só existe enquanto a corrente circula pelo fio.

O campo magnético criado tem uma orientação bem definida (*figura 81 e 82*). Ele envolve o fio com as linhas.

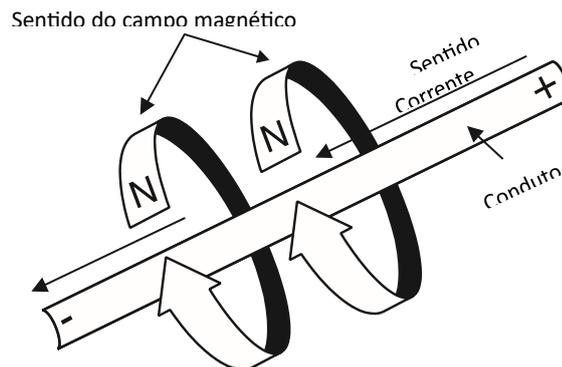


Figura 81: Sentido do campo magnético em torno de um fio.

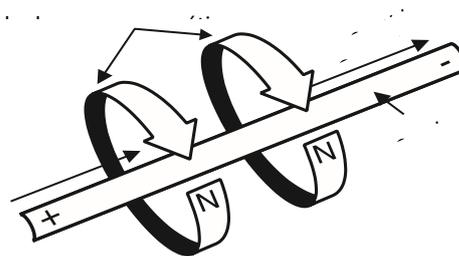


Figura 82: Sentido do campo magnético em torno de um fio.

Observe que o campo magnético que surge ao redor do condutor possui uma orientação magnética (de norte “N” para sul “S”) definida em função do sentido da corrente (convencional) no condutor.

Regra da mão direita

É necessário prever como é o campo criado por uma determinada corrente. Para facilitar essa previsão, existe a Regra da Mão Direita.

Essa regra facilita a memorização do sentido do campo em relação à corrente. Se segurarmos o fio com a mão direita de modo que o dedo indicador aponte para o sentido da

corrente, as linhas de força do campo estarão acompanhando a posição dos demais dedos, como ilustrado (*figura 83*).

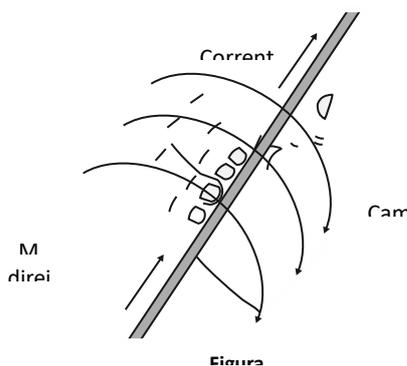


Figura 83: Regra da mão direita.

Indução eletromagnética

Da mesma forma que uma corrente elétrica produz um campo magnético, se um condutor penetrar num campo magnético, gera-se uma corrente. O físico inglês Michael Faraday (1791-1867) é considerado o descobridor desse fenômeno, em que se produz corrente elétrica a partir de um campo magnético.

Para que o fenômeno ocorra, é preciso que o condutor se mova em relação ao campo ou que o campo se mova em relação ao condutor, de forma que as linhas de força do campo magnético sejam “cortadas” pelo condutor. A indução só ocorre com o movimento, pois se trata de um fenômeno **dinâmico**.

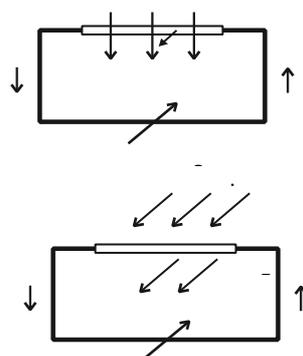


Figura 84: Regra da mão direita.

Para haver indução, como ilustrado (*figura 84*) é preciso que as linhas de força do campo atravessem o fio ou que o fio atravesse as linhas; se o fio se mover paralelamente às linhas do campo, sem atravessá-las, não haverá indução.

Fluxo magnético

Quando temos um campo magnético atuando numa determinada região do espaço, dizemos que neste local existe um fluxo magnético, que pode ser medido pela quantidade de linhas de força que atravessam uma determinada superfície, por unidade de área.

Onde as linhas de força se concentram e atravessam a superfície em maior número, dizemos que o fluxo é maior, como ilustrado (*figura 85*).

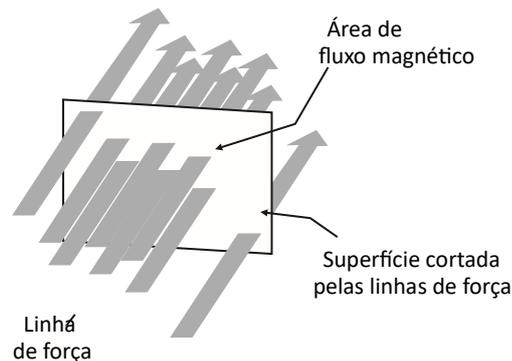


Figura 85: Fluxo magnético.

A quantidade de linhas de força de um campo que atravessa uma superfície pode ser medida tanto em Tesla (T) quanto em Gauss (G). As duas unidades são encontradas nas especificações de produtos cujo princípio de funcionamento se baseia em campos magnéticos.

Lei de Lenz

O físico russo Heinrich Lenz (1797 - 1878) foi quem descobriu a relação existente entre o sentido da corrente elétrica induzida em um circuito e o campo magnético que a induziu. A Lei de Lenz afirma que “quando uma corrente elétrica for induzida pelo movimento de um condutor num campo magnético, esta corrente terá um sentido tal que o campo magnético por ela criado irá se opor ao movimento do condutor”, como ilustrado (*figura 86*).

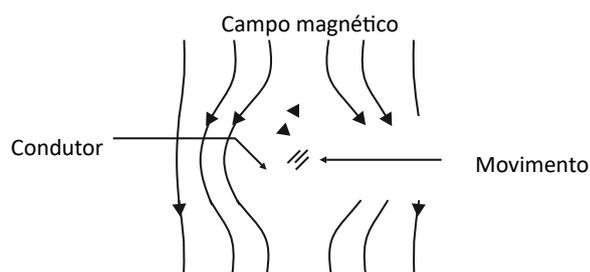


Figura 86: Regra da mão direita.

Quando o condutor se move no campo, a corrente induzida cria seu próprio campo magnético que tende a se opor ao campo atravessado, deformando-o. Isso significa que, para gerar uma corrente induzida, é necessário gastar energia.

Efeito Motor da Indução Eletromagnética

Quando um condutor é percorrido por uma corrente e está imerso num campo magnético, verifica-se o aparecimento de uma força que atua sobre o condutor. É o chamado **Efeito Motor** da indução eletromagnética, aproveitado em instrumentos elétricos e eletrônicos, além de motores.

Essa força tem características peculiares: é perpendicular ao sentido da corrente e também às linhas do campo magnético em que está o fio, como ilustrado (*figura 87*)

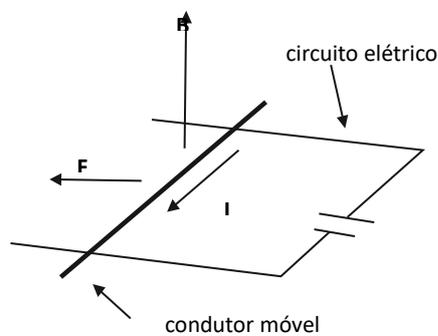


Figura 87: Efeito motor.

Para determinar o sentido da força em função do sentido da corrente e do campo, usa-se a Regra da Mão Direita. Veja na figura (*figura 88*) como podemos usar os dedos na posição indicada para determinar a força, o campo e a corrente nas condições indicadas.

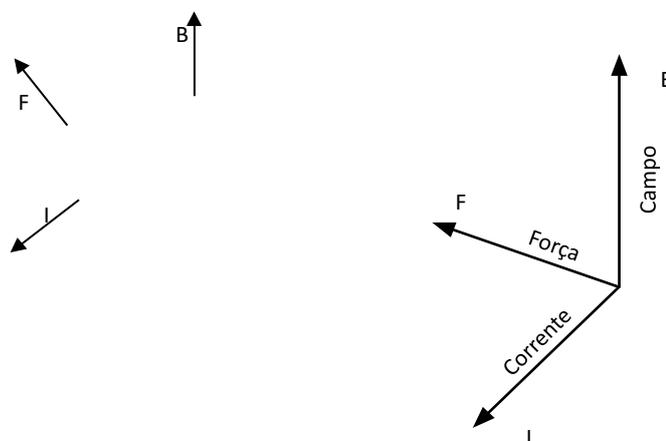


Figura 88: Regra da mão direita e sentido da força.

INTRODUÇÃO AO MULTÍMETRO, TIPOS DE CORRENTE, MOTORES E TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

Introdução ao multímetro

O multímetro é uma ferramenta indispensável para medir grandezas elétricas, como tensão, corrente e resistência, sendo essencial em aplicações práticas de eletricidade e eletrônica. Ele pode ser encontrado em dois formatos principais:

- ✓ **Analógico:** Apresenta leituras através de um ponteiro que se move sobre uma escala graduada. Embora menos preciso do que os modelos digitais, é útil para medições simples e quando se deseja observar variações contínuas no valor medido.
- ✓ **Digital:** Oferece maior precisão e facilidade de leitura, com os valores exibidos em um display numérico. É amplamente utilizado devido à sua confiabilidade, precisão e funcionalidade aprimorada.

Antes de utilizar o multímetro, é importante compreender os métodos de conexão e o tipo de medição a ser realizada. Seguir as instruções corretas para configuração e ligação garantirá medições precisas e seguras.

Medição de tensão

Para medir tensão em um circuito, o multímetro deve ser conectado em paralelo ao componente ou ponto onde a medição será realizada:

Configuração:

- ✓ Ajuste o seletor do multímetro para a função de medição de tensão (AC ou DC, dependendo do tipo de sinal). Escolha uma faixa de tensão maior que o valor esperado.

Conexão:

- ✓ Conecte a ponta de prova vermelha ao ponto de maior potencial.
- ✓ Conecte a ponta de prova preta ao ponto de menor potencial (referência ou terra).
- ✓ Certifique-se de que as pontas de prova estejam bem fixadas para evitar erros de leitura.

Energize o circuito e observe o valor exibido no display. Caso o valor esteja abaixo da faixa escolhida, ajuste para uma faixa inferior para obter maior precisão.

Medição de corrente

Para medir corrente, o multímetro deve ser conectado em série com o circuito, pois a corrente flui através do instrumento:

Configuração:

- ✓ Ajuste o seletor para a função de medição de corrente (AC ou DC) e escolha a maior faixa disponível.

Conexão:

Desligue o circuito antes de conectar o multímetro.

- ✓ Abra o circuito no ponto onde a corrente será medida.
- ✓ Conecte a ponta de prova vermelha ao terminal de entrada do circuito.
- ✓ Conecte a ponta de prova preta ao terminal de saída do circuito.

Medição:

- ✓ Ligue o circuito e observe a leitura no display. Caso o valor seja baixo, ajuste para uma faixa inferior.

Após a medição, desligue o circuito e remova o multímetro para restaurar a conexão original.

Medição de resistência

Para medir resistência, o multímetro deve ser conectado diretamente ao componente ou trecho do circuito, com o circuito desenergizado. A medição é feita em paralelo ao componente:

Configuração:

- ✓ Ajuste o seletor para a função de resistência e escolha uma faixa apropriada.

Conexão:

- ✓ Certifique-se de que o circuito está desenergizado para evitar danos ao multímetro.
- ✓ Conecte a ponta de prova vermelha em um terminal do componente.
- ✓ Conecte a ponta de prova preta no outro terminal do componente.

Medição:

- ✓ Observe o valor exibido no display e compare com o valor esperado. Caso o valor não seja preciso, ajuste para uma faixa inferior ou superior.

Dicas e Cuidados Gerais

- ✓ Sempre certifique-se de que o multímetro está configurado corretamente antes de realizar qualquer medição.
- ✓ Não tente medir resistência em circuitos energizados.

- ✓ Para medições de corrente, verifique se a capacidade do multímetro suporta a corrente do circuito para evitar danos.
- ✓ Verifique as conexões das pontas de prova regularmente para garantir a precisão das medições.

Tipos de corrente, transformadores e motores elétricos

Corrente contínua

Os circuitos com os quais trabalhamos até agora são os chamados circuitos elétricos simples, formados, por exemplo, por pilhas e baterias ligadas a elementos como resistores e lâmpadas.

Na figura (figura 89) temos um desses circuitos. Observe que as pilhas estabelecem uma diferença de potencial no resistor, de modo a produzir uma corrente que circula entre o polo positivo e o negativo.

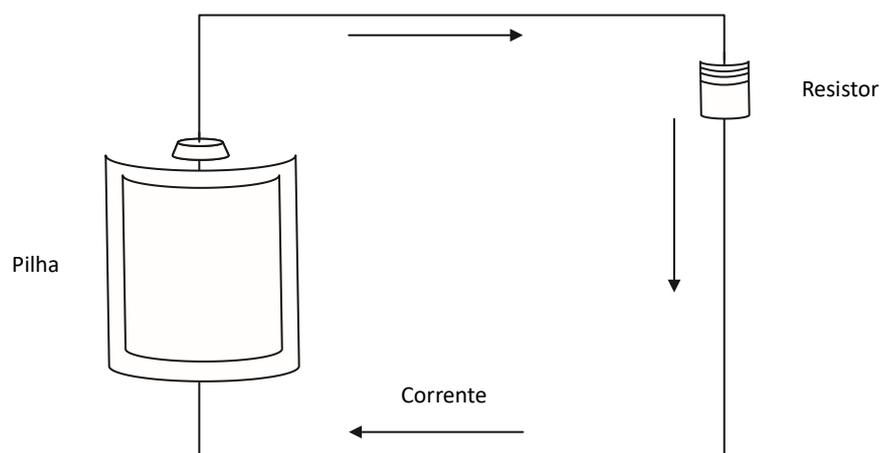


Figura 89: Circuito com corrente contínua.

A corrente circula sempre no mesmo sentido, de forma invariável e com intensidade determinada pela resistência do resistor, segundo a Lei de Ohm.

Essa é a chamada **corrente contínua**, abreviada por CC (também encontramos a abreviação DC, de Direct Current, nos documentos em inglês e nos painéis de aparelhos importados). Para gerar uma corrente contínua, precisamos de uma fonte de tensão constante, ou tensão também contínua, como as pilhas e baterias.

Corrente alternada

Vamos imaginar um tipo de gerador diferente das baterias e pilhas. Na figura (figura 90) temos um tipo de gerador diferente, que “gira” para criar uma corrente. O funcionamento

característico desse gerador produz uma corrente que “vai e vem”, conforme simbolizam as setas da figura.

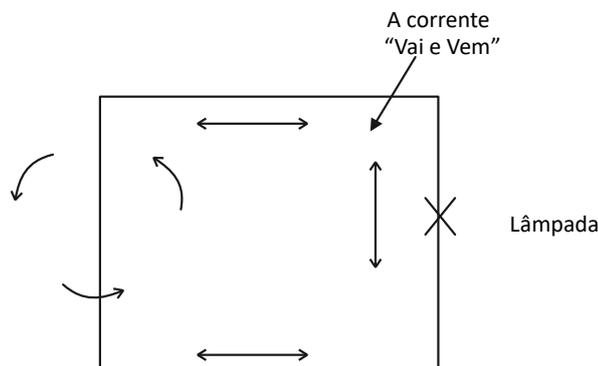


Figura 90: Circuito com corrente alternada.

A cada volta do gerador, a corrente circula uma vez num sentido e outra no sentido oposto. Em outras palavras: os polos do gerador num momento ficam positivos e nos outros negativos; ou seja, têm a polaridade alternada de instante para instante. É por isso que chamamos esse tipo de corrente de **corrente alternada**.

Para produzir uma corrente alternada, é preciso que o circuito seja submetido a uma **tensão alternada**.

Observe, porém, que o efeito de uma corrente alternada é o mesmo de uma corrente contínua. No caso da lâmpada ligada ao gerador de corrente alternada, também chamado de **alternador**, quando a corrente “vai” o filamento se aquece, e quando ela “volta” também, o que significa que a lâmpada se acende da mesma forma.

Os geradores das empresas que nos fornecem energia elétrica são alternadores, como ilustrado (*figura 91*). Também encontramos o alternador nos automóveis (é ele o responsável por transformar a força do motor em eletricidade para todo o veículo).

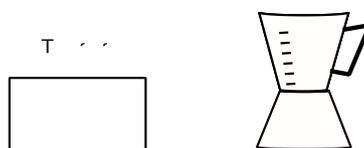


Figura 91: Ilustração de circuito com fontes de corrente alternada.

Formas de onda

A forma como a tensão muda de sinal ou a corrente muda de sentido é suave e pode ser expressa por um gráfico de sua forma de onda, ou sua **senoide**. Associamos os valores que a corrente assume a cada volta aos ângulos de um ciclo completo do gerador, como ilustrado (figura 92).

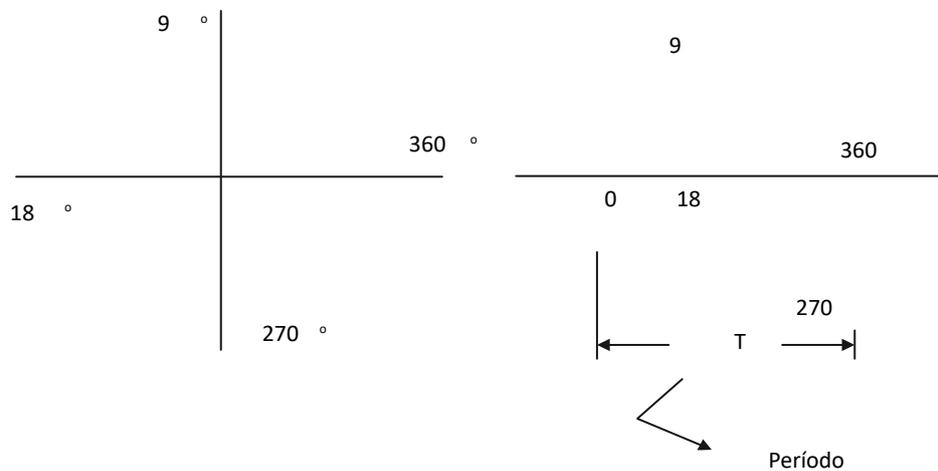


Figura 92: Representação da tensão ou corrente interpretada como uma função senoide.

Em um processo periódico, o número de ciclos completos que ocorrem por segundo é o que chamamos de **frequência**. Sua unidade de medida é o hertz (Hz). Na rede de energia, 60 vezes em cada segundo a polaridade é positiva e 60 vezes é negativa; ou seja, temos 60 ciclos completos produzidos a cada segundo. Nesse caso dizemos que a frequência da corrente alternada da rede de energia é de 60 hertz (60 Hz).

Cada ciclo corresponde a 360 graus da volta completa do gerador que o produz. Metade de um ciclo completo ou um **semiciclo** corresponde a 180 graus. Os pontos em que a corrente ou tensão atinge maior valor são denominados “picos” e ocorrem aos 90 e 270 graus. Para que um ciclo se complete, precisamos de 1/60 segundo o que significa que o **período** da corrente alternada da rede de energia é 1/60 segundo.

Observe que o período é o inverso da frequência ou:

$$f = \frac{1}{T} \quad (f = \text{frequência}; T = \text{período})$$

Existem países em que a frequência da energia da rede é de 50 Hz.

Valores da Corrente Alternada

Você já sabe que a corrente alternada está constantemente mudando de intensidade e sentido. O gráfico que tem a forma de uma senoide ilustra com precisão esse movimento.

Existem diversas maneiras de expressarmos o valor de uma corrente ou de uma tensão alternada. Podemos tomar o valor máximo ou valores intermediários que dependem dos efeitos que a corrente produz.

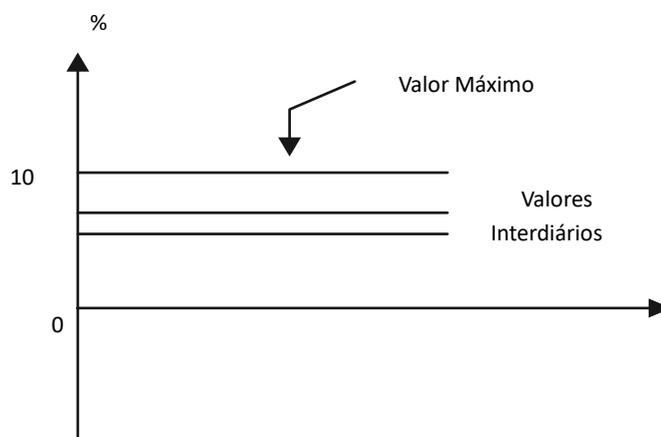


Figura 93: Representação através do valor máximo, mínimo e intermediário.

Observe no gráfico (*figura 93*) que a tensão sobe lentamente a partir do zero até atingir um valor máximo no ângulo de fase de 90 graus. Este valor atingido é o **pico positivo**.

Como a corrente é gerada por um gerador que “gira”, é comum representarmos um ciclo completo da mesma maneira que representamos uma volta completa de um círculo, ou seja, por 360 graus.

Voltando ao valor máximo, observamos que ele permanece apenas por uma fração de segundo. Assim, os efeitos que a corrente tem ao entregar energia a um circuito de carga não correspondem a este valor, mas sim a uma média entre 0 e 100%, ou entre 0 e o valor de pico.

São então definidos dois valores intermediários que refletem os efeitos desse tipo de corrente e que, por isso, são os mais empregados nos cálculos de corrente alternada.

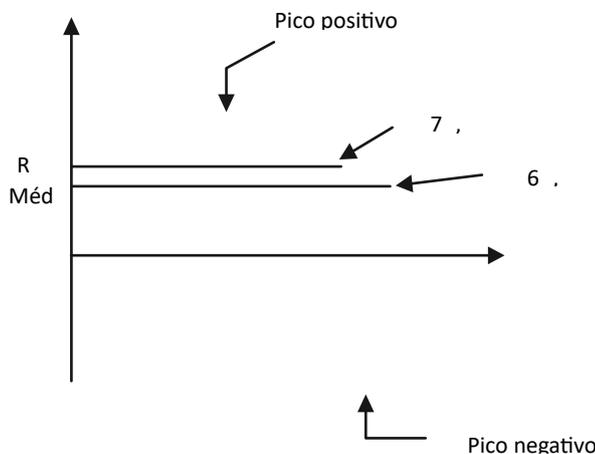


Figura 94: Representação gráfica através do rms.

O valor **rms** (Root Mean Square), ou “raiz quadrada média” ($\sqrt{2}/2$), corresponde a 70,7% do valor de pico, como ilustrado (figura 94). O valor **médio** corresponde a 63,7 % do valor de pico.

Como calcular?

Chamando de **Vp** o valor de pico, **Vm** o valor médio e **Vrms** o valor da raiz quadrada média, temos as seguintes relações para cálculos:

- ✓ $V_m = 0,637 \times V_p$
- ✓ $V_{rms} = 0,707 \times V_p$
- ✓ $V_p = 1,41 \times V_{rms}$
- ✓ $V_p = 1,57 \times V_m$

Corrente Alternada Senoidal

A corrente alternada senoidal é a mais comum na maioria dos aparelhos elétricos e eletrônicos.

Na figura (figura 95) ilustramos a forma de onda de uma corrente alternada senoidal, como a que encontramos na rede residencial de energia.

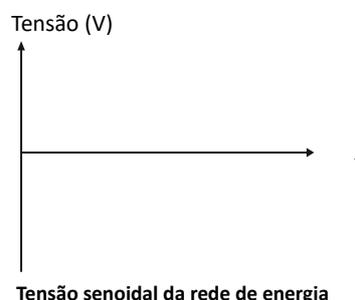


Figura 95: Forma de onda da corrente alternada senoidal.

Outras Formas de Onda

Nos circuitos eletrônicos, além das correntes contínuas e alternadas senoidais, encontramos correntes chamadas “sinais”. Recebem esse nome porque podem transportar informações ou exercer uma função diferente daquela de, simplesmente, levar a energia de um ponto a outro do circuito.

Quando representados na forma de gráficos, os sinais resultam em figuras bastante familiares. Assim, é comum que eles sejam identificados pelas suas formas de onda, ou formas de representação: sinais retangulares, quadrados, triangulares ou senoidais são

termos que se referem à forma de onda, ou seja, à representação da maneira como eles variam conforme o tempo.

Corrente Contínua Pulsante

Um tipo de corrente encontrada em muitos aparelhos é aquele em que temos apenas os semi ciclos positivos de uma senoide, os quais podem estar separados ou juntos.

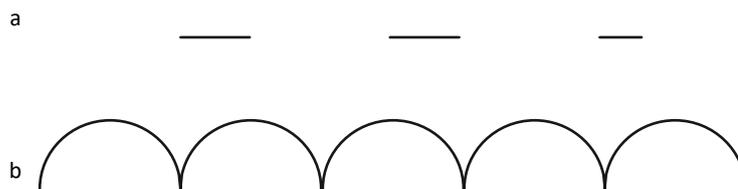


Figura 96: Dois tipos de corrente contínua pulsante.

Esta corrente é empurrada num único sentido por pulsos ou “soquinhos”. Dizemos tecnicamente que se trata de uma corrente contínua pulsante. Continua porque circula num único sentido; pulsante porque se faz na forma de pulsos, como ilustrado (*figura 96*).

Sinais Retangulares/Quadrados

Um outro tipo de corrente ou sinal é o que obtemos quando abrimos e fechamos uma chave em intervalos uniformes. Temos, assim, uma corrente num instante e no outro instante não. Se os tempos em que a chave estiver aberta forem iguais aos tempos em que ela está fechada, dizemos que o ciclo ativo desta corrente é de 50 %.

Na figura (*figura 97*) temos representações desse tipo de sinal, que lembram quadrados ou retângulos. Por isso, é comum usar a denominação de sinal retangular, ou então sinal quadrado quando o ciclo ativo é de 50%. Observe os ciclos ativos que indicam, em cada ciclo, por quanto tempo temos corrente e quanto tempo não.

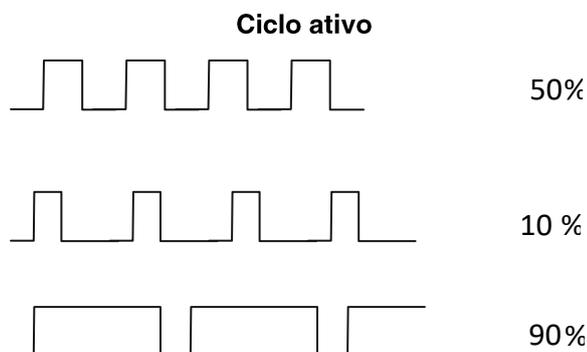


Figura 97: Sinal de onda retangular.

Sinais Dente de Serra e Triangulares

Duas outras formas de sinais são ilustradas nas figuras (figura 98 e 99).

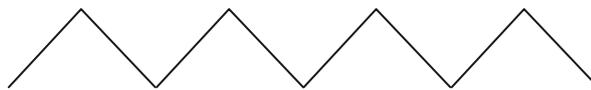


Figura 98: Sinal de onda triangular.

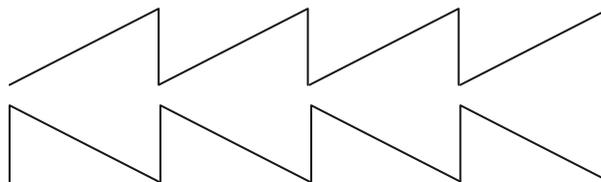


Figura 99: Sinal de onda dente de serra.

Estas formas de onda são encontradas em televisores, monitores de vídeo, máquinas industriais, equipamentos médicos, automotivos e de telecomunicações. No sinal triangular, a corrente sobe e desce de forma regular e constante. No sinal dente de serra, temos uma subida lenta e depois uma queda rápida, ou vice-versa.

Transformadores

A principal aplicação prática dos transformadores está na alteração dos valores das tensões e correntes, além de outras características de um circuito. Tratemos a princípio do fenômeno da indução, no qual se baseia o funcionamento do transformador.

Indução

Sabemos que, quando uma corrente elétrica percorre um condutor, é criado um campo magnético. Também sabemos que a eletrização dos corpos pode se dar de três formas: por atrito, por contato e por indução.

No caso específico da indução, temos o seguinte fenômeno: quando um condutor é movimentado através das linhas de força do campo magnético de um outro condutor ou de um ímã natural, produz-se no primeiro condutor uma corrente.

Dizemos, no caso, que houve indução de uma corrente no primeiro condutor. Um fato importante a ser observado é que esta indução só ocorre quando o condutor é movimentado em relação ao campo ou vice-versa.

Na figura (figura 100) ilustramos o fenômeno.

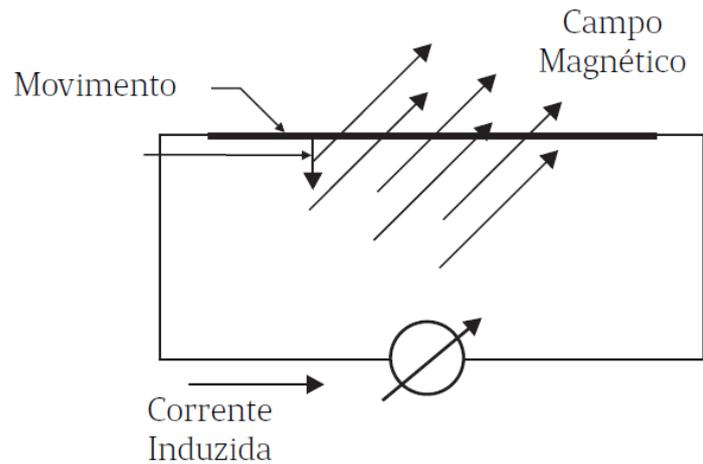


Figura 100: Indução de corrente elétrica. O movimento de um condutor num campo provoca a indução de corrente.

Entende-se, portanto, que a indução é um fenômeno **dinâmico**, isto é, só ocorre quando há variação no campo magnético, seja ela provocada pela movimentação relativa dos elementos físicos do conjunto, seja pela variação da corrente que cria o campo. Isso significa que o ligar e desligar da corrente também pode provocar a indução.

O Transformador

Na figura (*figura 101*) temos um bastão de material ferroso (que concentra as linhas de força do campo magnético) onde são enroladas duas bobinas.

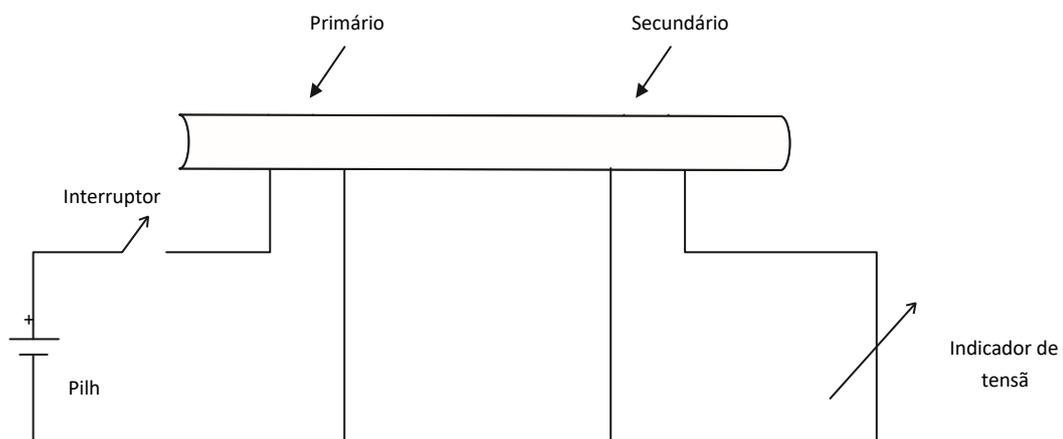


Figura 101: Transformador elétrico.

Princípio de funcionamento do Transformador

Uma das bobinas, denominada **primário**, é conectada a uma pilha e a um interruptor que liga e desliga a corrente. A outra bobina, que denominamos **secundário**, é ligada a um indicador de tensão (*figura 102*).

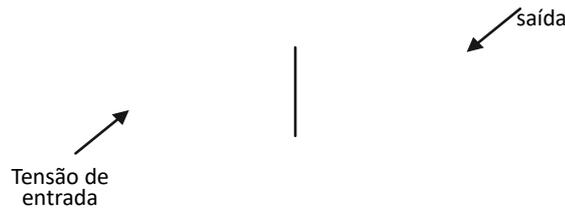


Figura 102: Transformador elétrico.

Quando ligamos o interruptor, a corrente estabelecida no primário cria um campo que induz uma tensão no secundário. Tão logo a corrente se estabiliza no primário, encerra-se a indução e a tensão no secundário cai a zero.

Quando desligamos o interruptor, a corrente cai a zero e as linhas de força do campo criado se contraem. Durante essa contração, uma tensão de polaridade contrária é induzida no secundário por um instante.

Nesse caso, só poderíamos ter uma tensão permanente (mesmo que oscilando) no secundário se ficássemos ligando e desligando o interruptor rapidamente. Este problema pode ser resolvido se, em lugar de alimentarmos o primário com uma tensão contínua, usarmos uma **corrente alternada**.

As variações constantes da corrente no primário induzem no secundário uma tensão alternada de igual frequência.

Operação com corrente alternada

Este dispositivo formado por duas bobinas (primário e secundário), alimentado por corrente alternada, recebe o nome de **transformador**. Na figura (*figura 103*) temos os símbolos adotados para representar os principais tipos de transformadores. As linhas contínuas e tracejadas representam os **núcleos**.

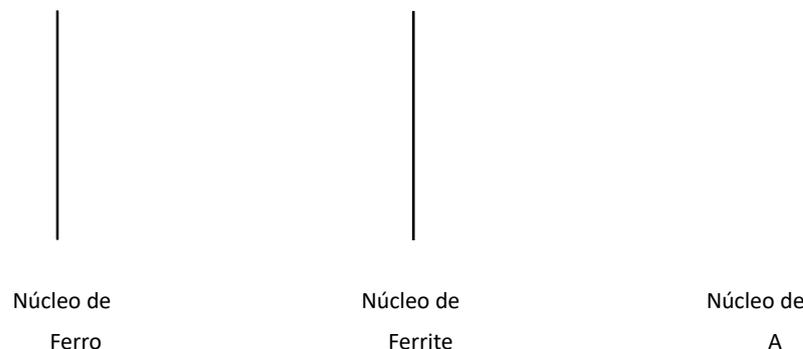


Figura 103: Tipos de transformadores elétricos.

Ao aplicarmos uma tensão alternada no primário, o valor da tensão induzida no secundário irá depender do número de voltas de fio de cada enrolamento.

Assim, se o enrolamento secundário tiver metade do número de voltas em relação ao primário, a tensão ficará dividida por 2. Aplicando 220 V no primário, obtemos 110 V no secundário.

Isso faz do transformador um dispositivo que pode ser usado para alterar o valor das tensões alternadas.

Na figura (figura 104) temos exemplos de transformadores com tensões de primário e secundário as mais diversas.

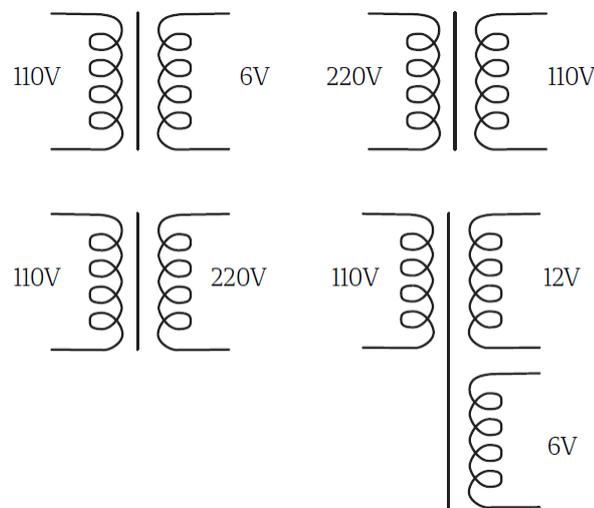


Figura 104: Exemplos de transformadores com tensões de primário e secundário.

Tipos de Transformadores

Com relação ao modo como os transformadores são construídos e quanto ao posicionamento das bobinas, existem diversas possibilidades. Podemos usar diferentes formatos de núcleos, diferentes materiais, como ferro laminado, ferrite; podemos até mesmo fazê-los sem núcleo.

Tipos comuns de Transformadores

O modo de construção de cada tipo depende da potência com que ele trabalha, da frequência da corrente que deve ser transformada e também da tensão.

Cálculos de Transformadores

Sabemos que a alteração de tensão que um transformador promove depende de como são feitos os enrolamentos primário e secundário. Vimos que, se no secundário de um

transformador tivermos a metade das espiras do primário, a tensão ficará reduzida à metade: aplicando 220 V num enrolamento, obtemos 110 V no outro, como ilustrado (figura 105).

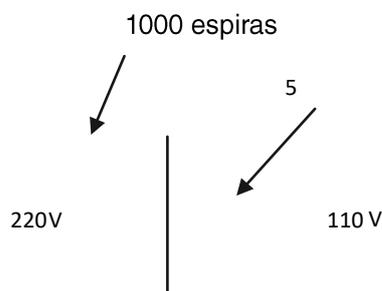


Figura 105: Transformadores com tensões de primário e secundário de 220 V e 110 V.

Nos trabalhos práticos com transformadores, é comum que o profissional precise calcular qual será a tensão obtida no secundário quando a relação de espiras é conhecida. Como fazer esse cálculo?

Para essa finalidade, existe uma fórmula importante que precisa ser memorizada. Chamando de **V_p** a tensão do primário; de **V_s** a tensão de secundário; de **n_p** o número de espiras do primário e de **n_s** o número de espiras do secundário, podemos escrever:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

EXEMPLO:

Um transformador tem 500 espiras no primário e 25 espiras no secundário. Aplicando uma tensão de 100 V no primário, qual será a tensão obtida no secundário?

- ✓ $n_p = 500$
- ✓ $n_s = 25$
- ✓ $V_p = 100$
- ✓ $V_s = ?$

Aplicando a fórmula:

$$\frac{100}{V_s} = \frac{500}{25}$$

$$\frac{100}{V_s} = 20$$

$$\frac{V_s}{20} = 100$$

$$V_s = 5 \text{ V}$$

Vale lembrar, entretanto, que o transformador não pode criar energia. Assim, se a tensão no secundário aumenta, a corrente disponível diminui na mesma proporção.

Motores elétricos

Quando submetemos um condutor (por exemplo, um pedaço de fio) à influência de um campo magnético e, ao mesmo tempo, à corrente elétrica de uma bateria ou pilha, surge uma força que tende a movimentar o condutor em determinada direção. Este efeito, é o princípio de funcionamento dos motores elétricos como ilustrado (*figura 106*).

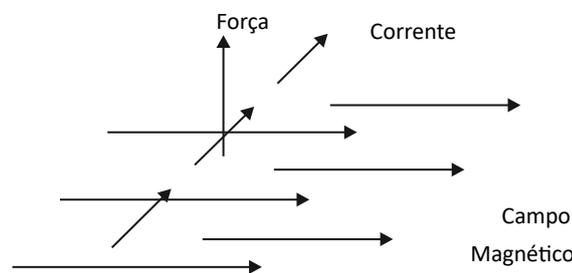


Figura 106: Funcionamento de motores elétricos.

A força que aparece no condutor depende do sentido da corrente que nele circula e também da orientação das linhas do campo magnético. Podemos, por exemplo, controlar o movimento de um fio num campo simplesmente mudando o sentido de circulação da corrente.

Se enrolarmos o fio na forma de uma bobina, podemos aumentar a força exercida pelo campo e pela corrente. Para obtermos o efeito desejado, ou seja, produzir força e movimento, devemos montar a bobina entre os polos de um ímã, além de contar com alguns recursos adicionais.

A figura (*figura 107*) reproduz a experiência com um motor elementar. Trata-se de uma espira de fio que gira entre os polos de um ímã. Observe que a espira é montada em um eixo, de modo a poder girar livremente. A esse conjunto móvel damos o nome de **rotor**.

Para que a espira possa ser submetida à corrente sem que seu movimento seja comprometido, dois contatos fazem a ligação entre a pilha e o eixo. Estes contatos, denominados escovas, têm também a função de, a cada meia volta do rotor, inverter o sentido da corrente.

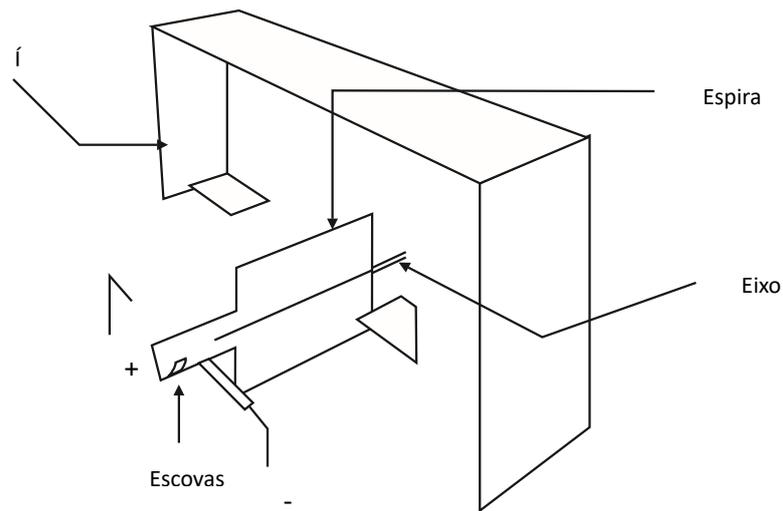


Figura 107: elementos de um motor elementar.

Quando a corrente é aplicada ao conjunto, uma força gira a espira, até que ela alcance uma posição de repouso meia volta depois. Quando ela alcança essa posição, as escovas atuam invertendo a corrente. Após a inversão, a nova posição de repouso estará meia volta à frente, e a espira irá permanecer em movimento. Mais meia volta e novamente as escovas entram em ação, invertendo a corrente. O resultado é que a espira permanecerá indefinidamente em movimento, enquanto houver corrente aplicada (figura 108).

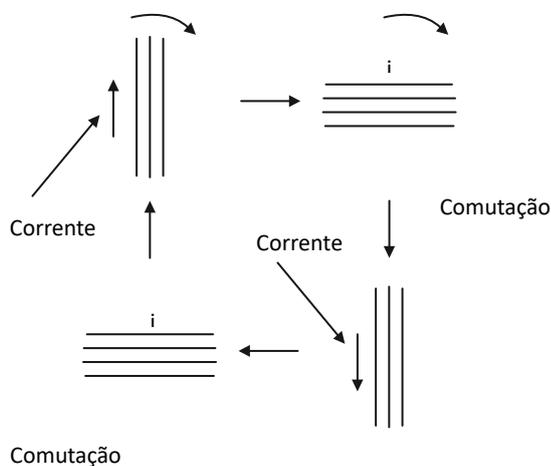


Figura 108: representação de espira em movimento devida aplicação de corrente elétrica.

OBSERVAÇÃO:

- ✓ Nos motores elétricos convencionais, as escovas deslizam sobre os coletores do rotor, contra o qual são pressionadas por molas. Com o tempo, o atrito e a produção de faíscas (devido à comutação das bobinas) provocam desgaste nas escovas, que precisam ser substituídas.

Características dos Motores Elétricos

A força e a velocidade de um motor dependem de diversos fatores, como a espessura do fio usado nos enrolamentos, o número de espiras, o tamanho físico, etc.

Motores costumam ser especificados pela sua tensão nominal de operação, ou seja, quantos volts precisam para funcionar normalmente. Motores elétricos de 1,5 a 48 V são comuns, mas um motor especificado para 6 V pode perfeitamente operar com tensões de 4 a 7 V sem problemas.

Outra especificação é a velocidade, dada em rotações por minuto ou rpm. Valores entre 1.000 e 10.000 são comuns. Vale lembrar que a velocidade do motor depende da sua força e, portanto, da corrente que ele consome. Por isso a rotação de um motor normalmente é especificada sob determinadas condições, como, por exemplo, a intensidade da corrente.

Há uma grande variedade de motores de corrente contínua, inclusive tipos que não possuem escovas, os sincros e os servos. Caso você queira se aprofundar no assunto, poderá encontrar mais informações em livros especializados. Na figura (figura 109) temos uma amostra da variedade de tipos e tamanhos de motores elétricos.



Figura 109: Variedade no tamanho de motores elétricos.

Caixas de Redução

Muitas vezes a rotação de um motor em condições normais de operação é alta demais para a aplicação que se deseja. Por isso é comum que os motores de corrente contínua operem associados a conjuntos de engrenagens, ou *caixas de redução*, como ilustrado (figura 110). Estas caixas de redução, além de diminuir a velocidade de rotação, também aumentam sua força, que é medida em termos de *torque*.

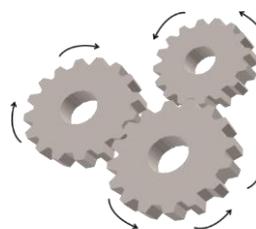


Figura 101

Figura 110: engrenagens ou caixas de redução.

Motores de Passo

Na figura (figura 111) mostramos um tipo de motor de corrente contínua que hoje encontra vasta aplicação em indústria e mesmo produtos de consumo, com destaque para os equipamentos de automação e informática. Trata-se do *motor de passo*.

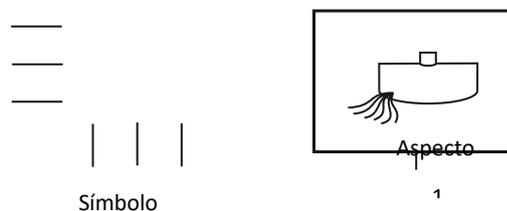


Figura 111: Símbolo e aspecto de motores de passo.

O motor de passo, usado em aplicações de precisão, não possui escovas, sendo formado por um conjunto de bobinas. Energizando essas bobinas de determinada forma, é possível colocar o rotor na posição que desejarmos.

Graças a essa característica, o motor de passo não se destina somente à produção de movimento, mas também ao posicionamento de peças. É ele, por exemplo, que posiciona a cabeça de uma impressora para gravar um símbolo num determinado ponto de uma folha.

A figura (figura 112) representa a estrutura interna de um motor de passo de 4 fases.

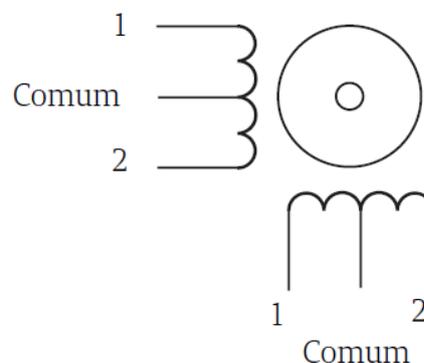


Figura 112: Estrutura interna de um motor de passo.

Para cada bobina energizada, o rotor gira até um certo ângulo. Se energizarmos as bobinas em sequência, ele pode dar tantas voltas quantas sejam as sequências de pulsos aplicados. A posição final, que pode ser prevista com precisão, depende justamente desta sequência de pulsos. O motor mostrado é de 4 fases e usa quatro enrolamentos, mas existem outros tipos.

Sessões Especiais

MAPA DE ESTUDO



SÍNTESE DIRETA

1. INTRODUÇÃO À ELETRICIDADE E INSTRUMENTAÇÃO

- **História e importância** da eletricidade e instrumentação.
 - ✓ **Contribuições de Faraday, Franklin e Volta** para o desenvolvimento da eletricidade.
 - ✓ **Aplicações** em sistemas industriais, automação e telecomunicações.
 - ✓ Papel essencial na **eficiência energética** e segurança dos sistemas.

2. TENSÃO E CORRENTE CONTÍNUA

- **Conceitos básicos e cálculos** fundamentais.
 - ✓ **Tensão elétrica:** $V = \frac{E}{Q}$, diferença de potencial que impulsiona cargas elétricas.
 - ✓ **Corrente contínua:** $I = \frac{Q}{t}$, fluxo unidirecional de cargas elétricas.
 - ✓ Relação entre tensão, corrente e resistência: **Lei de Ohm** ($V = I \cdot R$).
 - ✓ **Energia elétrica e eficiência:** cálculo de consumo energético e otimização.

3. CIRCUITOS ELÉTRICOS EM CC. ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES

- Estruturas de **resistores** em circuitos de **corrente contínua**.
 - ✓ **Associação em série:** soma das resistências.
 - ✓ **Associação em paralelo:** cálculo da resistência equivalente ($\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$).
 - ✓ **Associação mista:** combinações de série e paralelo para aplicações complexas.
 - ✓ **Elementos adicionais:** capacitores, indutores e suas propriedades em circuitos.

4. INTRODUÇÃO AO MULTÍMETRO, TIPOS DE CORRENTE, MOTORES E TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

- **Uso prático do multímetro** em medições elétricas.
 - ✓ **Medição de tensão:** conexão em paralelo.
 - ✓ **Medição de corrente:** conexão em série.
 - ✓ **Medição de resistência:** circuitos desenergizados.
- **Tipos de corrente**
 - ✓ **Corrente contínua:** fluxo constante em um único sentido.

- ✓ **Corrente alternada:** fluxo alternado com formas de onda senoidais e frequências específicas (ex.: 60 Hz).
- **Transformadores e motores:**
 - ✓ **Transformadores:** relação entre espiras e tensão para aumentar ou reduzir voltagem.
 - ✓ **Motores elétricos:** princípios de operação, motores de passo e caixas de redução para controle de movimento.

MOMENTO QUIZ

2. Sobre a tensão elétrica, é correto afirmar:

- a) É a resistência oferecida ao fluxo de corrente elétrica.
- b) É medida em amperes (A).
- c) É a força que impulsiona as cargas elétricas através de um condutor.
- d) Refere-se ao fluxo de elétrons em um único sentido.
- e) Está sempre associada ao magnetismo.

3. Na associação de resistores em série:

- a) A resistência equivalente é sempre menor que a menor resistência.
- b) A corrente é a mesma em todos os resistores.
- c) A tensão é igual em todos os resistores.
- d) A fórmula para calcular a resistência equivalente é $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
- e) O resistor de menor valor dissipa mais calor.

4. Qual das opções abaixo descreve corretamente o funcionamento do transformador?

- a) Funciona apenas com corrente contínua (CC).
- b) Aumenta ou reduz a tensão de acordo com a relação de espiras.
- c) Armazena energia elétrica em suas bobinas para uso futuro.
- d) Gera energia a partir de movimento mecânico.
- e) Utiliza capacitores para regular a tensão de saída.

5. O que a Lei de Ohm estabelece?

- a) A relação entre fluxo magnético e indução elétrica.
- b) A resistência de um circuito em função de seu comprimento.

- c) A proporcionalidade entre tensão, corrente e resistência em um circuito.
- d) A variação da potência elétrica em relação à frequência.
- e) A capacidade de um material armazenar energia elétrica.

1. Ao medir a resistência de um componente com o multímetro:

- a) O circuito deve estar energizado.
- b) O multímetro deve ser configurado para corrente alternada.
- c) O multímetro deve ser conectado em série ao componente.
- d) O multímetro deve ser conectado em paralelo ao componente.
- e) A ponta de prova preta deve estar no ponto de maior potencial.

Gabarito

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	B
3	B
4	C
5	D

Referências

BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. *Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos*. 11. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

HUGHES, Edward. *Eletricidade e Eletrônica*. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O. *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2013.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY Jr., Charles; UMANS, Stephen D. *Máquinas Elétricas*. 7. ed. Porto Alegre: AMGH Editora, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12124 - Termos e definições de grandezas elétricas e magnéticas*. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/IEC 17025 - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração*. Rio de Janeiro, 2017.

SILVA, M. R.; SOUZA, J. F. *Eficiência energética em circuitos elétricos: Análise prática*. *Revista Brasileira de Engenharia Elétrica*, v. 28, n. 3, p. 45-60, 2021.

PEREIRA, L. M.; OLIVEIRA, R. T. *Aplicação de multímetros digitais em ambientes industriais*. *Revista de Eletricidade e Instrumentação*, v. 34, n. 2, p. 12-20, 2020.

SIEMENS. *Manual de Transformadores e Motores Elétricos*. São Paulo: Siemens, 2018. Disponível em: <https://www.siemens.com.br>. Acesso em: 26 jan. 2025.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.



Ineprotéc