

# Eletrotécnica



## **Eletrotécnica**

Técnico em eletrotécnica (ou eletrotécnica) é uma formação no qual se obtém conhecimentos para atuação em diversas áreas da eletroeletrônica.

No Brasil, para acesso ao curso técnico em eletrotécnica, o interessado deverá estar cursando, no mínimo, o segundo ano do ensino médio, como requisito obrigatório para ingressar no ensino técnico.

O eletrotécnico pode realizar tarefas relativas a manutenção, operação, planejamento e teste em sistemas elétricos. Ele pode instalar e operar elementos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, bem como projetar, elaborar, desenvolver e assinar projetos de instalações elétricas de até 800 KVA assumindo assim toda e quaisquer responsabilidades por ele.

Este profissional pode trabalhar em empresas de produtos eletro-eletrônicos, empresas de concessão de energia, indústrias de metalurgia, assistência técnica, telecomunicações, construção civil, hospitais e clínicas.

Esse profissional é responsável por encontrar e trabalhar fontes de energia renováveis ou não-renováveis, criar e manter circuitos de energia mecânicos ou automáticos, avaliar propriedades, acessórios e dispositivos de redes de alta e baixa tensão.

Outro ponto da profissão é que é necessário montar projetos, instalar e realizar manutenção corretiva e preventiva em equipamentos eletrônicos.

## **Metrologia Elétrica**

O termo metrologia vem do grego 'metron' que significa 'medida', e logos que significa 'estudo'. Segundo a definição que consta no VIM 2012, metrologia é o estudo das medições e suas aplicações.

A metrologia engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação. Medições e metrologia são essenciais a quase todos os aspectos dos empreendimentos humanos, pois são utilizados em atividades que incluem o controle da produção, a avaliação da qualidade do meio ambiente, da saúde e da segurança, e da qualidade de materiais, comida e outros produtos para garantir

práticas seguras de comércio e a proteção ao consumidor, para citar alguns exemplos.

A necessidade de medir as coisas é muito antiga e remete à origem das primeiras civilizações. Por um longo período de tempo cada povo teve o seu próprio sistema de medidas, que era estabelecido a partir de unidades arbitrárias e imprecisas como, por exemplo, as baseadas no corpo humano (palmo, pé, polegada, braça, côvado, etc.), o que acabava criando muitos problemas para o comércio, porque as pessoas de uma determinada região não estavam familiarizadas com o sistema de medidas das outras regiões.

Os processos modernos de produção são caracterizados pela montagem de sistemas e equipamentos com peças e componentes comprados no mundo inteiro. Tal montagem só é possível se todos os agentes envolvidos na cadeia de produção seguirem padrões rígidos, onde as grandezas e medições envolvidas estiverem amparadas por um bom sistema metrológico, de modo a permitir condições de perfeita aceitabilidade na montagem e encaixe de partes de produtos finais, independente de onde sejam produzidas.

Medições confiáveis em um país dependem de um sistema de metrologia nacional organizado de tal modo que possa prover os meios para a transferência de seus valores para instrumentos de medição comuns de acordo com procedimentos aceitos internacionalmente.

As medições estão presentes em quase todas as operações comerciais, desde o comércio em larga escala (como o petróleo, o gás natural e a mineração) até a venda de produtos para o público em geral. Com isso, a metrologia também é crucial para o comércio internacional porque fornece os meios técnicos necessários para garantir que as transações comerciais sejam mais justas, transparentes e confiáveis. Para tanto, é necessário a implementação de sistemas harmônicos de medição, que incluem a adoção do Sistema Internacional de Unidades (SI), instrumentos exatos de medição que seguem normas internacionais (por exemplo, as recomendações da OIML) e métodos e procedimentos aprovados. Por fim, outra expressão importante é a de 'infraestrutura metrológica', que é usada para as unidades metrológicas de um país ou região referindo-se aos serviços de calibração e de verificação, seus institutos e laboratórios de metrologia, e a organização e administração de seu sistema de metrologia.

Basicamente, a Metrologia é dividida em três grandes áreas de atuação: científica, industrial e legal:

A Metrologia Científica trata, fundamentalmente, dos padrões de medição internacionais e nacionais, dos instrumentos laboratoriais e das pesquisas e metodologias científicas relacionadas ao mais alto nível de qualidade metrológica. A metrologia científica realiza as unidades de medida a partir da definição, recorrendo à ciência (física e outras), bem como as constantes físicas fundamentais, desenvolvendo, mantendo e conservando os padrões de referência. Atua no nível da mais alta exatidão e incerteza, sendo independente de outras entidades em termos de rastreabilidade. A garantia dos valores obtidos assenta fortemente em exercícios de comparação interlaboratorial com outros laboratórios primários.

Exemplos:

a) a realização da Escala Internacional de Temperatura para a disseminação da grandeza temperatura através dos mais variados tipos de termômetros empregados em laboratórios e indústrias;

b) a realização da unidade de resistência elétrica, o ohm, utilizando a constante de von Klitzing para exprimir o valor de um padrão de resistência elétrica de referência em função do efeito Hall quântico, com uma incerteza relativa de  $10^{-7}$  em relação ao ohm, através do que se obtém a definição desta grandeza.

A Metrologia Industrial abrange aos sistemas de medição responsáveis pelo controle dos processos produtivos e pela garantia da qualidade e segurança dos produtos finais. A metrologia industrial atua no âmbito das medições da produção e transformação de bens para a demonstração da qualidade metrológica em organizações com sistemas de qualidade certificados. As medições na indústria viabilizam a quantificação das grandezas determinantes à geração de um bem ou serviço, subsidiando com informações o planejamento, a produção e o gerenciamento dos processos que o produzem. A metrologia industrial baseia-se numa cadeia hierarquizada de padrões existentes em laboratórios e empresas, padrões estes rastreáveis a padrões primários (internacionais ou nacionais).

Exemplos:

a) Medidas de comprimento utilizando equipamentos a laser;

b) Ensaios em produtos certificados, tais como brinquedos, extintores de incêndio, fios e cabos elétricos, entre outros.

A Metrologia Legal é parte da metrologia relacionada às atividades resultantes de exigências obrigatórias, referentes às medições, unidades de medida, instrumentos e métodos de medição, que são desenvolvidas por organismos competentes. Tem como objetivo principal proteger o consumidor tratando das unidades de medida, métodos e instrumentos de medição, de acordo com as exigências técnicas e legais obrigatórias. Com a supervisão do Governo, o

controle metrológico estabelece adequada transparência e confiança com base em ensaios imparciais. A exatidão dos instrumentos de medição garante a credibilidade nos sistemas de medição utilizados nas transações comerciais e pelos sistemas relacionados às áreas de saúde, segurança e meio ambiente. Exemplos: Elaboração de regulamentos, aprovação de modelo e verificação de instrumentos de medição que serão utilizados em atividades econômicas, ou que envolvam a saúde ou segurança das pessoas, como por exemplo: - Comércio: balanças, pesos-padrão, hidrômetros, taxímetros, bombas medidoras de combustíveis; - Saúde: termômetros clínicos, medidores de pressão sanguínea (esfigmomanômetros); - Segurança: cronotacógrafos, medidores de velocidade de veículos, etilômetros; - Meio Ambiente: analisadores de gases veiculares, opacímetros, módulos de inspeção veicular; - Efeito Fiscal: medidores de velocidade de veículos, analisador de gases veiculares. Os instrumentos de medição sujeitos ao controle metrológico apresentam selos que impedem seu uso indevido e etiqueta identificando a validade da última verificação metrológica na forma “verificado”. A metrologia legal abrange ainda a verificação do conteúdo líquido de produtos pré-medidos (embalados e medidos sem a presença do consumidor), como por exemplo: produtos alimentícios vendidos nos supermercados, produtos de limpeza e higiene, etc.

#### A importância da metrologia para as empresas

A busca da metrologia como um diferenciador tecnológico e comercial para as empresas é, na verdade, uma questão de sobrevivência. No mundo competitivo em que estamos não há mais espaço para medições sem qualidade, e as empresas deverão investir recursos (humanos, materiais e financeiros) para incorporar e harmonizar as funções básicas da competitividade: normalização, metrologia e avaliação de conformidade. Numa empresa pode acontecer que um determinado produto seja produzido na fábrica com base em medições efetuadas por um Instrumento-1 e o mesmo produto seja verificado no departamento de controle da qualidade, ou pelo cliente, por meio de medições com um Instrumento-2. Imaginemos que os resultados sejam divergentes: qual dos dois é o correto? É natural que cada parte defenda o seu resultado, mas também é possível que nenhuma delas possa assegurar que o seu resultado é o correto. Esta situação, além do aspecto econômico que poderá levar à rejeição do produto, poderá ainda conduzir ao confronto cliente x fornecedor, refletindo-se em um desgaste neste relacionamento e podendo repercutir na sua participação no mercado.

#### Sistema metrológico brasileiro

##### Sinmetro

O Sinmetro é um sistema brasileiro, composto tanto por entidades privadas quanto por órgãos públicos, que tem o papel de exercer serviços relacionados

com metrologia, normalização, qualidade industrial e certificação de conformidade. O Sistema foi instituído em 11 de dezembro de 1973 e é composto por um órgão normativo (Conmetro) e outro executivo (Inmetro). Esse Sistema Nacional tem uma estrutura capaz de avaliar e certificar a qualidade dos produtos, dos processos e dos serviços, por meio de uma rede de laboratórios de ensaio e de calibração e de organismos liderados pelo Inmetro. Essa estrutura atende às necessidades do governo, da indústria, do comércio e da população em geral. Na área da Metrologia Legal, o sistema de defesa do consumidor é largamente difundido, ou seja, o trabalho de fiscalização é considerado de utilidade pública já que atinge mais de 5 mil municípios do Brasil. Dentre as organizações que compõem o Sinmetro, as seguintes podem ser relacionadas como principais: - Conmetro e seus Comitês Técnicos - Inmetro - Organismos de Certificação Acreditados, (Sistemas da Qualidade, Sistemas de Gestão Ambiental, Produtos e Pessoal) - Organismos de Inspeção Acreditados - Organismos de Treinamento Acreditados - Organismos Provedores de Ensaio de Proficiência Credenciados - Laboratórios Acreditados – Calibrações e Ensaio (RBC/RBLE) - Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - Institutos Estaduais de Pesos e Medidas (IPEM) - Redes Metrológicas Estaduais

## Conmetro

O Conmetro é o órgão normativo do Sinmetro e tem como sua secretaria executiva o Inmetro. O Conselho é responsável por garantir a uniformidade e a racionalização das unidades de medida utilizadas no Brasil, fixar critérios e procedimentos para certificação de qualidade de produtos industriais e também por aplicar penalidades nos casos de infração às leis referentes à metrologia, à normalização industrial e à certificação da qualidade de produtos industriais. Cabe ao Conmetro, também, a formulação, coordenação e supervisão da política nacional de metrologia, prevendo mecanismos de consulta que harmonizem os interesses públicos, das empresas e dos consumidores, além da coordenação da participação nacional nas atividades internacionais de metrologia. Compete ao Conmetro: - Formular, coordenar e supervisionar a política nacional de metrologia, normalização industrial e certificação da qualidade de produtos, serviços e pessoal, prevendo mecanismos de consulta que harmonizem os interesses públicos, das empresas industriais e dos consumidores; - Assegurar a uniformidade e a racionalização das unidades de medida utilizadas em todo o território nacional; - Estimular as atividades de normalização voluntária no país; - Estabelecer regulamentos técnicos referentes a materiais e produtos industriais; - Fixar critérios e procedimentos para certificação da qualidade de materiais e produtos industriais; - Fixar critérios e procedimentos para aplicação das penalidades nos casos de infração a dispositivo da legislação referente à metrologia, à normalização industrial, à certificação da qualidade de produtos industriais e aos atos

normativos dela decorrentes; - Coordenar a participação nacional nas atividades internacionais de metrologia, normalização e certificação da qualidade. O Conmetro atua por meio de seus comitês técnicos assessores, que são abertos à sociedade, pela participação de entidades representativas das áreas acadêmica, indústria, comércio e outras atividades interessadas na questão da metrologia, da normalização e da qualidade no Brasil. Os comitês técnicos assessores do Conmetro são: - Comitê Brasileiro de Normalização (CBN) - Comitê Brasileiro de Avaliação da Conformidade (CBAC) - Comitê Brasileiro de Metrologia (CBM) - Comitê do Codex Alimentarius do Brasil (CCAB) - Comitê de Coordenação de Barreiras Técnicas ao Comércio (CBTC) - Comitê Brasileiro de Regulamentação (CBR) Adicionalmente, o Conmetro conta com os seguintes órgãos de assessoramento: - Comissão Permanente dos Consumidores (CPCon) - Comitê Gestor do Programa Brasileiro de Avaliação do Ciclo de Vida

## Inmetro

O Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (Inmetro), autarquia federal vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior (MDIC), é o órgão executivo do Sinmetro. O Instituto tem, dentre suas competências, a) manter e conservar os padrões das unidades de medida, de forma a torná-las harmônicas internamente e compatíveis no plano internacional, visando à sua utilização como suporte ao setor produtivo, com vistas à qualidade de bens e serviços; b) verificar e fiscalizar a observância das normas técnicas e legais, no que se refere às unidades de medida, métodos de medição, medidas materializadas, instrumentos de medição e produtos pré-medidos; c) executar as atividades de acreditação de laboratórios de calibração e de ensaios, de provedores de ensaios de proficiência, de organismos de avaliação da conformidade e de outros necessários ao desenvolvimento da infraestrutura de serviços tecnológicos no País; d) coordenar, no âmbito do SINMETRO, a atividade de avaliação da conformidade, voluntária ou compulsória, de produtos, serviços, processos e pessoas. As grandes áreas de atuação do INMETRO são: a) Metrologia Científica e Industrial, b) Metrologia Legal c) Acreditação d) Avaliação da Conformidade e) Superação de Barreiras Técnicas atuando como Ponto Focal do Acordo sobre Barreiras Técnicas da Organização Mundial do Comércio. Para acessar os serviços de calibração e ensaio, a empresa pode procurar o Inmetro e a rede de laboratórios acreditados em todo país.

## **Fator de Potência**

O fator de potência (FP) é uma relação entre potência ativa e potência reativa por consequência energia ativa e reativa. Ele indica a eficiência com a qual a energia está sendo usada. O fator de potência de um sistema elétrico qualquer, que está operando em corrente alternada (CA), é definido pela razão da potência real ou potência ativa pela potência total ou potência aparente. Um FP alto indica uma boa eficiência quanto ao uso de energia, significa dizer que grande parte da energia drenada é transformada em trabalho, inversamente a isso um fator de potência baixo indica que você não está aproveitando plenamente a energia drenada (entendi-se por "energia drenada" a energia que você compra da concessionária).

## **Comandos elétricos**

Comando elétrico foi o princípio da automação, através de suas lógicas de comandos e acionamentos, sua principal função é realizar o acionamento de máquinas elétricas e equipamentos elétricos, como os motores trifásicos por exemplo, que são comuns de serem encontrados nas indústrias.

Comandos elétricos são utilizados para diversas finalidades, como por exemplo em elevadores, tornos, fresas, esteiras rolantes e infinitos processos de produção dentro das indústrias. Para ficar um pouco mais claro, os comandos elétricos dividem-se basicamente em circuito de força ou de cargas, onde são ligados os motores e equipamentos.

Circuito de cargas – O circuito de cargas pode ser monofásico (uma fase), bifásico (duas fases) ou trifásico (três fases), onde as quantidades de cargas elétricas utilizadas representam sua potência total.

Circuito de comandos – O circuito de comandos ou de controle é onde os dispositivos de acionamento e sinalização são encontrados, este local possui uma combinação de elementos que executam o acionamento das cargas e sinalizadores através de uma combinação lógica de elementos deste circuito.

As botoeiras que são conhecidas de forma genérica como botão de comando, é um elemento responsável por ligar e desligar os circuitos. As botoeiras mais comuns possuem contatos do tipo normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF) permitindo diversas configurações.

Algumas botoeiras possuem um dispositivo de retorno por mola, que após ser acionado retorna para a posição inicial, neste caso são denominados botões pulsadores. Existem outros atuadores, que são as chaves rotativas, pedais, fins de curso e etc.

Para facilitar o entendimento, essas botoeiras ou acionadores possuem cores definidas de acordo com a sua função.

### Fusíveis

Os fusíveis são dispositivos conhecidos por muitos, justamente por estarem presentes em estabelecimentos e carros por exemplo, sendo que a sua função é proteger o circuito que está instalado contra curto-circuito e queima.

### Relé

O relé é um interruptor eletromecânico, cujo o funcionamento é bem simples, quando uma corrente circula pela bobina, esta gera um campo eletromagnético que acaba atraindo uma série de contatos, estes contatos fecham ou abrem os circuitos. Quando a corrente elétrica que passa pelas bobinas é interrompida o campo eletromagnético também é interrompido, ou seja, os contatos voltam para suas posições originais.

### Sinalizadores

Como o próprio nome já diz, os sinalizadores servem para sinalizar o operador de uma situação que requer à sua atenção. Podem ser do tipo luminosos ou sonoros, sendo que o luminoso é o mais utilizado.

### Contator

É um dispositivo eletromecânico e o principal elemento em comandos elétricos, cuja a sua principal função é controlar a passagem de altas correntes. Ele também possui as configurações NA e NF, e é composto por uma bobina que produz um campo eletromagnético que proporciona o movimento e a mudança de posição dos seus contatos.

Os contatores possuem dois tipos de contato, um é o de potência ou principal, que lidam com alta corrente, geralmente em blocos de três contatos, para cargas trifásicas sendo todos NA. Os outros são contatos auxiliares ou de comando, que lidam com baixa corrente, utilizados para os comandos elétricos propriamente ditos. Os contatos são mesclados entre NA e NF que variam de acordo com o fabricante e a necessidade.

## Disjuntores

Os disjuntores são dispositivos de proteção e assim como os fusíveis atuam protegendo o circuito contra um possível curto-circuito ou sobrecarga. A principal diferença é que o disjuntor não é descartável como o fusível e os disjuntores possuem curvas características distintas.

## Comando elétrico

Em eletricidade, comandos elétricos ou acionamentos elétricos é uma disciplina que lida com projetos de circuitos elétricos para o acionamento de máquinas elétricas. A formação nesta disciplina visa conhecer e dimensionar os principais dispositivos de comando e proteção utilizados nestes circuitos, ler e interpretar os circuitos de comandos de máquinas elétricas e conhecer os principais métodos de acionamento destas máquinas.

O conhecimento sobre comandos elétricos é bastante importante, pois em qualquer sistema elétrico industrial e/ou residencial, há sempre algum tipo de máquina ou equipamento acionado de alguma forma, por exemplo, através de um motor elétrico, que é a forma mais utilizada para obtenção de energia mecânica.

## Acionamento convencional

Nos acionamentos convencionais, também conhecidos como partidas convencionais de motores, usam-se dispositivos eletromecânicos para o acionamento (partida) do motor, como contatores.

## Acionamento eletrônico

Nos acionamentos eletrônicos, também conhecidos como partidas eletrônicas de motores, usam-se dispositivos eletrônicos que realizam o acionamento do motor, como soft-starters, inversores de frequência, etc.

## Dispositivos de proteção

Os dispositivos de proteção têm a função de proteger os equipamentos, circuitos eletroeletrônicos, máquinas e instalações elétricas, contra alterações da tensão de alimentação e intensidade da corrente elétrica. Nestes circuitos, a proteção é normalmente garantida por fusíveis, relé térmico e contactor motor.

## Fusíveis

São dispositivos que asseguram a proteção contra curto-circuito.

## Relés térmico

São dispositivos que asseguram a proteção dos equipamentos contra a sobrecarga.

## Disjuntores motores

Estes são os dispositivos que realizam a proteção contra curto-circuito e sobrecarga (proteção térmica e magnética).

## Dispositivos de comando e sinalização

Botoeiras e chaves manuais;

Contatores;

Relés temporizadores;

Relés protetores;

Sinalizadores visuais e sonoros.

## Botoneiras

As botoneiras ou botoeiras, são usadas no acionamento de motores por meio manual e servem para energizar ou desenergizar contatores, a partir da comutação de seus contatos NA ou NF.

## Contator

Os contatores são chaves de operação automática, cujo acionamento é originado pela ação eletromagnética. Os contatos NA (normalmente aberto) ou NF (normalmente fechado) do contator são acionados quando a bobina (eletromagnética) é energizada, a partir do qual os contatos ganham nova posição, durante o tempo em que a bobina estiver energizada, e quando a bobina for desenergizada os contatos retornam em suas posições normais por ação de uma mola. Os contatores são chaves que possibilitam o acionamento de motores à distância, aumentando a segurança durante o processo de acionamento.

## Sinalizadores

A sinalização é um meio visual ou sonoro de chamar a atenção do operador para uma determinada situação em um circuito, máquina ou conjunto de máquinas. Ela é realizada por meio de buzinas e campainhas ou por sinalizadores luminosos com cores determinadas por normas.

## Máquina elétrica

Em eletricidade, máquinas elétricas são máquinas eletromecânicas cujo funcionamento baseia-se no fenómeno da indução eletromagnética.

As máquinas elétricas são, basicamente, divididas em dois tipos: máquinas elétricas estáticas e rotativas. As primeiras são aquelas que na sua constituição e durante o seu funcionamento não possuem nenhuma parte em movimento, como é o caso dos transformadores, e as segundas são as que na sua constituição existe uma parte móvel (no sentido rotacional), como é o caso dos motores e geradores.

As máquinas elétricas são classificadas de acordo com o tipo de seu movimento, sua velocidade, a natureza da corrente e o número de fases. Quanto ao movimento classificam-se em: máquinas rotativas e máquinas estáticas ou estacionárias. Quanto à velocidade classificam-se em: máquinas síncronas e máquinas assíncronas. Quanto à natureza da corrente as máquinas elétricas são classificadas em: máquinas de corrente contínua e máquinas de indução ou de corrente alternada. Quanto ao número de fases são classificadas em: máquinas monofásicas e máquinas polifásicas, sendo que as máquinas trifásicas são as mais comuns.

#### Máquinas rotativas

Máquinas rotativas são aquelas que convertem a energia elétrica em energia mecânica ou a energia mecânica em elétrica. Fazem parte desta categoria as seguintes máquinas:

#### Motores elétricos

São máquinas que convertem a energia elétrica aplicada aos seus terminais para energia mecânica, disponibilizada no seu eixo (movimento de rotação).

### **Geradores elétricos**

São máquinas que convertem a energia mecânica aplicada ao seu eixo para energia elétrica disponibilizada nos seus terminais.

#### Máquinas estáticas ou estacionárias

São máquinas estáticas, que não produzem movimento no seu funcionamento. Fazem parte desta categoria os transformadores elétricos.

#### Transformadores

São máquinas que fazem a transformação de energia elétrica com a função de adaptar tensões (elevação ou abaixamento) além de, em certos tipos, fazer o isolamento galvânico (elétrico) entre primário e secundário.

#### Princípio de funcionamento

O estudo acadêmico das máquinas elétricas envolve o estudo tanto dos geradores elétricos quanto dos motores elétricos, e o termo máquinas elétricas é sinônimo de ambos equipamentos. Os geradores elétricos convertem energia mecânica em energia elétrica e os motores elétricos, ao contrário, convertem energia elétrica em energia mecânica. Tanto os motores quanto os geradores caracterizam-se pela ocorrência de movimento em seu funcionamento. Tal movimento pode ser rotativo ou linear.

Os transformadores elétricos, apesar de não terem o seu funcionamento caracterizado pela ocorrência de movimento, também são considerados máquinas elétricas por usarem o fenômeno da indução eletromagnética.

Todas as máquinas modernas estão baseadas na Lei da indução de Faraday e utilizam o fato de que, um campo magnético variável produz força eletromotriz, ou seja, tensão elétrica.

### **Máquina de corrente contínua**

Máquina de corrente contínua é uma máquina capaz de converter energia mecânica em energia elétrica (gerador) ou energia elétrica em mecânica (motor).

A energia elétrica utilizada hoje em dia na distribuição e transporte da mesma é a corrente alternada, porém os motores de corrente contínua têm tradicionalmente grandes aplicações nas indústrias sendo que, são eles que permitem variação de velocidade como de uma esteira ou de um comboio por exemplo. Atualmente componentes eletrônicos de tensão alternada já são capazes de controlar a velocidade do motor assíncrono facilmente e pelo seu menor custo e recursos de aplicação estão substituindo os motores de corrente contínua na maior parte das aplicações.

#### Constituição

É constituída por:

Rotor

Parte girante, montada sobre o eixo da máquina, construído de um material ferromagnético envolto em um enrolamento chamado de enrolamento de armadura e o anel comutador. Este enrolamento suporta uma alta corrente em comparação ao enrolamento de campo e é o circuito responsável por transportar a energia proveniente da fonte de energia.

#### Anel comutador

Responsável por realizar a inversão adequada do sentido das correntes que circulam no enrolamento de armadura, constituído de um anel de material condutor, segmentado por um material isolante de forma a fechar o circuito entre cada uma das bobinas do enrolamento de armadura e as escovas no momento adequado. O anel é montado junto ao eixo da máquina e gira junto com a mesma. O movimento de rotação do eixo produz a comutação entre os circuitos dos enrolamentos.

#### Estatótor

Parte estática da máquina, montada em volta do rotor, de forma que o mesmo possa girar internamente. Também é constituído de material ferromagnético, envolto em um enrolamento de baixa potência chamado de enrolamento de campo que tem a função apenas de produzir um campo magnético fixo para interagir com o campo da armadura. Em algumas máquinas comercializadas no mercado é possível encontrar enrolamentos de compensação que tem como função compensar o efeito desmagnetizante da reação de armadura e enrolamentos de comutação que tem como função diminuir o faiscamento no anel comutador.

#### Escovas

Peças de grafite responsáveis por conduzir a energia para o circuito do rotor.

#### Princípio de Funcionamento

##### Operando como gerador de corrente contínua

Quando se trata de um gerador, a energia mecânica é tirada pela aplicação de um torque e da rotação do eixo da máquina. Uma fonte de energia mecânica pode ser, por exemplo, uma turbina hidráulica, uma turbina eólica, etc.

A fonte de energia mecânica tem o papel de produzir o movimento relativo entre os condutores elétricos dos enrolamentos de armadura e o campo magnético produzido pelo enrolamento de campo e desse modo, provocar uma variação temporal da intensidade do mesmo, e assim pela lei de Faraday induzir uma tensão entre os terminais do condutor.

Desta forma, a energia mecânica fornecida ao eixo, é armazenada no campo magnético da máquina para ser transmitida para alimentar alguma carga conectada à máquina.

Operando como motor de corrente contínua

No caso de motores, o funcionamento é inverso: energia elétrica é fornecida aos condutores do enrolamento da armadura pela aplicação de uma tensão elétrica em seus terminais pelo anel comutador(coletor), fazendo com que se circule uma corrente elétrica nesse enrolamento que produz um campo magnético no enrolamento da armadura.

Como o corpo do estator é constituído de materiais ferromagnéticos, ao aplicarmos tensão nos terminais do enrolamento de campo da máquina temos uma intensificação do campos magnéticos no mesmo e, portanto, a produção de pólos magnéticos (Norte e Sul) espalhados por toda a extensão do estator.

Pela atuação do anel comutador que tem como função alternar o sentido de circulação da corrente no enrolamento da armadura, quando aplicamos uma tensão no comutador, com a máquina parada, a tensão é transferida ao enrolamento da armadura fazendo com que se circule uma corrente pelo mesmo o que produz um campo magnético e outros pares de pólos no enrolamento da armadura.

A orientação desse campo, ou seja, a posição do pólo norte e sul permanece fixa, simultaneamente temos uma tensão elétrica aplicada no enrolamento de campo no estator, assim, ao termos a interação entre os campos magnéticos da armadura no rotor e do campo no estator, os mesmos tentarão se alinhar, ou seja, o pólo norte de um dos campos tentará se aproximar do pólo sul do outro.

Como o eixo da máquina pode girar, caso os campos da armadura e do estator não estejam alinhados, surgirá um binário de forças que produzirá um torque no eixo, fazendo o mesmo girar. Ao girar, o eixo gira o anel comutador que é montado sobre o eixo, e ao girar o anel comutador muda o sentido de aplicação da tensão, o que faz com que a corrente circule no sentido contrário, mudando o sentido do campo magnético produzido.

Assim, ao girar o anel comutador muda a posição dos pólos magnéticos norte e sul do campo da armadura e como o campo produzido pelo enrolamento de campo no estator fica fixo, temos novamente a produção do binário de forças que mantém a mudança dos pólos e conseqüentemente o movimento do eixo da máquina.

Classificação das máquinas de corrente contínua segundo a maneira como se alimenta a máquina

### Excitação independente ou separada

Nesta configuração o circuito de excitação da máquina é alimentado por uma fonte adicional independente ou separada da fonte de corrente contínua que alimenta a armadura. Em geral o enrolamento de campo que produz a excitação é constituído de condutores que não suportam grandes correntes, pois a excitação em geral utiliza correntes baixas para produzir o campo magnético em comparação com as correntes que circulam no enrolamento de armadura.

### Excitação série

O circuito do enrolamento de campo que produz a excitação está em série com o circuito de armadura, sendo assim necessário apenas uma fonte para alimentar o circuito de campo e da armadura. Como neste caso a corrente que circula no enrolamento de campo que produz a excitação é a mesma corrente que circula no enrolamento da armadura, é necessário um enrolamento próprio para o circuito de excitação, capaz de suportar correntes relativamente altas da armadura.

### Excitação shunt ou em derivação (paralelo)

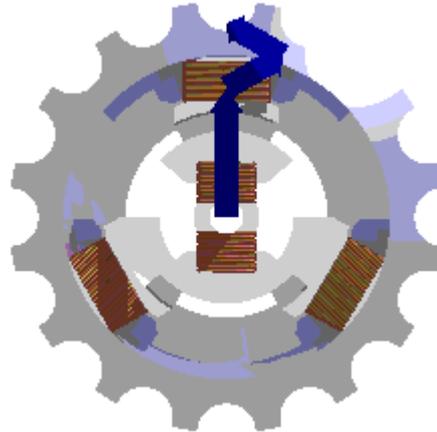
O circuito do enrolamento de campo que produz a excitação está em paralelo ou em derivação com o circuito de armadura. Nesta configuração, é necessário apenas uma fonte de corrente contínua para alimentar o circuito de armadura e de campo, pois ambos os circuitos estão em paralelo. Como o enrolamento de campo está em paralelo ou em derivação com o circuito de armadura, é possível utilizar o mesmo tipo de condutor do caso de excitação independente.

### Excitação Composta

Com dois enrolamentos de excitação, um em série e outro em derivação, podendo existir o esquema de ligação longo ou curto e composto aditivo ou subtrativo. Neste esquema de ligação utiliza-se uma combinação da excitação série e shunt, de forma a aproveitar os benefícios de ambas as ligações. Em muitas aplicações o enrolamento série é utilizado para compensar o efeito desmagnetizante da reação de armadura.

## **Motor elétrico**

Campo magnético que rota como soma de vectores magnéticos a partir de 3 bobinas da fase.



## Motores elétricos

Em máquinas elétricas, motor elétrico ou atuador elétrico é qualquer dispositivo que transforma energia elétrica em mecânica. É o mais usado de todos os tipos de motores, pois combina as vantagens da energia elétrica - baixo custo, facilidade de transporte, limpeza e simplicidade de comando – com sua construção simples, custo reduzido, grande versatilidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e melhores rendimentos.

A tarefa reversa, aquela de converter o movimento mecânico na energia elétrica, é realizada por um gerador ou por um dínamo. Em muitos casos os dois dispositivos diferem somente em sua aplicação e detalhes menores de construção. Os motores de tração usados em locomotivas executam frequentemente ambas as tarefas se a locomotiva for equipada com os freios

dinâmicos. Normalmente também esta aplicação se dá a caminhões fora de estrada, chamados eletrodiesel.

A maioria de motores elétricos trabalha pela interação entre campos eletromagnéticos, mas existem motores baseados em outros fenômenos eletromecânicos, tais como forças eletrostáticas. O princípio fundamental em que os motores eletromagnéticos são baseados é que há uma força mecânica em todo o fio quando está conduzindo corrente elétrica imersa em um campo magnético. A força é descrita pela lei da força de Lorentz e é perpendicular ao fio e ao campo magnético. Em um motor giratório, há um elemento girando, o rotor. O rotor gira porque os fios e o campo magnético são arranjados de modo que um torque seja desenvolvido sobre a linha central do rotor.

A maioria de motores magnéticos são giratórios, mas existem também os tipos lineares. Em um motor giratório, a parte giratória (geralmente no interior) é chamada de rotor, e a parte estacionária é chamada de estator. O motor é constituído de eletroímãs ou imãs permanentes, que são posicionados no material ferromagnético que constitui o corpo do rotor, e geralmente bobinas de cobre são enroladas e adequadamente dispostas em volta do material ferromagnético que constitui o estator.

## **Tipos de motores**

Os motores elétricos mais comuns são:

Motores de corrente contínua

Os motores de corrente contínua, ou motores DC, precisam de uma fonte de corrente contínua, neste caso pode ser necessário utilizar um circuito retificador para converter a corrente alternada, corrente fornecida pela concessionária de energia elétrica, para corrente contínua. Podem funcionar com velocidades ajustáveis entre amplos limites e se prestam a controles de grande flexibilidade e precisão. Por isso seu uso é restrito a casos especiais em que estas exigências compensam o custo muito mais alto da instalação, ou no caso da alimentação usada ser contínua, como no caso das pilhas em dispositivos eletrônicos.

Motores de corrente alternada

Os motores de corrente alternada, ou motores AC, são os mais utilizados, porque a distribuição de energia elétrica é feita normalmente em corrente alternada.

Seu princípio de funcionamento é baseado no campo girante, que surge quando um sistema de correntes alternadas trifásico é aplicada em polos defasados fisicamente de  $120^\circ$ . Dessa forma, como as correntes são defasadas  $120^\circ$  elétricos, em cada instante, um par de polos possui o campo de maior intensidade, cuja associação vetorial possui o mesmo efeito de um campo girante que se desloca ao longo do perímetro do estator e que também varia no tempo.

Os principais tipos são os motores:

**Motor síncrono:** funciona com velocidade constante; utiliza-se de um induzido que possui um campo constante pré-definido e, com isso, aumenta a resposta ao processo de arraste criado pelo campo girante. É geralmente utilizado quando se necessita de velocidades estáveis sob a ação de cargas variáveis. Também pode ser utilizado quando se requer grande potência, com torque constante.

**Motor de indução:** funciona normalmente com velocidade estável, que varia ligeiramente com a carga mecânica aplicada ao eixo. Devido a sua grande simplicidade, robustez e baixo custo, é o motor mais utilizado de todos, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas acionadas encontradas na prática. Atualmente é possível controlarmos a velocidade dos motores de indução com o auxílio de inversores de frequência.

**Motor de corrente alternada**

Motor elétrico de corrente alternada é um equipamento rotativo que funciona a partir de energia elétrica, diferente de outros motores elétricos, o motor não precisa, necessariamente, qualquer entreposto dele à alimentação e serve, basicamente, para "girar" um segundo acoplado, ou movido. O elétrico está sempre activo.

Estes motores podem ser divididos, num primeiro momento, em síncronos e assíncronos, sendo que, este último, sofre escorregamento conforme a intensidade de carga (i.e., oscila a rotação), contudo, são a esmagadora maioria nas indústrias.

Uma outra grande divisão dentro dos motores CA (de corrente alternada), são em trifásicos e monofásicos. A diferença entre estes dois tipos de alimentação alteram profundamente a versatilidade e performance do motor, sendo, os monofásicos, muito mais limitados e necessitados de capacitores de partida, senão, não conseguem vencer a inércia.

Os motores de corrente alternada têm outras muitas divisões todas elas mundialmente normalizadas, dentre as mais comuns temos: motor de dupla polaridade, o qual pode rodar em duas velocidades diferentes em detrimento da potência, motor de eixo-duplo, com uma saída para cada lado.

Nas placas de identificação dos motores elétricos encontramos diversas informações sobre estes, a saber:

IP - índice de proteção - com uma variação de IP-00 até IP-68, identifica o grau de proteção do motor em relação a água e corpos, sendo que o 1º número indica o nível de proteção contra corpos estranhos e o 2º contra água e os índices "standards" são: IP-21 (Aberto), IP-44 (Fechado) e IP-55 (Blindado). Alguns motores vêm com uma vedação especial

em sua mancalização que o protege contra agentes climáticos e estes incorporam a letra W ao lado de IP, formando IPW

forma construtiva - normalmente dotados de 3 ou 4 algarismos (por exemplo: B3D e B35D), sendo que a primeira letra significa que é um motor dentro dos padrões, os números do meio significa o uso ou não de flanges e a última letra diz em qual lado do motor está a caixa de bornes onde se encontram os fios de energia do motor..

carcaça que sofre uma variação comum de 63 a 355, e, acima disso, trata-se de uma aplicação especial de grande porte. Abaixo disso trata-se de um motor para fins domésticos. Em suma, este número significa a distância entre o centro do motor e o solo. A letra que fica ao lado deste número (l,m) vem do inglês large (comprido) e medium (médio), e referem-se ao comprimento do motor.

Valores de Tensão elétrica - Os motores elétricos podem ser acionados com valores de tensões diversos, (127V, 220V, 380V, 440V e 760V), para isso, precisa-se fazer o fechamento adequado para cada tensão. Os fechamentos não interferem na velocidade de rotação do motor, simplesmente servem para alimentar as bobinas de maneira que gerem o campo magnético necessário para movimentar o rotor, que está alojado dentro da carcaça do motor. A tensão induzida nas espiras do bobinado do motor gera um campo magnético variável, que faz com que o rotor se excite magneticamente, girando assim o eixo do motor, criando uma conversão de energia elétrica para mecânica

Dentre a enorme variedade de aplicações encontradas para os motores elétricos, podemos citar: bombas, compressores, exaustores, ventiladores, máquinas operatrizes.

Eles podem ser acionados tanto através de partida direta, bem como através de conversor de frequência, soft-starter, chave de partida, transformador, temporizador, etc.

## Gerador elétrico

Turbina Francis da Voith (azul) acoplada a gerador Westinghouse de 117,6 kW (vermelho).

Gerador é um dispositivo utilizado para a conversão da energia mecânica, química ou outra forma de energia em energia elétrica.

O tipo mais comum de gerador elétrico, o dínamo (gerador de corrente contínua) de uma bicicleta, depende da indução eletromagnética para converter energia mecânica em energia elétrica, a lei básica de indução eletromagnética é baseada na Lei de Faraday de indução combinada com a Lei de Ampere que são matematicamente expressas pela 3<sup>o</sup> e 4<sup>o</sup> equações de Maxwell respectivamente.

O dínamo funciona convertendo a energia mecânica contida na rotação do seu eixo, que faz com que a intensidade de um campo magnético, produzido por um ímã permanente que atravessa um conjunto de enrolamentos, varie no tempo, o que, pela Lei da indução de Faraday, leva a indução de tensões em seus terminais.

A energia mecânica (muitas vezes proveniente de uma turbina hidráulica, a gás ou a vapor) é utilizada para fazer girar o rotor, o qual induz uma tensão nos terminais dos enrolamentos que, ao serem conectados a cargas, levam à circulação de correntes elétricas pelos enrolamentos e pela carga.

No caso de um gerador que fornece uma corrente contínua, um interruptor mecânico ou anel comutador alterna o sentido da corrente de forma que a mesma permaneça unidirecional independente do sentido da posição da força eletromotriz induzida pelo campo. Os grandes geradores das usinas geradoras de energia elétrica fornecem corrente alternada e utilizam turbinas hidráulicas e geradores síncronos.

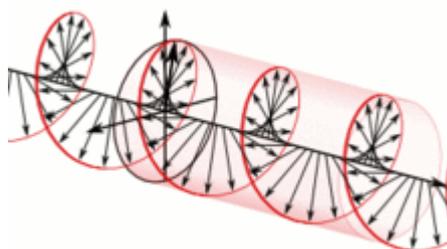
A imagem mostra o topo de um gerador síncrono de usina hidrelétrica sob manutenção.

Há muitos outros tipos de geradores elétricos. Geradores eletrostáticos como a máquina de Wimshurst, e em uma escala maior, os geradores de van de Graaff, são principalmente utilizados em trabalhos especializados que exigem tensões muito altas, mas com uma baixa corrente e potências não muito elevadas. Isso se deve pelo fato de nesses tipos de gerador, a densidade volumétrica de energia não é pequena, ou seja, para que se tenha uma grande quantidade de energia sendo convertida é necessário um grande volume por parte da estrutura do gerador.

O mesmo não ocorre nos geradores que operam baseados em princípios eletromagnéticos pois os mesmos permitem uma concentração volumétrica de energia bem maior.

Um dos exemplos de aplicação é no fornecimento de energia para os aceleradores de partículas.

### Lei de Ampère



No eletromagnetismo clássico, a lei de Ampère permite calcular o campo magnético a partir de uma distribuição de densidade de corrente elétrica  $J$  ou de uma corrente elétrica  $I$ , ambas estacionárias (independentes do tempo). A partir da Lei de Biot-Savart é possível calcular o campo magnético associado a uma distribuição estacionária de corrente somando-se as contribuições ao campo de todos os elementos infinitesimais de corrente ao longo do circuito em questão. No caso de uma distribuição complicada de correntes o cálculo pode ser bastante trabalhoso e, em muitos casos, exigir o uso de um computador. Entretanto, se a distribuição possui algum tipo de simetria podemos usar a Lei de Ampère para determinar o campo magnético total, o que facilita consideravelmente os cálculos. O nome da lei é um reconhecimento ao físico francês André-Marie Ampère que a descobriu em 1826.

Em 1819, o físico Dinamarquês Hans Christian Oersted, estudando a ação de uma corrente elétrica sobre um ímã, colocou uma bússola (agulha imantada) perpendicular ao fio retilíneo por onde passava corrente, não observando qualquer efeito. Todavia, descobriu que quando colocada paralelamente ao fio a bússola sofria uma deflexão, acabando por orientar-se perpendicularmente a ela. Por conseguinte, uma corrente produz um campo magnético. Os resultados de Oersted foram usados pelo jovem físico André Marie Ampère para formular a Lei de Ampère. No caso de um fio retilíneo muito longo transportando corrente, as linhas de campo magnético são círculos em planos perpendiculares ao fio, e a orientação de tais linhas pode ser obtida por meio da regra da mão direita.

## **Eletromagnetismo**

Eletromagnetismo (AO 1945: electromagnetismo) é o ramo da física que estuda unificadamente os fenômenos da eletricidade e do magnetismo. Esta teoria baseia-se no conceito de campo eletromagnético.

O campo magnético é resultado do movimento de cargas elétricas, ou seja, é resultado de corrente elétrica. O campo magnético pode resultar em uma força eletromagnética quando associada a ímãs.

A variação do fluxo magnético resulta em um campo elétrico (fenômeno conhecido por indução eletromagnética, mecanismo utilizado em geradores elétricos, motores e transformadores de tensão). Semelhantemente, a variação de um campo elétrico gera um campo magnético. Devido a essa interdependência entre campo elétrico e campo magnético, faz sentido falar em uma única entidade chamada campo eletromagnético.

### **A força eletromagnética**

A força que um campo eletromagnético exerce sobre cargas elétricas, chamada força eletromagnética, é uma das quatro forças fundamentais. As outras são: a força nuclear forte (que mantém o núcleo atômico coeso), a força nuclear fraca (que causa certas formas de decaimento radioativo), e a força gravitacional. Quaisquer outras forças provêm necessariamente dessas quatro forças fundamentais.

A força eletromagnética tem a ver com praticamente todos os fenômenos físicos que se encontram no cotidiano, com exceção da gravidade. Isso porque as interações entre os átomos são regidas pelo eletromagnetismo, já que são compostos por prótons e elétrons, ou seja, por cargas elétricas. Do mesmo modo as forças eletromagnéticas interferem nas relações intermoleculares, ou seja, entre nós e quaisquer outros objetos. Assim podem-se incluir fenômenos químicos e biológicos como consequência do eletromagnetismo.

Cabe ressaltar que, conforme a eletrodinâmica quântica, a força eletromagnética é resultado da interação de cargas elétricas com fótons.

### **O eletromagnetismo clássico**

O cientista William Gilbert propôs que a eletricidade e o magnetismo, apesar de ambos causarem efeitos de atração e repulsão, seriam efeitos distintos. Entretanto marinheiros percebiam que raios causavam perturbações nas agulhas das bússolas, mas a ligação entre os raios e a eletricidade ainda não estava traçada até os experimentos que Benjamin Franklin propôs em 1752. Um dos primeiros a descobrir e publicar as relações entre corrente elétrica e o magnetismo foi Romagnosi, que em 1802 afirmou que um fio conectado a uma pilha provocava um desvio na agulha de uma bússola que estivesse próxima. No entanto essa notícia não recebeu o crédito que lhe era devido até que, em 1820, Hans Christian Ørsted montou um experimento similar.

A teoria do eletromagnetismo foi desenvolvida por vários físicos durante o século XIX, culminando finalmente no trabalho de James Clerk Maxwell, o qual unificou as pesquisas anteriores em uma única teoria e descobriu a natureza eletromagnética da luz. No eletromagnetismo clássico, o campo eletromagnético obedece a uma série de equações conhecidas como equações de Maxwell, e a força eletromagnética pela Lei de Lorentz.

Uma das características do eletromagnetismo clássico é a dificuldade em associar com a mecânica clássica, compatível porém com a relatividade especial. Conforme as equações de Maxwell, a velocidade da luz é uma constante, depende apenas da permissividade elétrica e permeabilidade magnética do vácuo. Isso porém viola a invariância de Galileu, a qual já era há muito tempo base da mecânica clássica. Um caminho para reconciliar as duas teorias era assumir a existência de éter luminífero através do qual a luz propagaria. No entanto, os experimentos seguintes falharam em detectar a presença do éter. Em 1905, Albert Einstein resolveu o problema com a teoria da relatividade especial, a qual abandonava as antigas leis da cinemática para seguir as transformações de Lorentz as quais eram compatíveis com o eletromagnetismo clássico.

A teoria da relatividade mostrou também que adotando-se um referencial em movimento em relação a um campo magnético, tem-se então um campo elétrico gerado. Assim como também o contrário era válido, então de fato foi confirmado a relação entre eletricidade e magnetismo. Portanto o termo "eletromagnetismo" estava consolidado.

## **Carga elétrica**

Carga elétrica (AO 1945: carga eléctrica) é uma propriedade física fundamental que determina as interações eletromagnéticas. Esta carga está armazenada em grande quantidade nos corpos ao nosso redor, mas a percepção dela não

ocorre facilmente. Convencionou-se a existência de dois tipos de carga, a positiva e a negativa, que, em equilíbrio, são imperceptíveis. Quando há tal igualdade ou equilíbrio de cargas num corpo, diz-se que está eletricamente neutro, ou seja, está sem nenhuma carga líquida para interagir com outros corpos. Um corpo está carregado eletricamente quando possui uma pequena quantidade de carga desequilibrada ou carga líquida. Objetos carregados eletricamente interagem exercendo forças, de atração ou repulsão, uns sobre os outros. A unidade de medida da grandeza carga elétrica no Sistema Internacional de Unidades é o coulomb, representado por C, que recebeu este nome em homenagem ao físico francês Charles Augustin de Coulomb.

Entre partículas elétricas existem forças gravitacionais de atração devido às suas massas e forças elétricas devidas às suas cargas elétricas. Nesse caso, as forças gravitacionais podem ser desprezadas, visto que a massa de uma partícula é ínfima. A força gravitacional só é perceptível quando há a interação entre corpo de massas de grandes proporções, como a Terra e a Lua, por exemplo.

Os átomos são constituídos por prótons, elétrons e nêutrons. Os prótons e os elétrons possuem cargas elétricas iguais em módulo, enquanto que os nêutrons e os fótons são eletricamente neutros. Por mera convenção define-se que os prótons possuem uma carga elétrica elementar de uma unidade positiva, representada por +e, e também que os elétrons têm uma carga elétrica negativa, expressa por -e.

Quantização da carga. Nas colisões entre partículas a altas energias são produzidas muitas outras novas partículas, diferentes dos eletrões, prótons e neutrões. Todas as partículas observadas têm sempre uma carga que é um múltiplo inteiro da carga elementar  $\{ \displaystyle e = 1.602 \times 10^{-19} C \}$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} C$$

Assim, a carga de qualquer objeto é sempre um múltiplo inteiro da carga elementar.

Nas experiências de eletrostática, as cargas produzidas são normalmente equivalentes a um número muito elevado de cargas elementares. Por tanto, nesse caso é uma boa aproximação admitir que a carga varia continuamente e não de forma discreta.

Conservação da carga. Em qualquer processo, a carga total inicial é igual à carga total final. Nos casos dos fenómenos em que existe transferência de eletrões entre os átomos, a conservação de carga é evidente. Mas nos casos de criação de novas partículas não teria que ser assim, de facto em todos os processos observados nos raios cósmicos, e nos aceleradores de partículas, existe sempre conservação da carga, ou seja, sempre que uma nova partícula é criada, é também criada uma outra partícula com carga simétrica.

## Lei de Coulomb

Essa lei estabelece que "a força de atração ou repulsão entre dois corpos carregados é diretamente proporcional ao produto de suas cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância". Pela lei de Coulomb, duas cargas elétricas pontuais de 1 coulomb separadas de um metro exercem uma sobre a outra uma força de  $9 \times 10^9$  N, isto é, aproximadamente o peso de 900 000 toneladas. O coulomb é, portanto, uma unidade de ordem de grandeza elevada para exprimir quantidades de cargas estáticas e utilizam-se geralmente seus sub-múltiplos microcoulomb ( $\mu\text{C}$ ) ou nanocoulomb (nC).

Outras unidades de medida de carga elétrica, usadas em situações especiais, são:

Carga elementar (e);

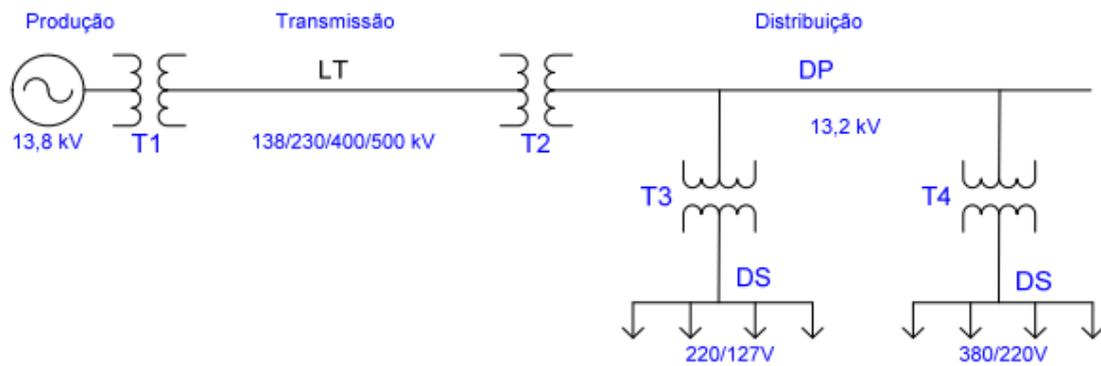
Ampère-hora (Ah);

Abcoulomb (AbC);

Statcoulomb (StC).

## Elétrica geral

Generalidades É imprescindível que o projetista saiba onde se situa a sua instalação dentro de um sistema elétrico mais complexo, a partir do gerador, até os pontos de utilização em baixa tensão. O sistema elétrico compreende produção, transmissão e distribuição, conforme ilustra a Fig. 1.1. As instalações elétricas de baixa tensão são regulamentadas pela norma NBR-5410, da ABNT, que estabelece de 1000 volts como o limite para a baixa tensão em corrente alternada e de 1500 volts para a corrente contínua. A frequência máxima de aplicação desta norma é de 400 Hz. Toda a energia gerada para atender a um sistema elétrico é sob a forma trifásica, alternada, tendo sido fixada a frequência de 60 ciclos/segundo para uso em todo o território brasileiro, por decreto governamental.



**Produção** A geração industrial de energia elétrica pode ser realizada por meio do uso da energia potencial da água (geração hidrelétrica) ou utilizando a energia potencial dos combustíveis (geração termoelétrica). No Brasil, cerca de 90% da energia gerada são através de hidrelétricas, porque o nosso País possui um rico potencial hidráulico, estimado em mais de 150 milhões de kW.

As termoelétricas existentes no Brasil utilizam combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral etc.), combustíveis não-fósseis (madeira, bagaço de cana, etc.), combustível nuclear (urânio enriquecido). Os geradores industriais de eletricidade necessitam de energia mecânica (energia cinética) para fazerem girar os rotores das turbinas, nos quais estão acoplados, no mesmo eixo, os rotores dos geradores de eletricidade. Então a geração necessita de uma turbina (hidráulica ou térmica) e de um gerador síncrono, montados no mesmo eixo, em geral vertical.

A entrada de energia dos consumidores finais é denominada de ramal de entrada (aérea ou subterrânea). A ligação da rede de distribuição secundária ao consumidor (ramal) poderá ser feita por cabos subterrâneos ou aéreos, com entrada única para luz e força. Chamamos "luz" a todo circuito destinado unicamente a fins de iluminação ou pequenos motores monofásicos (geladeiras, máquinas de lavar, aparelhos eletrodomésticos, ventiladores etc.). Chamamos "força" a todo circuito destinado à força motriz, aquecimento, solda ou outros fins industriais. Em edifícios residenciais, usamos força nas bombas, elevadores, incineradores etc. É quase sempre trifásica.

Projetar, no sentido mais geral do termo, é apresentar soluções possíveis de serem implementadas para a resolução de determinados problemas. Para o projetista, a solução procurada visa atender a uma necessidade, um resultado desejado, um objetivo. Assim, por exemplo, "definir de que forma a energia elétrica será conduzida da rede de distribuição até os pontos de utilização em um determinado edifício", abrangendo todos os aspectos envolvidos, é o enunciado geral do problema que será o objeto do estudo do projetista de instalações elétricas residenciais (único e coletivo).

## Projeto de Instalações Elétricas

É a previsão escrita da instalação, com todos os seus detalhes, localização dos pontos de utilização da energia elétrica, comandos, trajeto dos condutores, divisão em circuitos, seção dos condutores, dispositivos de manobra, carga de cada circuito, carga total, etc. Ou seja, projetar uma instalação elétrica de um edifício consiste basicamente em: – quantificar, determinar os tipos e localizar os pontos de utilização de energia elétrica; – dimensionar, definir o tipo e o caminhamento dos condutores e condutos; – dimensionar, definir o tipo e a localização dos dispositivos de proteção, de comando, de medição de energia elétrica e demais acessórios. O objetivo de um projeto de instalações elétricas é garantir a transferência de energia desde uma fonte, em geral a rede de distribuição da concessionária ou geradores particulares, até os pontos de utilização (pontos de luz, tomadas, motores, etc). Para que isto se faça de maneira segura e eficaz é necessário que o projeto seja elaborado, observando as prescrições das diversas normas técnicas aplicáveis. O projeto de instalações elétricas pode ser dividido em categorias:

- a) Residencial (único e coletivo);
- b) Comercial;
- c) Industrial;

Partes Componentes de um Projeto Sendo a representação escrita de uma instalação, o projeto consiste basicamente em desenhos e documentos. De uma maneira geral, em um projeto de instalações elétricas de edifícios de uso coletivo, temos as seguintes partes: – ART; – Carta de solicitação de aprovação à concessionária; – Memorial descritivo; – Memorial de cálculo (cálculo da demanda, dimensionamento dos condutores, dimensionamento dos condutos, dimensionamento das proteções);

– Plantas (planta de situação, planta de pavimentos); – Esquemas verticais (prumadas); – Quadros (quadros de distribuição de cargas, diagramas multifilares ou unifilares); – Detalhes (entrada de serviço, caixa seccionadorea, centros de medição, caixas de passagem, aterramentos, outros); – Convenções; – Especificações; – Lista de materiais.

A fim de facilitar a execução do projeto e a identificação dos diversos pontos de utilização, lança-se não de símbolos gráficos. Os símbolos gráficos utilizados nos projetos de instalações elétricas são padronizados pela ABNT –

Associação Brasileira de Normas Técnicas, através das seguintes normas: – NBR-5444: símbolos gráficos para instalações prediais; – NBR-5446: símbolos gráficos de relacionamento usados na confecção de esquemas; – NBR-5453: sinais e símbolos para eletricidade;

## **Equações da Eletricidade**

Os fenômenos e equipamentos elétricos estão muito presentes em nosso cotidiano. Lâmpadas, chuveiro, ar-condicionado, computadores, carros, entre outros, são alguns exemplos de equipamentos que funcionam com o uso da Eletricidade. Esse ramo da Física dedica-se ao estudo de qualquer fenômeno elétrico e está dividido em Eletrostática e Eletrodinâmica.

Eletricidade e as principais equações utilizadas:

→ Eletrostática

Nesse campo de estudos, todos os fenômenos elétricos ocorrem com as cargas elétricas em repouso.

Carga elétrica

$$Q = n \cdot e$$

Q = Carga elétrica (C – coulomb);

n = Número de cargas elementares;

e = Carga elementar ( $e = 1,6 \times 10^{-19}$  C).

Força elétrica – Lei de Coulomb

$$F = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

F = Força elétrica (N – Newton);

Q1 e Q2 = Cargas elétricas (C);

d = Distância entre as cargas elétricas (m);

K = Constante eletrostática no vácuo ( $k = 9,0 \times 10^9$  N.m – 2 C – 2).

Campo elétrico

$$E = \frac{F}{q}$$

E = Campo elétrico (N/C);

F = Força elétrica (N);

q = Carga elétrica de teste ©.

$$E = \frac{K \cdot Q}{d^2}$$

E = Campo elétrico (N/C);

K = Constante eletrostática no vácuo ( $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^{-2} \text{ C}^{-2}$ );

Q = Carga elétrica geradora do campo elétrico (C);

d = Distância entre a carga elétrica e um ponto qualquer (m).

Energia potencial elétrica

$$E_p = \frac{K \cdot Q \cdot q}{d}$$

EP = Energia potencial elétrica (J);

K = Constante eletrostática no vácuo ( $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^{-2} \text{ C}^{-2}$ );

Q e q = Cargas elétricas (C);

d = Distância entre as cargas elétricas.

Potencial elétrico

$$V = \frac{K \cdot Q}{d}$$

V = Potencial elétrico (V – volts);

K = Constante eletrostática no vácuo ( $k = 9,0 \times 10^9 \text{ N.m}^{-2} \text{ C}^{-2}$ );

Não pare agora... Tem mais depois da publicidade ;)

Q = Carga elétrica (C);

d = Distância entre a carga elétrica e um ponto qualquer (m).

→ Eletrodinâmica

Na Eletrodinâmica, os fenômenos elétricos ocorrem com as cargas elétricas em movimento. Ao movimento ordenado de cargas elétricas dá-se o nome de corrente elétrica.

Corrente elétrica

$$i = \frac{Q}{\Delta t}$$

$i$  = Corrente elétrica (A = ampére);

$Q$  = Carga elétrica (C);

$\Delta t$  = Intervalo de tempo considerado para o fluxo de cargas elétricas (s).

Leis de Ohm

$$U = R \cdot i$$

$U$  = Diferença de potencial elétrico (V);

$R$  = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm);

$i$  = Corrente elétrica (A).

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

$R$  = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm);

$\rho$  = Resistividade ( $\Omega \cdot m$ );

$L$  = Comprimento do material condutor (m);

$A$  = Área de secção transversal (m<sup>2</sup>).

Associação de resistores em série

$$i = i_1 = i_2 = i_3 = \dots$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

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

$i$  = Corrente elétrica (A);

U = Diferença de potencial (V);

R = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm).

Associação de resistores em paralelo

$$i = i_1 + i_2 + i_3 + \dots$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

i = Corrente elétrica (A);

U = Diferença de potencial (V);

R = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm).

Efeito Joule

$$Q = i^2 \cdot R \cdot \Delta t$$

Q = Quantidade de calor (cal – Calorias);

i = Corrente elétrica (A);

R = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm);

$\Delta t$  = Intervalo de tempo (s).

Potência elétrica

$$Pot = U \cdot i$$

$$Pot = R \cdot i^2$$

$$Pot = \frac{U^2}{R}$$

Pot = Potência elétrica (W – watts);

i = Corrente elétrica (A);

U = Diferença de potencial (V);

R = Resistência elétrica ( $\Omega$  – ohm).

Energia consumida

$$E = \text{Pot.} \cdot \Delta t$$

E = Energia consumida (kWh – quilowatt-hora);

Pot = Potência dos equipamentos elétricos (kW);

$\Delta t$  = Intervalo de tempo (h).

### **O que é calibração elétrica?**

"Calibração elétrica" refere-se ao processo de verificação de desempenho (ou ajuste) de qualquer instrumento que realize medições ou testes de parâmetros elétricos. Normalmente, essa disciplina é chamada de metrologia elétrica cc e de baixa frequência. Entre os principais parâmetros, estão a tensão, a corrente, a resistência, a indutância, a capacitância, o tempo e a frequência. Outros parâmetros (inclusive potência elétrica e fase) também estão nesse segmento da metrologia. Frequentemente, as comparações métricas da razão de parâmetros similares são realizadas a fim de comparar um parâmetro conhecido com um parâmetro semelhante, porém desconhecido.

A calibração elétrica envolve o uso de dispositivos precisos. Eles avaliam o desempenho das propriedades principais de outros dispositivos, chamados de unidades sob teste (UUTs). Como estes dispositivos precisos possuem características de desempenho bastante conhecidas em comparação com a UUT, é possível realizar a avaliação de desempenho e/ou o ajuste de calibração da UUT a fim de identificar ou reduzir erros. Normalmente, o desempenho desses dispositivos de precisão deve ser no mínimo quatro vezes superior ao da UUT.

Os dispositivos de precisão são divididos em três categorias amplas. Geralmente, as fontes de sinais elétricos são chamadas de calibradores ou padrões. Os dispositivos de medição de precisão muitas vezes são classificados como multímetros digitais de precisão, padrões de medição ou pontes para medição de razão.

#### **Calibradores e padrões**

Normalmente, um calibrador é capaz de fornecer uma ampla gama de sinais de saída de precisão, como configurações de tensão a partir de alguns microvolts,

subindo para milivolts e volts até chegar ao valor máximo comum de cerca de um quilovolt.

Além disso, os calibradores modernos geralmente fornecem saídas para diversas funções elétricas diferentes (como tensão, resistência e corrente).

Um padrão é considerado ainda mais preciso que um calibrador. Ele é capaz de obter um desempenho no mínimo quatro vezes melhor que um calibrador. No entanto, seu desempenho aprimorado costuma ser limitado em comparação com um calibrador. Muitas vezes, um padrão pode fornecer somente uma função elétrica, contando apenas com uma ou com poucas configurações de saída.

Multímetros digitais de precisão, padrões de medição e pontes para medição de razão

Os multímetros digitais (DMMs) de precisão proporcionam um desempenho de medição excelente para vários parâmetros elétricos, abrangendo diversas escalas de valores. As funções de medição normalmente incluem tensão, corrente e resistência. Também podem estar incluídas funções menos comuns, como frequência, capacitância, entre outras. A categoria de desempenho mais alta de um dispositivo de medição é denominada "padrão de medição" ou até mesmo "ponte de medição". É comum que esses dispositivos tenham menos funções e maior desempenho do que os DMMs de precisão.

Para a realização de uma calibração adequada, há necessidades adicionais além do simples uso de dispositivos de precisão para avaliar a UUT. Esses dispositivos de precisão também devem ser calibrados com frequência, de modo a manterem-se em conformidade com (ou ser rastreável em relação a) um padrão internacional do parâmetro avaliado. Isso é evidenciado por uma cadeia contínua de comparações documentadas com padrões cada vez melhores. Com o tempo, essa cadeia de padrões comparados passa a incluir um padrão nacional, internacional ou intrínseco.

### **Medição e fornecimento**

A calibração envolve os dois tipos de aplicação em que a medição de precisão e o fornecimento de precisão são necessários. Uma fonte de precisão é usada para testar um instrumento de medição; já um dispositivo de medição de precisão é usado para testar um instrumento de fornecimento. Ter um programa de garantia de qualidade que incorpore uma verificação de rotina dos instrumentos de calibração do laboratório é considerado um requisito da boa metrologia. Por causa disso, um laboratório deve estar equipado com

instrumentos de medição de precisão com especificações de desempenho semelhantes às dos instrumentos de fornecimento de precisão (por funcionalidade e especificação). A intercomparação de rotina garantirá a confiança na consistência dos instrumentos do laboratório e detectará problemas com antecedência, de modo que seja possível realizar ações corretivas. Portanto, o ato de possuir e usar ambas as categorias de instrumentos nas instalações de calibração é considerado uma prática recomendada.

## **Mecânica – Sistemas de edifícios e estruturas móveis**

Aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC)

Sistemas e controles de automação de edifícios

Projeto de sistemas centrais

Aquecimento e resfriamento por radiação

Distribuição de ar sob o piso

Ventilação natural e forçada

Armazenagem de calor

Sistemas geotérmicos de troca de calor

Controle e exaustão de fumaça

Modelagem computadorizada de dinâmica de fluidos

Modelagem de Informações de Edifícios (BIM)

Engenharia de processos

Automação

Mecânica industrial e serviços elétricos

Sistemas estruturais e mecânicos (braços de carregamento, caixas de transmissão, guindastes e guinchos)

Estruturas flutuantes (barcaças e docas)

Sistemas de eclusas

Elétrica

Redes de serviços públicos e sistemas de distribuição

Geração de energia de emergência e reserva

Sistemas de cogeração no local

Geração e distribuição de energia

Sistemas de energia críticos (no-breaks, unidades de distribuição, chaves de transferência estáticas)

Sistemas de monitoramento de energia elétrica e SCADA

Controles de iluminação

Aterramento e SPDA

Alarmes de incêndio e sistemas de segurança

Estudos de coordenação e curto circuito

Estudos de confiabilidade e redundância

Análise de falha de ponto único

Análise de qualidade de energia

Análise de capacidade e demanda

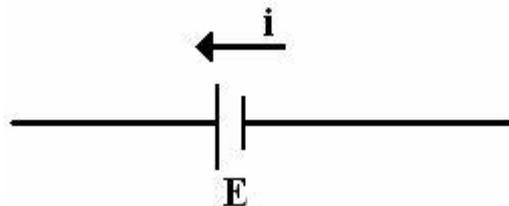
## **Geradores Elétricos**

Geradores elétricos são aparelhos que convertem energia, o nome gerador elétrico sugere um conceito muito errado pois a energia não é gerada e sim transformada, pois o Princípio da Conservação de energia seria violado.

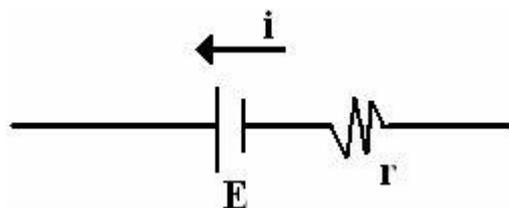
Acima temos dois tipos de geradores elétricos o da esquerda que transforma energia proveniente da queima de combustíveis em energia elétrica, e o da direita que são pilhas que transforma a energia química em elétrica.

Sendo que a função básica de um gerador elétrico é abastecer um circuito, temos que analisar o gerador ideal e o real.

O gerador ideal é um gerador capaz de fornecer às cargas elétricas que o atravessam toda a energia gerada, a tensão elétrica medida entre seus pólos leva o nome de f.e.m. força eletromotriz, e será representada por  $E$ .



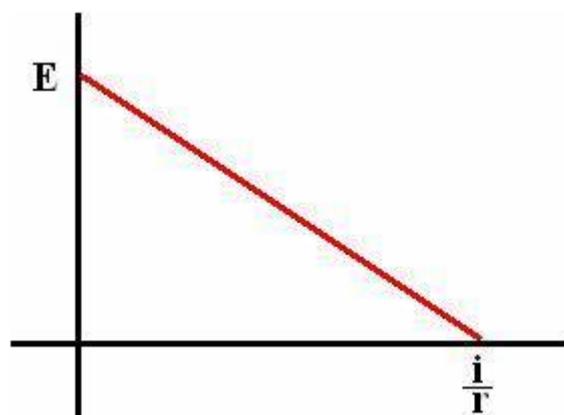
O gerador real são quando a corrente elétrica que o atravessa sobre uma certa resistência, assim uma perda da energia total, será chamado de  $r$  a resistência do gerador.



Equação para um gerador real, devido à resistência interna a perda de energia se dará por:  
 $i \cdot r$ , assim temos que:

$v = E - i \cdot r$ , o gerador real, fica caracterizado por dois parâmetros a f.e.m.  $E$  e a resistência interna  $r$ .

Observando a equação do gerador real temos uma equação de reta assim podemos representa-lo por:



Em física, é chamada de força eletromotriz (f.e.m.) a propriedade que qualquer dispositivo, especialmente geradores, tem de produzir corrente elétrica em um circuito. Trata-se de uma grandeza escalar cuja unidade é o volt, designando a tensão existente nos terminais de uma bateria ou gerador elétrico, antes da ligação de qualquer carga. Desse modo, conhecendo a f.e.m. de um gerador podemos calcular a energia que ele fornece ao circuito durante certo tempo.

A descoberta de tal propriedade pode ser traçada até o físico italiano Alessandro Volta, que no ano de 1796 construiu o "gerador elétrico", capaz de produzir cargas elétricas contínuas em um considerável intervalo de tempo. Essa construção levou os físicos a formularem um novo conceito para uma nova grandeza física, a qual ficou conhecida pelo nome de "força eletromotriz". Tal nome, apesar de inadequado, é mantido até hoje por tradição, pois à época os conhecimentos sobre a distinção entre força e energia ainda não eram aprofundados. O que se sabia sobre eletricidade e geradores químicos ainda era insuficiente para que se criasse um nome mais apropriado.

Em geral a força eletromotriz é representada pelas iniciais f.e.m. ou pela letra E (ou e). Sendo W a energia que o gerador fornece ao circuito durante o tempo t, e Q a carga elétrica que passa por qualquer seção transversal durante o mesmo tempo, temos, por definição:

$$E = W / Q$$

Sendo "E" a constante, a energia "W" fornecida pelo gerador é proporcional à carga "Q" que ele fornece durante o mesmo tempo.

Quando utilizamos uma pilha num circuito como o da lanterna, a energia química da pilha é transformada em energia elétrica. Durante o processo, a pilha fica aquecida, o que significa que nem toda sua energia química foi transformada em elétrica, pois houve dissipação por efeito Joule. O mesmo acontece com os outros tipos de geradores, inclusive os utilizados em usinas. A potência não-elétrica (isto é, mecânica, química, radiante ou luminosa etc.) que o gerador recebe para ser colocado em funcionamento (potência recebida: Pr) é transformada em potência elétrica, que então é cedida ao circuito (potência elétrica cedida: Pc). No entanto, a potência elétrica cedida Pc tem um valor menor que o da potência recebida Pr, porque uma parte da Pr é transformada em potência dissipada (Pd). Tal dissipação ocorre em resistores, sendo possível concluir a partir daí que o gerador também funciona como um resistor de resistência interna r.

Pode-se comparar a diferença de potencial elétrico de modo análogo à diferença de potencial gravitacional. Assim, quanto maior for a f.e.m., maior será a transformação de energia potencial em trabalho, de acordo com a quantidade de carga em questão. Comparando, quanto maior for a altura de lançamento de um corpo, partindo do repouso, maior será a transformação de sua energia potencial gravitacional em trabalho, também de acordo com a massa do corpo sob a qual a gravidade atua.

Tensão elétrica ou diferencial de potencial (ddp) é a diferença de potencial entre dois pontos. A tensão elétrica também pode ser explicada como a quantidade de energia gerada para movimentar uma carga elétrica. Vamos dar um exemplo de uma mangueira com água, a qual no ponto entre a entrada de água e a saída exista uma diferença na quantidade de água, essa diferença trata-se da ddp entre esses dois pontos. Já no condutor, por onde circula a carga de energia elétrica, a diferença entre o gerador (equipamento responsável por gerar energia) e o consumidor (que pode ser seu computador ou outro equipamento) é que simboliza qual é a tensão que existe nesse condutor.

Exemplos de geradores de tensão: as usinas hidrelétricas, pilhas e baterias.

o gerador, que é a pilha, libera uma partícula eletrizada, esta percorre o condutor e faz acender a lâmpada, depois essa partícula continua seu percurso até retornar à pilha.

Com isso, pode-se concluir que a tensão elétrica é a quantidade de energia que um gerador fornece pra movimentar uma carga elétrica durante um condutor.

Como já foi dito, a tensão elétrica é quantidade de energia gerada para movimentar uma carga, portanto, o gerador necessita liberar energia elétrica para movimentar uma carga eletrizada.

A fórmula para calcular a tensão a partir desse conceito é:

$$U = E_{el} / Q$$

Onde:

U= Tensão elétrica

Eel= Energia elétrica

Q= Quantidade de carga eletrizada

Outra fórmula para calcular a tensão elétrica é a partir da energia elétrica utilizada e quantidade de carga:

$$V = J / C$$

Onde:

J= Joule

C= Coulomb

A unidade de tensão será dada em J/C

Também é possível calcular a tensão elétrica de um circuito tendo as grandezas de corrente e resistência:

$$V = I.R$$

Onde:

V= tensão elétrica

I= corrente elétrica

R= resistência elétrica

Se analisarmos mais profundamente para calcular a tensão, poderemos calcular também através da potência elétrica:

$$V = P/I$$

Onde:

P= potência elétrica

I= corrente elétrica

Todos esses cálculos são para tensões contínuas (tensões que não mudam de polaridade de acordo o tempo), para calcular tensões alternadas (tensões que mudam a polaridade de acordo com o tempo), é necessário ter noções de números complexos, visto que todas variáveis são complexas.

Fórmula para cálculo de tensão alternada:

$$v(t) = V \cdot \sin(2\pi f t \cdot \Phi_v)$$

Onde:

v(t)= função tensão no tempo

V= tensão de pico

$\sin = \text{seno}$

$F = \text{frequência}$

$T = \text{tempo}$

$\Phi = \text{ângulo de fase}$

Esse cálculo é para casos de tensão em função do tempo, entretanto, a tensão que é medida na sua tomada, é um valor eficaz, que é o valor quadrático médio desse sinal.

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

Tensão elétrica (denotada por  $\Delta V$ ), também conhecida como diferença de potencial (DDP), é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos ou a diferença em energia potencial elétrica por unidade de carga elétrica entre dois pontos. Sua unidade de medida é o volt – homenagem ao físico italiano Alessandro Volta. A diferença de potencial é igual ao trabalho que deve ser feito, por unidade de carga contra um campo elétrico para se movimentar uma carga qualquer. Uma diferença de potencial pode representar tanto uma fonte de energia (força eletromotriz), quanto pode representar energia "perdida" ou armazenada (queda de tensão). Um voltímetro pode ser utilizado para se medir a DDP entre dois pontos em um sistema, sendo que usualmente um ponto referencial comum é a terra. A tensão elétrica pode ser causada por campos elétricos estáticos, por uma corrente elétrica sob a ação de um campo magnético, por campo magnético variante ou uma combinação de todos os três.

### **Tensão e Lei de Ohm**

Por analogia, a tensão elétrica seria a "força" responsável pela movimentação de elétrons. O potencial elétrico mede a força que uma carga elétrica experimenta no seio de um campo elétrico, expressa pela lei de Coulomb. Portanto a tensão é a tendência que uma carga tem de ir de um ponto para o outro. Normalmente, toma-se um ponto que se considera de tensão=zero e mede-se a tensão do resto dos pontos relativamente a este.

A tensão elétrica entre dois pontos, ou seja [(+) e (-)] é definida matematicamente como a integral de linha do campo elétrico:

$$V_a - V_b = \int_a^b \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b E \cos \phi dl.$$

Para facilitar o entendimento da tensão elétrica pode-se fazer uma analogia entre esta e a pressão hidráulica. Quanto maior a diferença de pressão hidráulica entre dois pontos, maior será o fluxo, caso haja comunicação entre estes dois pontos. O fluxo (que em eletrodinâmica seria a corrente elétrica) será assim uma função da pressão hidráulica (tensão elétrica) e da oposição à passagem do fluido (resistência elétrica). Este é o fundamento da lei de Ohm, para a corrente contínua:

$$V = R \cdot I \text{ ou } U/q = R \cdot I$$

onde:

R = Resistência (ohms)

I = Intensidade da corrente (ampères)

V = Diferença de potencial ou tensão (volts)

U = Energia potencial(joule)

Em corrente alternada, substitui-se a resistência pela impedância:

$$U = Z \cdot I$$

onde:

Z = Impedância (ohms)

Pelo método fasorial, em corrente alternada, todas as variáveis da equação são complexas. A impedância representa, além da resistência a passagem de corrente elétrica, também o deslocamento angular na forma de onda produzido pelo equipamento (capacitores e bobinas ou indutores).

Podemos resumir em tais fórmulas matemáticas que a tensão elétrica seria a diferença de potencial elétrico, entre dois pontos, que geraria uma força capaz de movimentar os elétrons entre esses dois pontos distintos no espaço. O valor numérico desta grandeza física, medida em volts, seria então o resultado da multiplicação entre o valor da resistência (em ohms) e o valor da corrente (em ampères).

Efeitos da tensão no corpo humano

Ao receber uma descarga elétrica, contrariando o que sugere o imaginário popular, a tensão não tem grande relevância nos danos causados ao corpo, e sim a corrente (medida em ampere).

## **Resistência Elétrica**

Resistência elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada. Seu cálculo é dado pela Primeira Lei de Ohm, e, segundo o Sistema Internacional de Unidades (SI), é medida em ohms.

Quando uma corrente elétrica é estabelecida em um condutor metálico, um número muito elevado de elétrons livres passa a se deslocar nesse condutor. Nesse movimento, os elétrons colidem entre si e também contra os átomos que constituem o metal. Portanto, os elétrons encontram uma certa dificuldade para se deslocar, isto é, existe uma resistência à passagem da corrente no condutor.

Os fatores que influenciam na resistência de um dado condutor são:

A resistência de um condutor é tanto maior quanto maior for seu comprimento.

A resistência de um condutor é tanto maior quanto menor for a área de sua seção transversal, isto é, quanto mais fino for o condutor.

A resistência de um condutor depende da resistividade do material de que ele é feito. A resistividade, por sua vez, depende da temperatura na qual o condutor se encontra.

## **Força Eletromotriz**

Força eletromotriz (FEM), geralmente denotada como  $\mathcal{E}$ , é a propriedade de que dispõe um dispositivo qualquer a qual tende a ocasionar produção de corrente elétrica num circuito. É uma grandeza escalar e não deve ser confundida com uma diferença de potencial elétrico (DDP), apesar de ambas terem a mesma unidade de medida. No Sistema Internacional de Unidades a unidade de medida da força eletromotriz é o Volt. A DDP entre dois pontos é o trabalho por unidade de carga que a força eletrostática realiza sobre uma carga que é transportada de um ponto até o outro; a DDP entre dois pontos é independente do caminho ou trajeto que une um ponto ao outro. A força eletromotriz é o trabalho por unidade de carga que uma força não-eletrostática realiza quando uma carga é transportada de um ponto a outro por

um particular trajeto; isto é, a força eletromotriz, contrariamente da DDP, depende do caminho. Por exemplo, a força eletromotriz em uma pilha ou bateria somente existe entre dois pontos conectados por um caminho interno a essas fontes.

Todos os materiais exercem uma certa resistência, por menor que seja, ao fluxo de elétrons, o que provoca uma perda indesejada de energia (efeito Joule). Com os geradores não é diferente, ou seja, enquanto a corrente passa do polo negativo para o positivo, há uma perda de energia devido à resistência interna do próprio dispositivo.

Assim sendo a energia que chegará no resistor conectado ao gerador não será total, visto que a DDP entre os terminais do gerador e os terminais do resistor serão diferentes. Para calcularmos qual será a DDP dos terminais do resistor, utilizamos a chamada Equação do gerador que, matematicamente, se traduz na forma

$$V = \epsilon - ri.$$

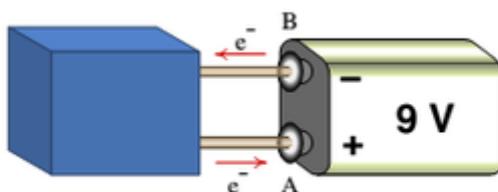
Vale lembrar que não existem geradores cuja força eletromotriz seja igual à DDP do resistor, uma vez que todo e qualquer material exerce resistência. No entanto, para efeito de cálculos, é bastante comum o uso da expressão gerador ideal, que nada mais seria que aquele cuja resistência interna é nula, ou seja, não haveria perdas indesejadas na potência do circuito.

### Propriedades

Uma pilha química está composta por duas barras condutoras, designadas de eletrodos, embebidas dentro de uma solução química (eletrólito). O eletrólito pode ser líquido ou sólido; o importante é que tenha íons positivos e negativos; por exemplo, um sal numa solução química é dissociado em íons positivos e negativos.

É necessário também que os condutores dos dois eletrodos sejam diferentes, para que um deles seja mais ativo do que o outro. Se dois metais são colocados, em contato, dentro de um eletrólito, um deles sofre corrosão esse metal que sofre corrosão diz-se que é o mais ativo dos dois. Diferentes materiais condutores podem ser ordenados numa série galvânica, em que os metais mais ativos aparecem no topo da lista. Por exemplo, a tabela abaixo mostra a série galvânica quando o eletrólito usado for água do mar. A ordem na tabela galvânica pode ser diferente para diferentes eletrólitos.

A corrosão do metal mais ativo (o que aparecer primeiro na tabela acima) resulta da combinação dos íons negativos do eletrólito com os átomos desse metal, ficando o metal com excesso de carga negativa. Os elétrons circulam pela ligação entre os dois condutores, fora do eletrólito, passando para o eletrodo menos ativo (figura abaixo). Esses elétrons atraem os íons positivos para o metal menos ativo; a reação dos íons positivos do eletrólito com o material do eletrodo menos ativo introduz carga positiva nesse eletrodo.



Numa pilha química ligada a um condutor externo, saem elétrons do eletrodo negativo e entram no eletrodo positivo

Assim, o eletrodo que corresponder ao condutor mais ativo será o eletrodo negativo da pilha, e o condutor menos ativo será o eletrodo positivo. Por exemplo, na pilha de Volta, o eletrodo positivo é o disco de cobre e o eletrodo negativo é o disco de zinco.

O potencial elétrico é maior no eletrodo positivo do que no negativo. Se ligarmos um condutor entre os dois eletrodos da pilha, os elétrons de condução serão deslocados para o terminal positivo (maior potencial). Nesse percurso, a energia mecânica desses elétrons diminui, já que parte dessa energia é dissipada em calor, devido às colisões com os átomos do material.

Conseqüentemente, os elétrons que entram do eletrodo negativo para o condutor, têm maior energia mecânica do que os elétrons que saem do condutor e entram no eletrodo positivo. Essa diferença de energias, deverá ser igual à diferença entre as energias químicas das reações nos dois eletrodos, que é a causa para a passagem de cargas entre o condutor e os eletrodos.

A energia necessária para a reação química de corrosão do metal no eletrodo negativo é menor que a energia necessária para a reação entre o eletrólito e o metal do eletrodo positivo. Assim, os elétrons livres do eletrodo negativo têm maior energia mecânica do que os elétrons livres do eletrodo positivo.

Designa-se por força eletromotriz da pilha (ou de forma abreviada, fem), à

diferença entre a energia de um elétron no eletrodo negativo, menos a energia de um elétron no eletrodo positivo, dividida pelo valor absoluto da carga do elétron. Representaremos a fem com a letra  $\mathcal{E}$ . Esse valor está determinado pelas energias associadas às reações químicas entre o eletrólito e os eletrodos; quanto mais afastados estiverem na série galvânica os dois condutores usados para os eletrodos, maior será essa fem. A fem tem as mesmas unidades do potencial.

A tabela mostra os materiais usados para os eletrodos e o eletrólito em vários tipos de pilhas produzidas industrialmente. O eletrodo da pilha onde há acumulação de cargas positivas do eletrólito é indicado com um sinal positivo (maior potencial) e o eletrodo onde há acumulação de cargas negativas (menor potencial) é indicado com um sinal negativo. O eletrodo negativo, ou ânodo, será o metal que tiver uma maior tendência a ser corroído pelo eletrólito, atraindo íons negativos (oxidação) e o eletrodo positivo, ou cátodo será o metal que atrai os íons positivos do eletrólito (redução).

As pilhas nas três últimas linhas da tabela acima são recarregáveis; isto é, as reações químicas nos eletrodos são reversíveis e se usarmos uma fonte externa para contrariar o sentido normal do fluxo das cargas, a carga total do eletrólito aumenta e os sais acumulados nos eletrodos diminui, ficando a pilha num estado semelhante ao inicial. Numa pilha que não seja recarregável, a inversão da corrente aquece a pilha com o perigo de poder explodir e sem ser recarregada.

A força eletromotriz pode ser gerada de diversas formas, destacam-se, entre outras:

Efeito Peltier

Força eletromotriz de Thomson

Força eletromotriz inversa

Força eletromotriz térmica

Força fotoeletromotriz

## **Conexão elétrica**

Uma conexão elétrica entre pontos discretos permite o fluxo de elétrons (uma corrente elétrica). Um par de conexões é necessária para constituir um circuito elétrico.

Entre pontos com uma diferença de potencial baixa, o fluxo de corrente contínua pode ser controlada por uma chave. Todavia, se os pontos não estão conectados, e a diferença de potencial entre aqueles pontos é alta o suficiente, a ionização elétrica do ar ocorrerá, e o fluxo da corrente tenderá a acontecer ao longo do caminho de menor resistência.

### **Conector Elétrico**



Conector P2, muito utilizado em fones de ouvido e microfones.

Conector, ou ficha, é um dispositivo que efetua a ligação entre um ou mais pontos onde se necessita de comunicação de sinais (por exemplo, entre um computador e um periférico).

Existem vários tipos diferentes de conectores. Os mais conhecidos são os RCA que são geralmente utilizados para fazer a ligação entre aparelhos de TV, videocassetes, DVD Players, e até mesmo placas de vídeo de computadores. Também existem conectores de cabos de rede de computador, conectores VGA (mais utilizados para conectar a placa de vídeo de um computador a um monitor), conectores SVGA (também utilizados para conexão entre placas de vídeo de computadores e monitores, porém também pode conectar TV, projetores, DVD, etc).

No século XXI, os conectores começaram a ser substituídos graças à tecnologia wireless (interligação sem fio de equipamentos). Hoje encontram-se no mercado vários equipamentos com esta tecnologia, desde placas de rede, caixas de som, mouses, teclados, microfones, DVD, TV, videogames (console), etc.

### **Corrente elétrica**

Corrente elétrica é o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica ou é o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe

uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades. Tal deslocamento procura restabelecer o equilíbrio desfeito pela ação de um campo elétrico ou outros meios (reações químicas, atrito, luz, etc.).

Sabe-se que, microscopicamente, as cargas livres estão em movimento aleatório devido à agitação térmica. Apesar desse movimento desordenado, ao estabelecermos um campo elétrico na região das cargas, verifica-se um movimento ordenado que se apresenta superposto ao primeiro. Esse movimento recebe o nome de movimento de deriva das cargas livres.

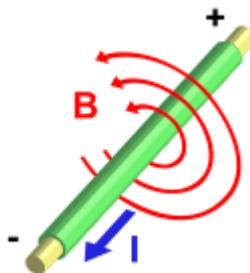
Raios são exemplos de corrente elétrica, bem como o vento solar, porém a mais conhecida, provavelmente, é a do fluxo de elétrons (português brasileiro) ou eletrões (português europeu) através de um condutor elétrico, geralmente metálico.

A intensidade  $I$  da corrente elétrica é definida como a razão entre o módulo da quantidade de carga  $\Delta Q$  que atravessa certa secção transversal (corte feito ao longo da menor dimensão de um corpo) do condutor em um intervalo de tempo  $\Delta t$ .

A unidade padrão no SI para medida de intensidade de corrente é o ampère (A). A corrente elétrica é também chamada informalmente de amperagem. Embora seja um termo válido na linguagem coloquial, a maioria dos engenheiros eletricitistas repudia o seu uso por confundir a grandeza física (corrente elétrica) com a unidade que a medirá (ampère). A corrente elétrica, designada por  $I$ , é o fluxo das cargas de condução dentro de um material. A intensidade da corrente é a taxa de transferência da carga, igual à carga  $dQ$  transferida durante um intervalo infinitesimal  $dt$  dividida pelo tempo.

$$I = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta Q|}{\Delta t} = \frac{dQ}{dt}$$

Sentido da corrente



De acordo com a lei de Ampère, uma corrente elétrica produz um campo magnético.

No início da história da eletricidade definiu-se o sentido da corrente elétrica como sendo o sentido do fluxo de cargas positivas[3], ou seja, as cargas que se movimentam do pólo positivo para o pólo negativo. Naquele tempo nada se conhecia sobre a estrutura dos átomos. Não se imaginava que em condutores sólidos as cargas positivas estão fortemente ligadas aos núcleos dos átomos e, portanto, não pode haver fluxo macroscópico de cargas positivas em condutores sólidos. No entanto, quando a física subatômica estabeleceu esse fato, o conceito anterior já estava arraigado e era amplamente utilizado em cálculos e representações para análise de circuitos. Esse sentido continua a ser utilizado até os dias de hoje e é chamado sentido convencional da corrente.

Em qualquer tipo de condutor, este é o sentido contrário ao fluxo líquido das cargas negativas ou o sentido do campo elétrico estabelecido no condutor. Na prática qualquer corrente elétrica pode ser representada por um fluxo de portadores positivos sem que disso decorram erros de cálculo ou quaisquer problemas práticos.

O sentido real da corrente elétrica depende da natureza do condutor.

A corrente elétrica não é exclusividade dos meios sólidos - ela pode ocorrer também nos gases e nos líquidos. Nos sólidos, as cargas cujo fluxo constitui a corrente real são os elétrons livres. Nos líquidos, os portadores de corrente são íons positivos e íons negativos. Nos gases, são íons positivos, íons negativos e elétrons livres. A corrente elétrica que se estabelece nos condutores eletrolíticos e nos condutores gasosos (como a que surge em uma lâmpada fluorescente) é denominada corrente iônica.

O sentido real é o sentido do movimento de deriva das cargas elétricas livres (portadores). Esse movimento se dá no sentido contrário ao do campo elétrico se os portadores forem negativos (caso dos condutores metálicos), e no mesmo sentido do campo, se os portadores forem positivos. Mas existem casos em que verificamos cargas se movimentando nos dois sentidos. Isso acontece quando o condutor apresenta os dois tipos de cargas livres (condutores iônicos, por exemplo).

Nesses casos, não são só os portadores de carga negativa que entram em movimento, mas também os portadores de carga positiva: os íons também entram em movimento. Por exemplo: se, numa solução iônica, são colocados dois eletrodos ligados a uma bateria, um eletrodo adquire carga positiva, e outro, carga negativa. Com isso, o movimento dos íons negativos e dos elétrons se dará no sentido do eletrodo positivo, enquanto o movimento dos íons positivos ocorrerá no sentido do eletrodo negativo.