

SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Nivaldo Carleto

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS

SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS

Nivaldo Carleto

CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS



Autor

Nivaldo Carleto

Bacharel em Engenharia Elétrica pela Universidade de Marília, possui licenciatura plena na área Elétrica pelo Centro Paula Souza, especialização em Engenharia de Produção (UNESP), em Sistemas de Informações Geográficas (UFSCar) e Didática e Metodologia do Ensino Superior (Anhanguera Educacional) e mestrado em Ciências e Tecnologia Nuclear, na área de Materiais, no IPEN/CNEN/USP, com projeto desenvolvido no Centro Tecnológico da Marinha do Brasil em São Paulo (CTMSP). É doutor em Agronomia, pela UNESP de Jaboticabal/SP, na área de Ciência do Solo e doutor em Educação Escolar (UNESP Araraquara/ SP). Atualmente, é professor da Faculdade de Tecnologia de Taquaritinga/SP (FATEC). Tem experiência nas áreas de Engenharia de Produção, Engenharia Elétrica e de Telecomunicações, Micro-ondas de Potência, Física (Eletricidade e Eletromagnetismo).

Design Instrucional

Rodolfo Rodrigues

Vinícius Abreu

Projeto Gráfico

NT Editora

Capa

NT Editora

Revisão

Ricardo Moura

Mariana Carvalho

Ilustração

Daniel Motta

Editoração Eletrônica

Kaleo Amorim

NT Editora, uma empresa do Grupo NT

SCS Quadra 2 – Bl. C – 4º andar – Ed. Cedro II

CEP 70.302-914 – Brasília – DF

Fone: (61) 3421-9200

sac@grupont.com.br

www.nteditora.com.br e www.grupont.com.br

Carleto, Nivaldo.

Subestações elétricas / Nivaldo Carleto – 2. ed. – Brasília: NT Editora, 2019.

190 p. il. ; 21,0 X 29,7 cm.

ISBN 978-85-8416-676-3

1. Subestações. 2. Eletricidade.

I. Título

Copyright © 2019 por NT Editora.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser reproduzida por qualquer modo ou meio, seja eletrônico, fotográfico, mecânico ou outros, sem autorização prévia e escrita da NT Editora.

ÍCONES

Prezado(a) aluno(a),

Ao longo dos seus estudos, você encontrará alguns ícones na coluna lateral do material didático. A presença desses ícones o(a) ajudará a compreender melhor o conteúdo abordado e a fazer os exercícios propostos. Conheça os ícones logo abaixo:



Saiba mais

Esse ícone apontará para informações complementares sobre o assunto que você está estudando. Serão curiosidades, temas afins ou exemplos do cotidiano que o ajudarão a fixar o conteúdo estudado.



Importante

O conteúdo indicado com esse ícone tem bastante importância para seus estudos. Leia com atenção e, tendo dúvida, pergunte ao seu tutor.



Dicas

Esse ícone apresenta dicas de estudo.



Exercícios

Toda vez que você vir o ícone de exercícios, responda às questões propostas.



Exercícios

Ao final das lições, você deverá responder aos exercícios no seu livro.

Bons estudos!

Sumário

1 CONCEITOS BÁSICOS DE SUBESTAÇÕES	9
1.1 Estrutura de um sistema elétrico de potência e subestações.....	9
1.2 Classificação das subestações	11
1.3 Equipamentos de uma subestação elétrica.....	20
2 MODELO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO	28
2.1 Sistema elétrico brasileiro	28
2.2 Estrutura organizacional do setor elétrico brasileiro	33
2.3 Características do sistema elétrico brasileiro	39
2.4 Mercado de energia elétrica.....	43
3 ESQUEMAS DE MANOBRA DE ALTA TENSÃO (AT) E DE EXTRA-ALTA TENSÃO (EAT)	50
3.1 Esquemas de manobra	50
3.2 Fatores para seleção de esquemas de manobras.....	60
4 SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SDEE)	66
4.1 Estrutura e projeto de um sistema de distribuição de energia elétrica	66
4.2 Configurações dos sistemas de distribuição de energia elétrica.....	69
5 COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO	85
5.1 Isolamento e sobretensões	85
5.2 Normas de coordenação de isolamento.....	88
5.3 Métodos de coordenação de isolamento.....	96
6 MANUTENÇÃO ELÉTRICA EM SUBESTAÇÕES	102
6.1 Manutenção: conceito e tipos de manutenção.....	102
6.2 Manutenção centrada em confiabilidade e termografia	109
7 ARRANJO FÍSICO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS	119
7.1 Organização das subestações elétricas	119
7.2 Arranjo físico de subestações e suas tensões de operação	122
8 SISTEMAS DE PROTEÇÃO EM SUBESTAÇÕES.....	134
8.1 Proteções em subestações elétricas.....	134
8.2 Equipamentos de proteção em subestações elétricas	137
9 PROJETO DE SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS.....	149
9.1 Planejamento de uma subestação elétrica.....	149

9.2 Normas brasileiras e internacionais para o projeto de uma subestação elétrica...	154
9.3 Exemplos práticos de projetos de subestações elétricas.....	158
10 ATERRAMENTO EM SUBESTAÇÕES ELÉTRICAS	165
10.1 Aterramento apresentação e conceitos.....	165
10.2 Procedimentos de projeto de aterramento de uma subestação elétrica ..	168
10.3 Estudo da resistividade, da umidade e da temperatura do solo	172
GLOSSÁRIO	184
BIBLIOGRAFIA	188

Caro(a) aluno(a),

Seja bem-vindo(a) aos estudos do componente curricular **Subestações Elétricas!**

É muito importante estudar assuntos sobre subestações elétricas, já que a demanda por energia elétrica vem crescendo exponencialmente no mundo, tendo em vista a evolução da tecnologia e as novas formas de geração, transmissão e distribuição de energia. Diante disso, o componente curricular Subestações Elétricas é essencial para o estudante desenvolver as competências e habilidades necessárias de um futuro técnico projetista.

Vale salientar que esse componente curricular está relacionado com outras disciplinas, como Máquinas Elétricas, Eletromagnetismo, Desenho Técnico e Eletricidade Básica. No entanto o componente curricular não tem como objetivo direcionar você somente aos conhecimentos técnicos, mas, sobretudo, desenvolver suas competências comportamentais e cognitivas, bem como desenvolver habilidades científicas e teóricas para a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos. Enfim, esta prática pedagógica auxiliará em sua formação profissional como um todo, em um contexto de aprendizado contínuo e inovador.

Neste material, você terá a oportunidade de estudar os assuntos a seguir.

Na lição 1, abordaremos os Conceitos Básicos de Subestação.

Na lição 2, será discutido o Modelo do Setor Elétrico Brasileiro.

Na lição 3, você conhecerá os Esquemas de Manobra de Alta e de Extra Alta Tensão.

Na lição 4, são estudados os Esquemas de Manobra de Média Tensão.

Na lição 5, apresentam-se os assuntos relativos à Coordenação de Isolamento.

Na lição 6, você terá a oportunidade de conhecer os Cálculos de Distância Elétrica e de Projeto de Subestações.

Na lição 7, são mostrados os Arranjos Físicos de Subestações de Alta e de Extra-alta Tensão.

Já na lição 8, são apresentados os Arranjos Físicos de Subestações de Média Tensão.

Na lição 9, mostra-se a metodologia de Projeto de Subestação de Alta e de Extra-alta Tensão.

Por fim, na lição 10, são estudados os Sistemas de Aterramento em Subestações.

Esperamos que este livro de Subestações Elétricas atenda às expectativas em seu processo de ensino-aprendizagem. No entanto vale lembrar que os assuntos aqui abordados não se esgotam, já que a intenção é motivar você na constante busca de novos conhecimentos por meio de outros estudos e referências bibliográficas. Portanto, tenho certeza de que seu interesse e sua curiosidade aumentarão a cada novo assunto do nosso livro.

Não perca tempo! Aproveite a oportunidade para ampliar os seus conhecimentos.

Bons estudos e muito sucesso nessa jornada!

Nivaldo Carleto.

1 CONCEITOS BÁSICOS DE SUBESTAÇÕES

Prezado(a) aluno(a), tudo bem? Nesta lição iremos conhecer o que é um sistema elétrico de potência (SEP), bem como estudar o conceito, as características, os tipos e os principais dispositivos de uma subestação elétrica. Está preparado(a)? Então, mãos à obra e bons estudos!

Objetivos

Ao finalizar esta lição, você deverá ser capaz de:

- compreender o que é um sistema elétrico de potência;
- conhecer a estrutura básica de um sistema elétrico de potência;
- identificar os principais componentes existentes em uma subestação;
- conhecer as características de cada componente de uma subestação elétrica;
- entender a importância de uma subestação.

1.1 Estrutura de um sistema elétrico de potência e subestações

Um sistema elétrico de potência (SEP) é constituído por inúmeros equipamentos para transportar a energia elétrica desde a sua geração até a sua utilização (área urbana, rural ou industrial). Basicamente, o SEP é constituído por quatro etapas: geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica. Observe a ilustração a seguir.

Sistema elétrico de potência (SEP)



A geração é estabelecida por uma usina geradora de energia elétrica, a qual pode ser uma hidroelétrica nuclear, termoelétrica, solar ou eólica, por exemplo. A transmissão significa o transporte

de energia elétrica até as subestações. A distribuição é a parte do sistema que se encontra nos centros consumidores (área urbana, rural ou industrial). É por meio da distribuição que conseguimos utilizar a energia elétrica para diversas finalidades, como acionar um motor elétrico, acender lâmpadas e ligar um computador (CREDER, 2013).



Saiba mais

Os cabos de energia utilizados em linhas de transmissão são de alumínio, e não de cobre. A justificativa está no fato de que o alumínio é rígido, suporta variações de temperatura e não oxida ao tempo. Já o cobre é flexível e necessita de revestimento para não oxidar. Além disso, com a variação da temperatura, o cobre pode sofrer deformações.



Redes de conhecimento

Analisando as alternativas, quais destes equipamentos estão presentes em um sistema elétrico de potência?

- a) Cabos elétricos.
- b) Transformador de energia.
- c) Poste de 11 metros.
- d) Interruptores.

Comentário: se você pensou na alternativa “b”, está correto! Em um sistema elétrico de potência, o transformador é um equipamento essencial, já que ele tem a propriedade de elevar ou abaixar a tensão elétrica do sistema. Em uma subestação, existem transformadores abaixadores e/ou elevadores de energia, e isso vai depender da característica da subestação. Você vai ter a oportunidade de estudar essas características nesta lição.

O que é uma subestação?

Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP. Na verdade, pode-se dizer que uma subestação é uma parte importante do SEP, pois funciona como um ponto de convergência entre as linhas de transmissão e de distribuição de energia. Basicamente, as principais funções de uma subestação são:

- **transformação:** alteração dos níveis de tensão para adequação aos sistemas de transmissão, distribuição e utilização;
- **regulação:** ajustar os níveis de tensão para atender aos limites admissíveis de transmissão e de utilização;
- **chaveamento:** comutação (liga/desliga) entre os dispositivos do SEP de acordo com a necessidade, como manutenção da subestação ou atuação de um disjuntor de proteção.

As subestações são responsáveis pela distribuição da energia elétrica. Antes de chegar às casas, a eletricidade percorre um sistema de transmissão que começa nas usinas e passa por essas estações, onde equipamentos chamados transformadores realizam o aumento ou a diminuição da tensão. Quando elevam a tensão elétrica, os transformadores evitam a perda excessiva de energia ao longo

do percurso. Quando rebaixam a tensão, já nos centros urbanos, permitem a distribuição da energia pela cidade. Funcionam, desse modo, como pontos de entrega de energia para os consumidores. Para se tornar adequada ao consumo, a energia passa por transformadores menores, instalados nos postes das ruas. Eles reduzem ainda mais a tensão que será recebida nas casas e nos estabelecimentos comerciais. O fornecimento de energia é feito por meio de um grande e complexo sistema de subestações, com linhas de transmissão e usinas, que constituem o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Redes de conhecimento

Indique a alternativa que define o que é uma subestação de energia elétrica.

- a) Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de gerar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP.
- b) Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia.
- c) Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP.
- d) Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de gerar, controlar e distribuir o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP.

Comentário: se você respondeu “c”, acertou! Parabéns! Subestação pode ser definida como um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP. Na verdade, pode-se dizer que uma subestação é uma parte importante do SEP, pois funciona como um ponto de convergência entre as linhas de transmissão e de distribuição de energia.

Saiba mais

Você sabia que, durante a trajetória da energia elétrica (desde a usina até o consumidor final), são necessárias subestações elétricas como interface de comutação? Isto é, os transformadores elevam ou diminuem a tensão elétrica para se adequarem às necessidades dos consumidores, bem como reduzir as perdas ao longo de uma linha de transmissão.



1.2 Classificação das subestações

As subestações podem ser classificadas de acordo com o seu tipo, a sua função, as formas de instalação, os níveis de tensão e as formas de comando e operação (BARROS; GEDRA, 2011). A seguir, mostram-se as características de cada subestação elétrica.

Quanto ao tipo

As subestações quanto ao tipo podem ser classificadas em duas categorias: a industrial e a concessionária.

- **Industrial** - a subestação do tipo industrial é dedicada às aplicações industriais. Ou seja, é quando uma determinada indústria de manufatura necessita de uma subestação particular para atender a instalações específicas, como operações de máquinas e de equipamentos que utilizam tensões elétricas da ordem de 380 e 440 V.
- **Concessionária** - a subestação do tipo concessionária é de responsabilidade das próprias concessionárias de energia, caso da CPFL e da ELETROPAULO, por exemplo. Normalmente operam como subestações abaixadoras (tensões da ordem de 13,8 kV) para atender à distribuição de energia elétrica de um município ou de uma área rural com tensões da ordem de 127 e 220 V.



Saiba mais

Os transformadores de energia normalmente utilizam núcleo de ferro silício (FeSi). Também conhecido como ferro "doce" ou ferro "mole", essa liga tem facilidade de magnetização, devido às propriedades ferromagnéticas do ferro, à baixa oxidação e à alta permeabilidade magnética devido ao silício. Normalmente, a liga é constituída de 96% de ferro e 4% de silício.

Quanto à forma de comando

As subestações podem ser operadas de acordo com a forma de comando. Ou seja, apenas com o operador, quando este tem alguma atuação no sistema (semiautomática), e por meio de equipamentos (automatizada).



- **Subestação com operador** - esse tipo de subestação exige muito conhecimento e treinamento do operador, tendo em vista que dependem quase que totalmente dele as tomadas de decisões e o controle do sistema. Existem computadores para auxiliar na supervisão, porém o operador é essencial para anotar e interpretar os dados coletados. Observe a ilustração anterior.

- **Subestação semiautomática** - esse tipo de subestação tem computadores ou sistemas de segurança eletromecânicos que impedem operações indevidas por parte do operador. A ilustração a seguir apresenta a sala de operação de uma subestação do tipo semiautomática.



- **Subestação automatizada** - na subestação automatizada, o controle do sistema é realizado por meio de computadores e *softwares*, como sistemas supervisórios do tipo SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisiton*). Observe a ilustração a seguir.

Sala de operação de uma subestação automática

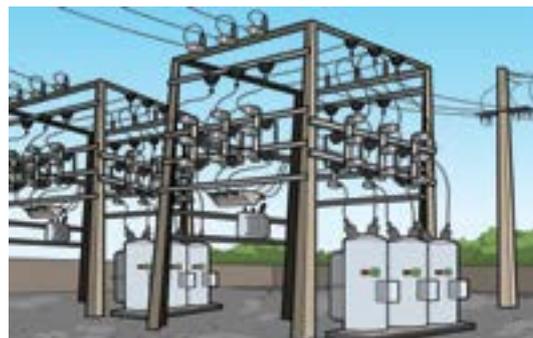


Quanto à instalação

As subestações quanto à instalação são classificadas como: desabrigada, abrigada, blindada e móvel.

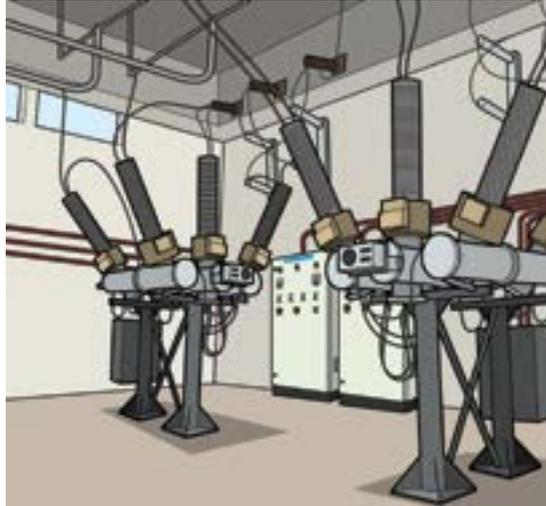
- **Subestação desabrigada** - é construída em locais amplos e ao ar livre. Os equipamentos utilizados nesse tipo de subestação devem suportar as intempéries e, devido ao desgaste em razão do tempo, exigem manutenção frequente. A ilustração a seguir apresenta uma subestação desabrigada.

Subestação de energia desabrigada



- **Subestação abrigada** - esse tipo de subestação é construído em locais cobertos. Os equipamentos são instalados no interior da construção e não ficam sujeitos às intempéries. Os abrigos podem ser uma edificação ou uma câmara subterrânea. Subestações abrigadas podem consistir de cabines metálicas, além de isoladas a gás, tal como o hexafluoreto de enxofre (SF₆). Observe a ilustração seguinte.

Subestação de energia abrigada



- **Subestação blindada** - subestações blindadas são construídas em locais abrigados nos quais os equipamentos são protegidos e isolados em óleo ou em gás (SF₆). Como o isolamento com SF₆ é realizado em ambiente blindado, é possível compactar a instalação da subestação. Além disso, exige pouca manutenção, e a operação é considerada segura. Observe a próxima ilustração.

Subestação de energia blindada



- **Subestação móvel** - as subestações móveis são dispostas sobre veículos (caminhões, por exemplo) para atendimentos emergenciais, como *shows*, feiras e manutenção de outra subestação. A ilustração seguinte apresenta uma subestação móvel.

Subestação de energia móvel



Saiba mais



Você sabia que o hexafluoreto de enxofre (SF6) é um gás muito utilizado em equipamentos de energia elétrica? É transparente, inodoro, não inflamável e quimicamente estável. O SF6 pode ser usado como isolante em subestações, como um isolador em extintor de arco elétrico, bem como em interruptores para aplicações de alta e média tensão.

Redes de conhecimento

Assinale a alternativa que apresenta as características de uma subestação desabrigada.

- a) São blindadas.
- b) Utiliza SF6 para isolação.
- c) São construídas em locais amplos.
- d) São construídas sobre plataformas.

Comentário: se você pensou na alternativa "c", está correto! As subestações desabrigadas necessitam de locais amplos e são construídas ao ar livre. Portanto, dependendo da subestação, a área reservada deve ser considerável para acomodar os equipamentos elétricos.

Quanto à natureza da corrente elétrica

Uma subestação também pode ser classificada de acordo com a natureza da corrente elétrica do sistema. Ou seja, na condição de corrente elétrica alternada, a subestação não sofre alterações na modalidade da corrente, na frequência ou no número de fases. Já na condição alternadora (CC → CA), existe a conversão da corrente contínua em corrente alternada. Por outro lado, na subestação que atua como retificadora (CA → CC), existe o processo inverso da alternadora, ou seja, a corrente alternada sendo convertida em corrente contínua. Por fim, existe a subestação operando em função comutadora (CA → CC → CA). Nesse caso, a corrente alternada é convertida em corrente contínua e vice-versa.



Saiba mais



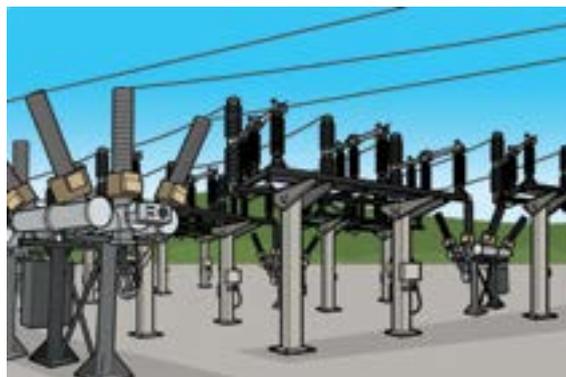
Você sabia que a sina Hidroelétrica de Itaipu tem subestação comutadora? O motivo está na distância do transporte de energia. Ou seja, transportando a energia em corrente contínua existe menor quantidade de perdas, quando comparado com o transporte em corrente alternada.

Quanto à função

Outra classificação das subestações é quanto à sua função. Então, vamos conhecer algumas características operacionais.

- **Subestação de manobra** - a subestação de manobra auxilia o operador na manobra de partes do sistema para fins de isolamento, manutenção, seccionamento de circuitos e chaveamento de linhas de transmissão. Observe a ilustração a seguir.

Subestação de manobra



- **Subestação de transformação** - as subestações de transformação podem ser classificadas em: elevadora, abaixadora, distribuição, regulação de tensão e conversora.

Subestação de transformação



- a) As subestações elevadoras localizam-se na saída das usinas geradoras de energia elétrica. A sua função é elevar a tensão gerada para transmissão e subtransmissão de energia para fins de redução de perdas e de economia no transporte de energia. Nesse processo, eleva-se, por exemplo, a tensão de 13,8 kV (geração) para 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV ou 750 kV (transmissão) dependendo da distância do transporte de energia. A seguir, temos uma subestação elevadora de tensão.



- b) As subestações abaixadoras localizam-se próximas dos municípios. Basicamente, a sua função é reduzir os níveis de tensão de transmissão para níveis aceitáveis de distribuição de energia. Nesse caso, reduzem-se, por exemplo, os níveis de 230 kV, 345 kV, 440 kV, 500 kV ou 750 kV (transmissão) para 34,5 kV, 69 kV ou 138 kV. A ilustração a seguir apresenta uma subestação do tipo abaixadora de tensão.

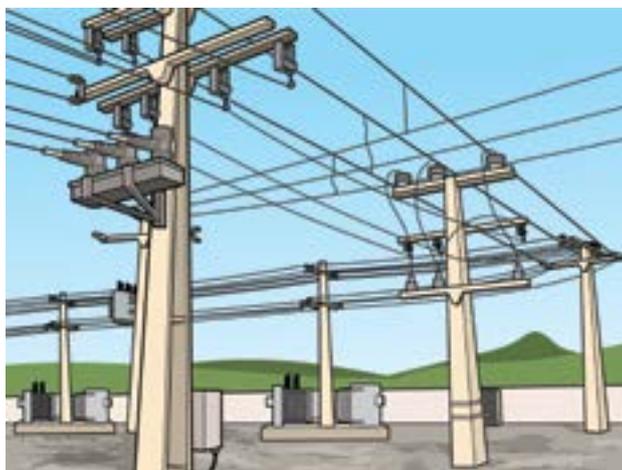


Saiba mais

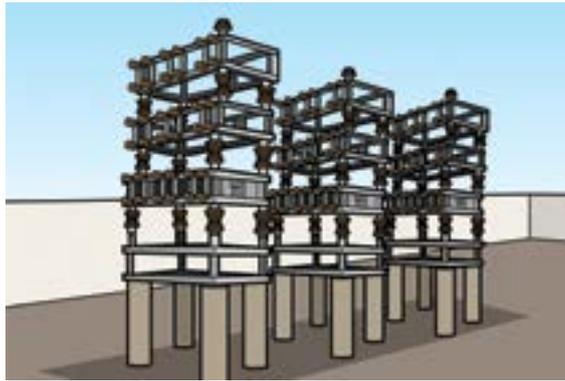


Uma descarga atmosférica, popularmente chamada de raio, é o resultado da separação das cargas elétricas em uma nuvem conhecida como cúmulo-nimbo. Essa separação ocorre quando existe o encontro entre as partículas de gelo no interior da nuvem (cúmulo-nimbo). Quando a diferença de cargas é elevada, uma carga elétrica negativa (que faz a função de condutor de energia) deixa a nuvem. Devido à intensidade do campo elétrico formado por essa carga, as cargas positivas do solo que estiverem mais próximas do condutor são atraídas, surgindo um tipo de circuito elétrico e, com isso, originando-se o raio. Portanto, é importante instalar para-raios no topo de prédio! Nas subestações também existem para-raios, e, em breve, iremos estudá-los.

- c) As subestações de distribuição têm a função de reduzir ainda mais os níveis de tensão (previamente realizados pela subestação abaixadora) para utilização doméstica e comercial. Nesse contexto, por exemplo, reduz-se de 34,5 kV ou 69 kV para 13,8 kV. Elas podem pertencer à CPFL ou à ELETROPAULO, entre outras possibilidades. Observe a ilustração a seguir.



- d) As subestações de regulação de tensão têm como objetivo evitar as quedas de tensão nos alimentadores de energia e equilibrar o sistema elétrico. Para isso, é necessário utilizar bancos de capacitores para controlar os níveis indesejados de tensão ao longo da linha de transmissão. Observe a ilustração a seguir.



e) O objetivo de uma subestação conversora é converter a corrente alternada em corrente contínua, tendo em vista a redução das perdas. As pontes conversoras são formadas por tanques de tiristores arrefecidos a óleo. Observe a ilustração.



Quanto à tensão elétrica

As subestações elétricas também podem ser classificadas quanto ao nível de tensão elétrica, ou seja: baixa, média, alta e extra-alta tensão.

- **Baixa tensão:** subestações com níveis de tensão de até 1 kV.
- **Média tensão:** subestações com níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV, ou seja, 6,6 kV, 13,8 kV, 23 kV e 34,5 kV.
- **Alta tensão:** subestações com níveis de tensão entre 34,5 kV e 230 kV, ou seja, 69 kV, 138 kV e 230 kV.
- **Extra-alta tensão:** subestações com níveis de tensão maiores do que 230 kV, ou seja: 345 kV, 440 kV, 500 kV e 750 kV.

Quanto à relação entre as tensões elétricas de entrada e de saída

Esses tipos de subestações foram estudados na seção quanto à função. Dessa forma, no instante em que falamos de subestações quanto à relação entre as tensões elétricas de entrada e de saída, abordamos, na verdade, as subestações de manobra, elevadora ou abaixadora de tensão. Fique atento!



Saiba mais

Existem inúmeros vídeos no YouTube explicando a operação, as características e as aplicações das inúmeras subestações elétricas que estudamos. Vale a pena conferir!



Redes de conhecimento

Vimos, nesta lição, as subestações de transformação. Com base nesse estudo, assinale a alternativa que não corresponde a uma subestação de transformação.

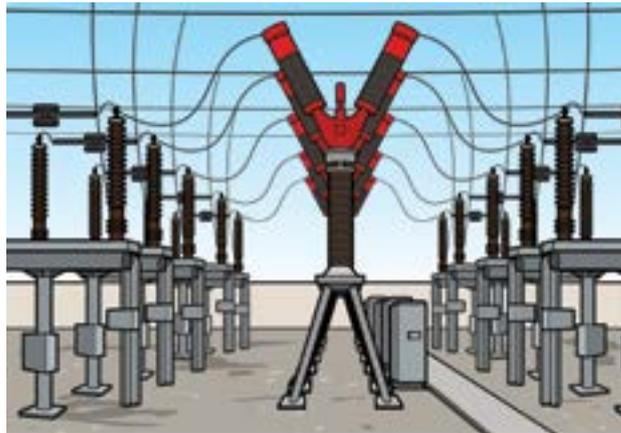
- a) Subestação de distribuição.
- b) Subestação de regulação de tensão.
- c) Subestação conversora.
- d) Subestação blindada.

Comentário: se você assinalou a alternativa “d”, parabéns! As subestações de transformação podem ser classificadas em: elevadora, abaixadora, distribuição, regulação de tensão e conversora.

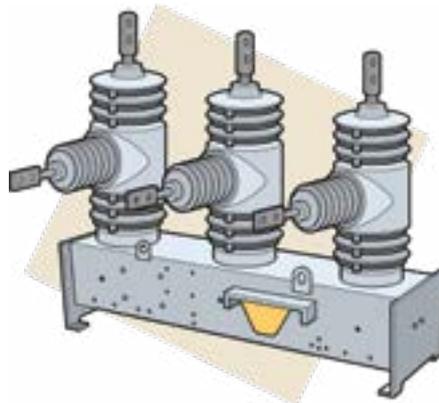
1.3 Equipamentos de uma subestação elétrica

Você sabia que existem inúmeros equipamentos em uma subestação elétrica para que ela atenda às exigências operacionais? Nesta seção iremos conhecer alguns desses equipamentos. Barros e Gedra (2011), além de Creder (2007), apresentam algumas considerações sobre equipamentos de subestações. Então, vamos aos estudos!

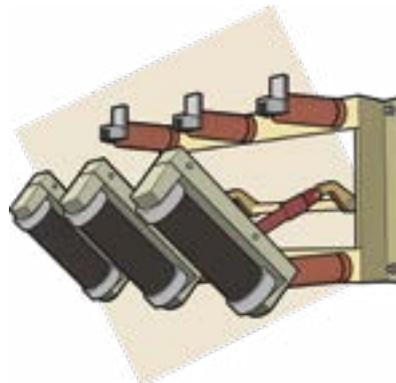
- **Barramentos** - a função do barramento é interligar os circuitos e os equipamentos existentes na subestação. A sua composição física deve atender às especificações técnicas do circuito e suportar os esforços de tração impostos pela estrutura da subestação.
- **Disjuntores** - são considerados os principais equipamentos de proteção de uma subestação. Eles têm a capacidade de conduzir, interromper e estabelecer correntes de carga, controlando as condições operacionais do sistema elétrico. Vale ressaltar que os disjuntores devem ser instalados com os seus respectivos relés, já que são responsáveis pela detecção das correntes elétricas do circuito. Os principais tipos de disjuntores são: disjuntores a óleo, disjuntores a vácuo, disjuntores a ar comprimido e disjuntores a SF₆. A ilustração abaixo apresenta um disjuntor a óleo.



- **Religador** - é um dispositivo sensor que restabelece a distribuição de energia em caso de falta momentânea. Suas principais funções são detectar e interromper condições de sobrecorrente, bem como restaurar as condições operacionais da linha. Observe a ilustração a seguir.



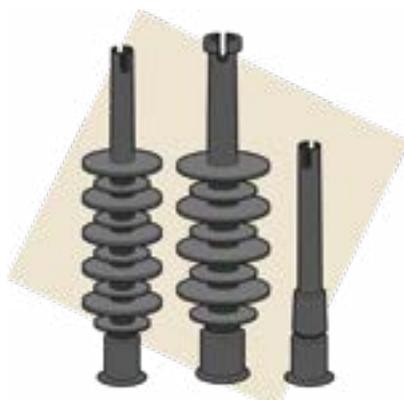
- **Chave fusível** - é um dispositivo eletromecânico utilizado para proteção de transformadores, bancos de capacitores e disjuntores. As principais características de operação são tensão nominal, nível básico de isolamento para impulso (NBI), frequência da rede, corrente nominal e capacidade de interrupção. Observe a figura em que há uma chave fusível instalada em uma subestação abrigada.



- **Chave seccionadora** - serve para realizar manobras de seccionamento e isolamento entre circuitos. Basicamente, a seccionadora é uma extensão do circuito de potência que, quando acionada, abre e fecha os contatos fixo e móvel. A seguir vemos uma chave seccionadora.



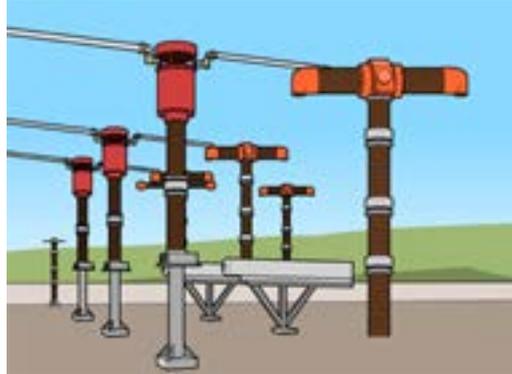
- **Muflas** - são utilizadas para manter as condições de isolamento elétrico nas conexões entre cabos, condutores e barramentos. Esse item é essencial nas instalações de uma subestação devido à complexidade da isolamento em um SEP. Basicamente, existem dois tipos de muflas, as de porcelana e as poliméricas.



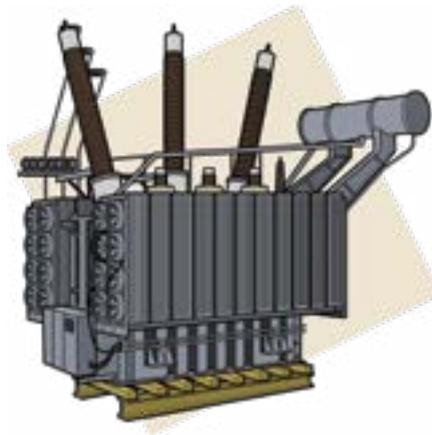
- **Transformador de potencial** - é muito utilizado em subestações. Os TPs reduzem a tensão do sistema para níveis de tensões compatíveis de medida do circuito. Ou seja, fornecem tensões proporcionais aos circuitos de alta tensão que estão sendo medidas. A ilustração a seguir mostra um típico transformador de potencial.



- **Transformador de corrente (TCs)** - são utilizados em aplicações de alta tensão, fornecendo correntes suficientemente reduzidas para possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.



- **Transformador de força** - operam em níveis de potência da ordem de MVA (Megavoltampère) e tensões superiores a 69 kV. Dessa forma, são utilizados em subestações e em sistemas de geração e transmissão. Observe a ilustração abaixo.



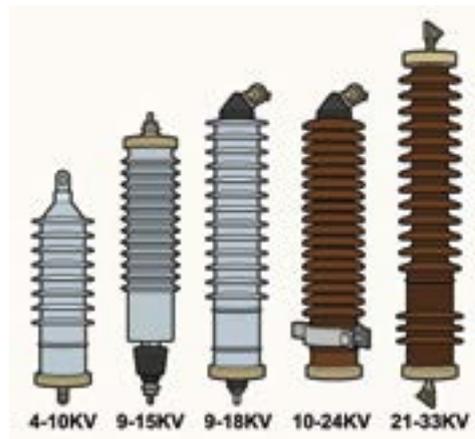
- **Relé de proteção** - em sistemas elétricos de potência, o relé de proteção executa ações de controle sobre os disjuntores, tendo em vista que o sistema de proteção não é composto apenas do próprio relé, mas de um conjunto de subsistemas integrados para melhor atuação sobre o SEP.



- **Isoladores** - são fundamentais em uma subestação. Eles, além de fornecerem isolamento às diversas partes do SEP, auxiliam na suspensão de cabos e de barramentos. Os isoladores podem ser de porcelana, de vidro ou de polímeros.



- **Para-raios** - são essenciais em uma subestação elétrica. Em geral, estão localizados nas entradas e nas saídas de linha e nas extremidades dos barramentos para proteção contra sobretensões e contracorrentes promovidas por chaveamentos e descargas atmosféricas. Também são localizados na entrada de transformadores e de outros dispositivos de um SEP.



- **Resistor de aterramento** - são utilizados em subestações para limitar a corrente de falta de fase a um valor que não danifique os equipamentos, permitindo, ainda, proteger a integridade física das pessoas. Ele atua em conjunto com outros equipamentos de proteção, como, por exemplo: relés e disjuntores.



Redes de conhecimento

Assinale a alternativa que apresenta cinco equipamentos existentes em uma subestação de energia elétrica.

- a) Transformador de força, relé de proteção, transformador de corrente, disjuntor e para-raio.
- b) Interruptor de força, relé de proteção, transformador de corrente, disjuntor e para-raio.
- c) Transformador de força, relé de proteção, transformador de corrente, disjuntor e estabilizador.
- d) Transformador de força, relé de proteção, transformador de poste, disjuntor e para-raio.

Comentário: se você pensou na alternativa “a”, acertou! Muito bem! Os equipamentos transformador de força, relé de proteção, transformador de corrente, disjuntor e para-raio fazem parte de uma subestação de energia elétrica.



Resumindo

Nesta lição, tivemos a oportunidade de conhecer o que é um sistema elétrico de potência (SEP). Estudamos também o que é uma subestação elétrica, entendendo os tipos, as características, as aplicações e os equipamentos existentes.

Veja se você se sente apto a:

- explicar o que é um sistema elétrico de potência;
- descrever a estrutura básica de um sistema elétrico de potência;
- listar os principais dispositivos existentes em uma subestação;
- reconhecer as características de cada componente;
- expressar a importância de uma subestação.

Espero que tenha gostado desta lição! Vamos continuar nossa caminhada. Então, até a próxima!



Parabéns, você finalizou esta lição!

Agora responda às questões ao lado.

Exercícios

Questão 1 – Assinale a alternativa que apresenta as etapas de um SEP (sistema elétrico de potência).

- a) Geração, transmissão, distribuição e utilização de subestação elétrica.
- b) Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.
- c) Geração, transmissão, distribuição e utilização de energia elétrica.
- d) Geração, transmissão e utilização de energia elétrica.

Questão 2 – Assinale a alternativa que apresenta uma das principais funções da etapa de geração de energia elétrica.

- a) Converter energia elétrica.
- b) Gerar fluxo de energia.
- c) Gerar energia por meio de uma turbina (usina).
- d) Controlar o fluxo de energia elétrica.

Questão 3 – Assinale a alternativa que apresenta a principal função da etapa de distribuição de energia elétrica.

- a) Gerar energia para alimentar os transformadores de distribuição de energia.
- b) A distribuição de energia é realizada nos centros consumidores para a sua real utilização.
- c) A distribuição nos centros consumidores é realizada por meio de linhas de transmissão.
- d) A distribuição nos centros consumidores é realizada por meio de transformadores de potência.

Questão 4 – Assinale a alternativa que representa a definição correta de uma subestação de energia elétrica.

- a) Subestação é um conjunto de equipamentos para controlar o fluxo de energia em um SEP.
- b) Subestação é um conjunto de equipamentos interligados para alterar os níveis de tensão e corrente elétrica em um SEP.
- c) Subestação serve para alterar os níveis de tensão e de corrente elétrica em um SEP.
- d) Subestação é um conjunto de equipamentos interligados com o objetivo de controlar o fluxo de energia, alterar os níveis de tensão e corrente elétrica, bem como fornecer proteção e comando ao SEP.

Questão 5 – As principais funções de uma subestação são:

- a) transformação, regulação e chaveamento.
- b) transformação, geração e distribuição.
- c) transformação, chaveamento e distribuição.
- d) transformação e chaveamento.

Questão 6 – Em uma subestação, a função transformação serve para:

- a) chavear as tensões elétricas da linha de transmissão de energia.
- b) alterar os níveis de tensão para adequação aos sistemas de transmissão, distribuição e utilização.
- c) modificar os níveis dos sistemas de transmissão, distribuição e utilização.
- d) converter os níveis de tensão para adequação aos sistemas de utilização.

Questão 7 – As subestações podem ser classificadas de acordo com:

- a) o seu tipo, a sua função, formas de conexão, níveis de tensão e formas de comando e operação.
- b) o seu tipo, a sua função, formas de instalação e formas de comando e operação.
- c) o seu tipo, a sua função, níveis de tensão e formas de comando e operação.
- d) o seu tipo, a sua função, formas de instalação, níveis de tensão e formas de comando e operação.

Questão 8 – As subestações, quanto ao tipo, podem ser classificadas em duas categorias:

- a) industrial e rural.
- b) industrial e concessionária.
- c) industrial e urbana.
- d) concessionária e rural.

Questão 9 – As subestações, quanto à instalação, são classificadas como:

- a) desabrigada, abrigada e móvel.
- b) desabrigada, tipo pátio e móvel.
- c) desabrigada, abrigada, blindada e móvel.
- d) desabrigada, tipo pátio, blindada e móvel.

Questão 10 – Subestações desabrigadas são construídas em:

- a) locais livres, devido à influência das intempéries.
- b) locais amplos e ao ar livre, onde os equipamentos são protegidos devido à influência das intempéries.
- c) locais amplos, onde os equipamentos são protegidos devido à influência das intempéries.
- d) locais amplos e ao ar livre, onde os equipamentos sofrem com a influência das intempéries.