

ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Nivaldo Carleto

CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Nivaldo Carleto

CONTROLE DE 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

Sarah Resende

Projeto Gráfico

NT Editora

Revisão

Ricardo Moura

Mariana Carvalho

Capa

NT Editora

Editoração Eletrônica

Daniel Dias

Ilustração

Daniel Motta

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.

Eletrônica industrial / Nivaldo Carleto – 1. ed. – Brasília: NT Editora, 2017.

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

ISBN 978-85-8416-188-1

1. Eletricidade. 2. Tensão.

I. Título

Copyright © 2017 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 INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA INDUSTRIAL	9
1.1 Conhecendo os dispositivos de potência	9
1.2 Retificadores.....	18
2 DIODOS DE POTÊNCIA	27
2.1 Conhecendo os diodos	27
2.2 Polarização do diodo semicondutor de potência	31
2.3 Testando diodos com multímetro digital	35
3 TRANSISTORES DE POTÊNCIA	44
3.1 Conhecendo os transistores.....	44
3.2 Polarização dos transistores NPN e PNP	47
3.3 Efeito da amplificação do transistor bipolar de junção.....	51
3.4 Transistor de efeito de campo de metal-óxido (MOSFET).....	55
4 TIRISTORES	61
4.1 O que são tiristores.....	61
4.2 Tipos de tiristores	64
4.3 Triodo para corrente alternada (<i>triode for alternative current</i> – TRIAC)	69
5 CIRCUITOS RETIFICADORES MONOFÁSICOS DE MEIA-ONDA E DE ONDA COMPLETA	77
5.1 Conhecendo circuitos.....	77
5.2 Circuito retificador de meia-onda monofásico (com controle)	83
5.3 Aplicações industriais	88
6 INVERSORES DE FREQUÊNCIA	95
6.1 O que são os inversores de frequência.....	95
6.2 A relação V/F (tensão/frequência)	99
6.3 Tipos de inversores de frequência: modo escalar e modo vetorial.....	102
7 REGULADORES DE TENSÃO	111
7.1 O que são reguladores de tensão.....	111
7.2 Reguladores de tensão para subestações de energia elétrica e redes de distribuição de energia	116
7.3 Reguladores de tensão aplicados na área da eletrônica.....	121

8 CHAVES ESTÁTICAS – RELÉ DE ESTADO SÓLIDO (SSR)	129
8.1 Conhecendo as chaves estáticas	129
8.2 Princípio de funcionamento de um relé de estado sólido (SSR)	131
8.3 Parâmetros para especificação e seleção de SSRs.....	137
GLOSSÁRIO	145
BIBLIOGRAFIA	151

Caro(a) aluno(a),

Seja bem-vindo aos estudos de **Eletrônica Industrial!**

É muito importante estudar eletrônica industrial, tendo em vista o avanço da tecnologia, que tem impulsionado todos os setores da indústria para um novo horizonte, exigindo atualizações de maquinários, equipamentos, redes de comunicação de dados e, sobretudo, de mão de obra qualificada. E tudo isso para atender à emergente Indústria 4.0 e às novas tecnologias utilizadas em sistemas de controle.

Também conhecida como eletrônica de potência, a eletrônica industrial visa a preparar o profissional para estar apto a desenvolver as diversas atividades técnicas relacionadas às questões industriais. Isso inclui o controle de sistemas automáticos e os processos avançados de manufatura.

Neste material, você terá a oportunidade de conhecer os componentes utilizados em eletrônica industrial, tais como diodos e transistores de potência, tiristores, retificadores, inversores, controladores de tensão e chaves estáticas. Além disso, desenvolverá habilidades e competências para conhecer e interpretar sinais dos circuitos utilizados no controle de equipamentos industriais. No final de cada lição, existem exercícios aplicativos para fixar os conceitos e as aplicações da eletrônica no âmbito industrial.

Para este estudo, os objetivos gerais são:

- promover a familiarização com os dispositivos de potência para identificar as suas aplicações industriais e os seus princípios de funcionamento;
- desenvolver a capacidade de interpretação dos circuitos de potência e as suas formas de onda (sinais de entrada e de saída do sistema);
- conhecer as aplicações de retificadores de potência, inversores, controladores e chaves estáticas para operar equipamentos;
- compreender as formas de instalação de circuitos de potência, a fim de realizar um trabalho com mais segurança;
- interpretar configurações de circuitos de potência para saber lidar com cálculos e com tais circuitos.

É importante ressaltar, ainda, que o técnico em eletrotécnica, responsável por trabalhar na manutenção e na operação de equipamentos industriais, precisa receber os conhecimentos necessários para desempenhar sua função. Nesse contexto, a eletrônica industrial é fundamental à formação desse profissional. Você está preparado(a) para enfrentar esse desafio? Tenho certeza de que está! Então, mãos à obra!

Não perca tempo! Aproveite a oportunidade para ampliar os seus conhecimentos e ingressar nesta jornada repleta de conceitos, definições e aplicações práticas!

Bons estudos!

Nivaldo Carleto

1 INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Vamos iniciar nossos estudos sobre Eletrônica Industrial! Nesta lição iremos conhecer os dispositivos de potência utilizados na indústria, enfatizando as suas características técnicas e operacionais, princípios de funcionamento, aplicações e exemplos práticos. Está preparado(a) para mais uma jornada de conhecimento? Então, mãos à obra e bons estudos!

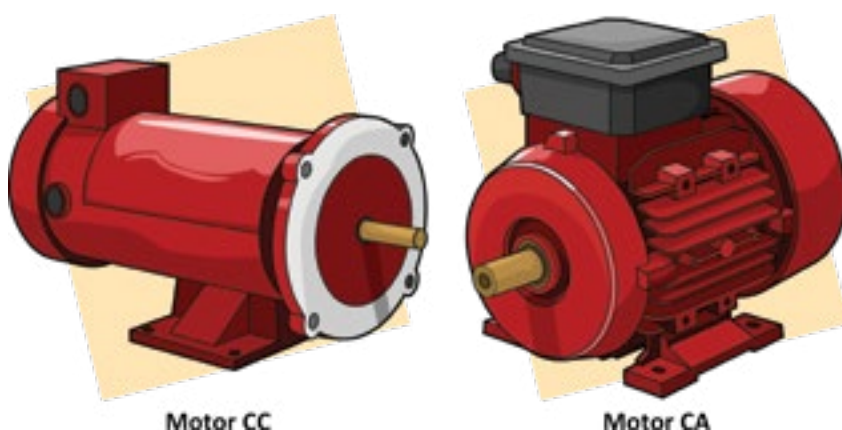


Objetivos

Ao final desta lição, você deverá ser capaz de:

- compreender o que é eletrônica industrial;
- analisar cada dispositivo de potência utilizado na indústria;
- avaliar dispositivos industriais por meio de ilustrações práticas;
- conhecer as características técnicas e operacionais de cada dispositivo;
- compreender a importância da eletrônica tanto para a indústria quanto para o cotidiano moderno.

1.1 Conhecendo os dispositivos de potência



A utilização de dispositivos semicondutores de potência, tais como diodos, transistores de potência, *diacs*, *triacs* e tiristores, vem aumentando de forma significativa no âmbito industrial, tendo em vista as suas aplicações em sistemas de chaveamento, controle e conversão de potência/energia elétrica. Uma das principais funções da eletrônica industrial é controlar o fluxo de potência, por meio de dispositivos semicondutores de potência, para alimentar as cargas industriais (um motor elétrico, por exemplo).



Saiba mais

A eletrônica industrial é multidisciplinar! Ou seja, basicamente, as áreas envolvidas no contexto dos seus estudos são: conversão eletromecânica de energia, processamento e análise de sinais digitais e analógicos, sistemas de controle, física de estado sólido, eletrônica analógica, eletromagnetismo, eletrônica de potência, circuitos elétricos, máquinas elétricas e instrumentação industrial.



Na literatura, existem diversas definições de eletrônica industrial! Porém gostaria de definir essa importante área do conhecimento que é a eletrônica industrial, ou de potência, da seguinte maneira: é a tecnologia e a ciência aplicadas aos conversores estáticos de energia elétrica, objetivando, com isso, a conversão e o controle de potência em sistemas industriais.

Nesta seção iremos conhecer um pouco sobre os principais dispositivos semicondutores utilizados na eletrônica industrial. O objetivo é apresentar algumas características técnicas e operacionais de cada dispositivo para que você compreenda o seu funcionamento e a sua importância no contexto industrial. É importante ressaltar que não se pretende abordar, nesta lição, a teoria dos semicondutores, explicando o que é e como se formam os semicondutores tipo N (elétrons) e tipo P (lacunas), bem como polarização (direta e reversa) de diodos e de transistores bipolares, tendo em vista que esse conhecimento prévio vem dos estudos da eletrônica analógica e da física de estado sólido. Portanto, em caso de dúvidas, é necessário fazer uma breve revisão sobre esses assuntos, ok? Então, mãos à obra e bons estudos!

Diodos semicondutores de potência

Os diodos semicondutores de potência são construídos com silício (elemento semicondutor do grupo IV da tabela periódica). A partir dos semicondutores tipo N e tipo P, é possível construir inúmeros dispositivos, entre eles o diodo semicondutor. Esse dispositivo é constituído, basicamente, por uma junção PN, ou seja, pela junção física de um material tipo P (no qual os portadores majoritários da corrente elétrica são as lacunas, e os minoritários são os elétrons) e de um material tipo N (no qual os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas).



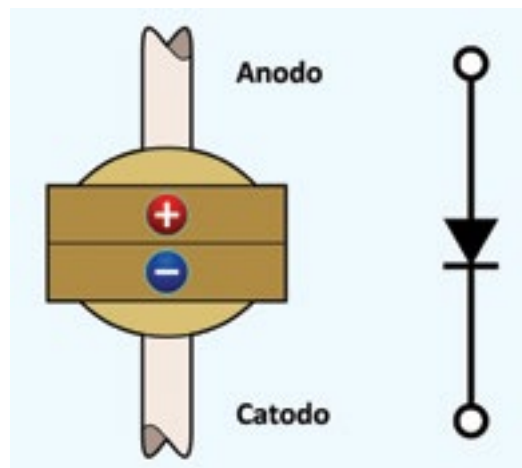
Vale lembrar que, na junção, existe a combinação de elétrons (N) e de lacunas (P), criando com isso uma barreira de potencial da ordem de 0,6 volts. Em diodos de potência, esse valor pode ser da ordem de 2 volts, tendo em vista que eles suportam maiores níveis de corrente e de tensão elétrica. É importante salientar, ainda, que, na estrutura interna do diodo de potência, existe uma terceira camada, chamada de N extra, a qual possibilita corrente e tensão elétricas mais elevadas. Muito interessante, não é?

Dicas

Existem diversos fabricantes (ou revendedores) que disponibilizam catálogos para consultar as características técnicas e operacionais dos diodos semicondutores de potência. Não cabe aqui divulgar nomes de empresas, então, realize uma pesquisa pela internet e confira! É fácil encontrar esse tipo de material técnico! Vale a pena!

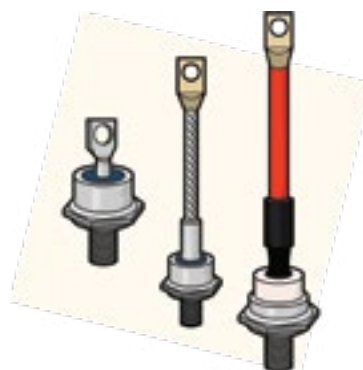
A ilustração apresenta a junção PN do diodo, bem como a sua simbologia utilizada nos esquemas de circuitos eletroeletrônicos de potência. Confira:

Estrutura e simbologia do diodo de junção



Em eletrônica de potência, os diodos semicondutores podem ser considerados como chaves comutadoras, podendo estar no estado fechado, conduzindo corrente elétrica, ou no estado aberto, bloqueado (sem corrente elétrica). A ilustração apresenta alguns tipos de diodos comerciais de potência. Observe:

Diodos de potência comerciais





Saiba mais

Você sabia que o silício é muito utilizado na produção de microprocessadores, circuitos integrados, diodos, transistores e tiristores? Além disso, o silício é um mineral vital para o nosso organismo, pois ele mantém as juntas e os ossos mais fortes. Basicamente, está presente no corpo humano na forma de um derivado de ácido silícico ou silanate. O que achou? Muito interessante, não é?



Eletrizando conhecimento

Analisando as alternativas, assinale aquela que se refere à formação do diodo semicondutor de potência.

- a) São formados pela junção PN.
- b) São formados pela junção PNP.
- c) São formados pela junção NPN.
- d) São formados pela junção PNPN.

Comentário: se você pensou na alternativa “a”, está certo! Parabéns! A partir dos semicondutores tipo N e tipo P, é possível construir-se inúmeros dispositivos, entre eles o diodo semicondutor de potência. Esse dispositivo é constituído, basicamente, por uma junção PN, ou seja, pela junção física de um material tipo P e de um material tipo N.

Transistores de potência

Inventado em 1947 nos laboratórios da Bell Telephone (EUA) por Walter Houser Brattain, William Bradford Shockley e John Bardeen, o transistor (do inglês *TRANS*fer *reSISTOR*) é um dispositivo eletrônico amplamente utilizado em circuitos de potência.

Os transistores de potência apresentam características de chaveamento, tendo em vista que são utilizados em circuitos de potência como dispositivos de controle, podendo ser divididos, basicamente, nas seguintes categorias (MALVINO, 1995):

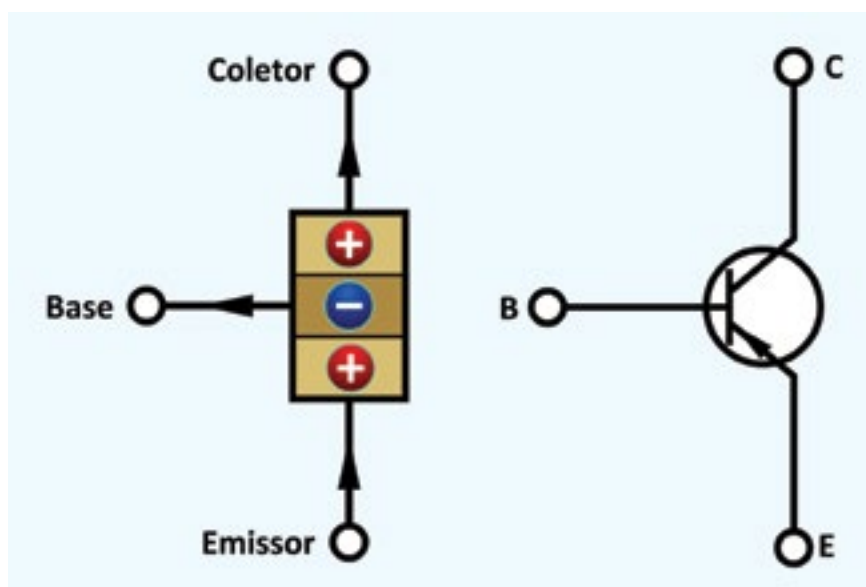
- transistor de junção bipolar (BJT);
- transistor de efeito de campo de metal-óxido (MOSFET);
- transistor bipolar de porta isolada (IGBT).

Importante

Esses transistores são considerados como chaves ideais em técnicas de conversão e de controle. Na prática, os transistores apresentam certas limitações e são restritos a algumas aplicações. Portanto, antes de adquirir esse dispositivo, torna-se necessário conhecer as suas especificações técnicas por meio de catálogos (*datasheets*). As características técnicas e operacionais dos transistores de potência serão estudadas no decorrer do nosso curso. Aguarde!

A ilustração apresenta a estrutura de um transistor PNP, bem como a sua simbologia. Na estrutura do dispositivo, C é o coletor, B é a base, e E é o emissor. Na simbologia, temos as conexões de base, coletor e emissor. Observe:

Estrutura física e simbologia do transistor bipolar de junção tipo PNP

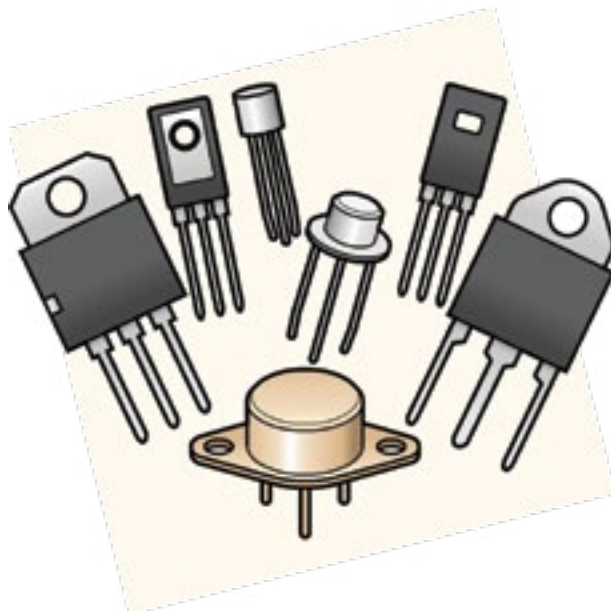


Malvino (1995) apresenta, com muita propriedade, todos os tipos e características das configurações, das polarizações e dos equacionamentos para os cálculos das tensões, das correntes, das potências e dos ganhos do transistor bipolar de junção. Vale a pena conferir essa revisão! Não perca

esta oportunidade!

Em eletrônica de potência, os transistores podem ser utilizados como chaves comutadoras ou como amplificadores de sinais (potência). A ilustração apresenta alguns tipos de transistores de potência:

Transistores bipolares de junção comerciais



Saiba mais

"Mais conhecido por ser o material básico da indústria eletroeletrônica, na composição de circuitos integrados ou microprocessadores, presentes em todos os equipamentos eletrônicos, como computadores e celulares, o silício agora está também presente na agricultura brasileira para controlar pragas, aumentar a produtividade e melhorar a qualidade de produtos agrícolas. Um dos estudos mais recentes no Brasil foi realizado por uma equipe de pesquisadores coordenada pelo engenheiro agrônomo Carlos Alexandre Costa Crusciol, professor do Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista (Unesp), na cidade de Botucatu. Eles finalizaram, em maio de 2017, um experimento que mostrou os benefícios da aplicação de silício na cultura de batata, incorporando o elemento químico ao solo por meio da adubação" (FILGUEIRAS, 2007).



Eletrizando conhecimento

Analisando as alternativas, assinale aquela que se refere ao transistor de potência.

- a) Transistores de potência são dispositivos que armazenam energia elétrica.
- b) São dispositivos de proteção de circuitos elétricos.
- c) Transistores de potência são formados pela junção PN.

d) Transistores de potência são dispositivos de chaveamento e de controle de potência.

Comentário: se você pensou na alternativa “d”, está certo! Parabéns! Os transistores de potência são considerados como chaves ideais em técnicas de conversão e de controle de potência.

Tiristores

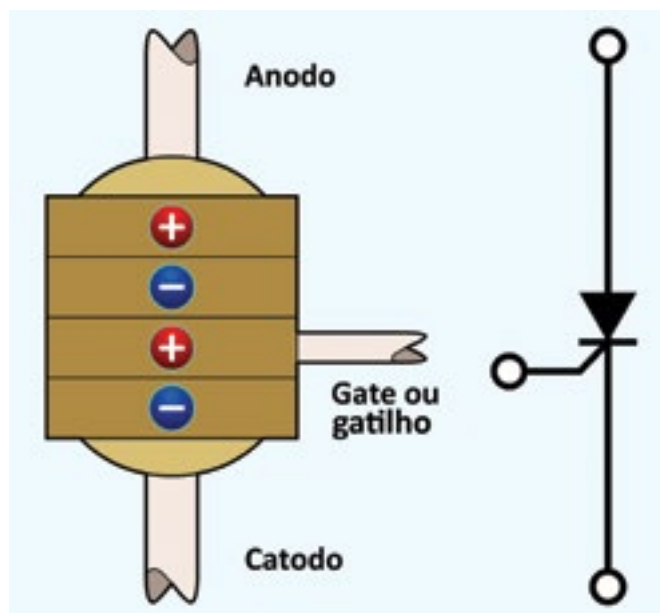
O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNPN (junção PNPN), com um terceiro terminal chamado *gate* (gatilho / disparo). Para se ter uma ideia, o tiristor pode suportar tensões da ordem de 1,8 kV e correntes elétricas em torno de 200 A. Muito interessante, não é? O tiristor mais difundido em eletrônica industrial é o SCR (retificador controlado de silício).

Dicas

Da mesma forma que os diodos e os transistores de potência, existem diversos fabricantes (ou revendedores) que disponibilizam catálogos para consultar as características técnicas e operacionais dos tiristores de potência. Não cabe aqui divulgar nomes de fabricantes! Faça uma pesquisa pela internet e confira! Vale a pena!

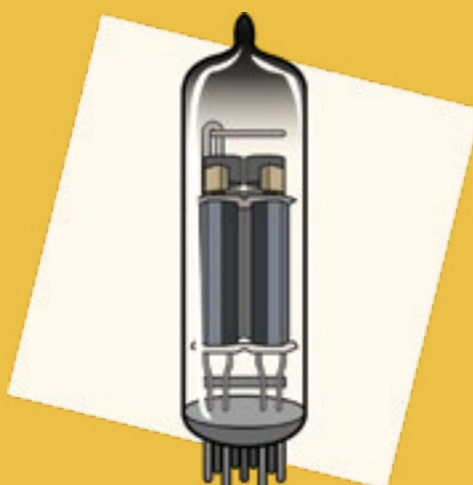
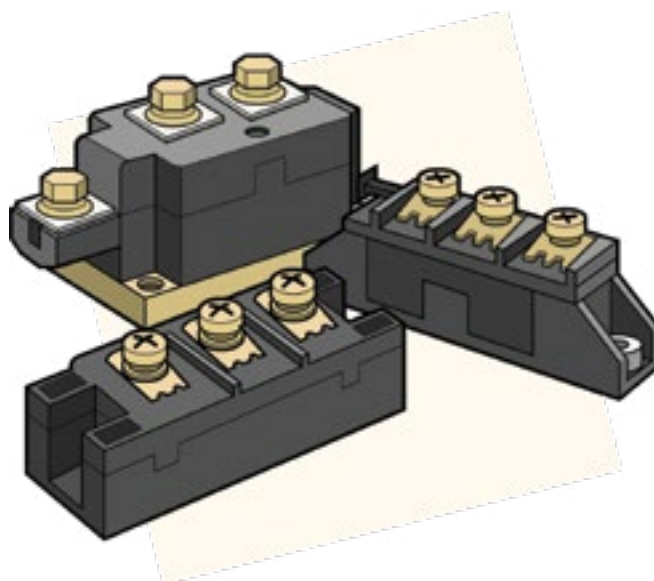
A ilustração apresenta a estrutura física e a simbologia do tiristor de junção PNPN. Observe que existe um canal de *gate*, também conhecido como disparo ou gatilho, para controlar o período de condução de corrente no tiristor. É por meio desse canal que injetamos o sinal (impulso) de disparo do tiristor.

Estrutura física e simbologia do tiristor de junção PNPN



Já a próxima ilustração apresenta alguns módulos comerciais de tiristores. Observe:

Módulos comerciais de tiristores



Dicas

Você sabia que, antes do transistor, os equipamentos elétricos utilizam válvulas para a sua operação? Isso mesmo, válvulas! Televisores, rádios e até os radares de navios e aviões eram valvulados. A válvula aquecia muito, ocupando mais espaço do que o transistor. Por isso, nesses televisores, as imagens demoravam para aparecer na tela! Gostou da informação?



Eletrizando conhecimento

Analisando as alternativas, assinale aquela que se refere ao tiristor.

- a) Dispositivo de potência formado por três camadas – junção PNP.
- b) Dispositivo de potência formado por três camadas – junção NPN.
- c) Dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNPN.
- d) Dispositivo de potência formado por um semicondutor do tipo N.

Comentário: se você pensou na alternativa “c”, está certo! Parabéns! O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNPN (Junção PNPN), com um terceiro terminal chamado *gate* (gatilho/disparo).



Saiba mais



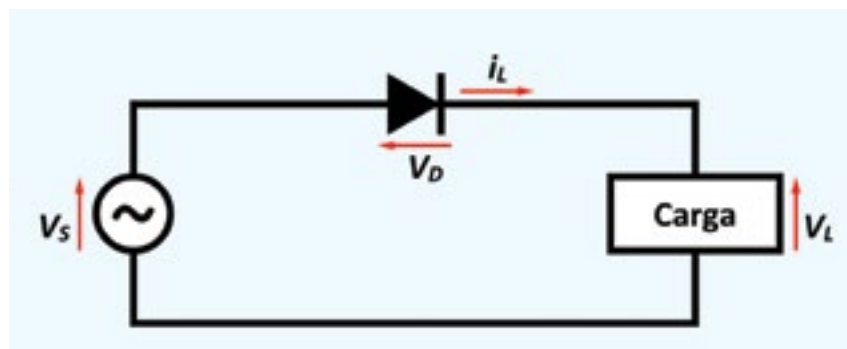
Em 6 de setembro de 1976, um incidente modificou o pensamento ocidental a respeito do avião MiG 25. O piloto soviético Viktor Ivanovich Belenko decolou da sua base em Sakharovka, na Sibéria, e ingressou no espaço aéreo japonês, na ilha de Hokkaido. Esse fato humilhou os caças F-104 Starfighter encarregados de defender o Japão. Ele pousou sem qualquer oposição no aeroporto civil de Hakodate. O pouso foi desastrado, pois a aeronave ultrapassou os limites da pista, quebrando o trem de pouso do nariz do MiG-25, impossibilitando-o de voar novamente. Após o incidente, o avião foi recolhido a um hangar na Base Aérea de Hyakuri e os americanos desmontaram cuidadosamente o aparelho. Os mitos a respeito do avião foram então revelados! Verificou-se que a estrutura do avião não tinha nenhuma liga metálica avançada. Como o MiG 25 podia ser praticamente imune às contramedidas eletrônicas americanas? A resposta a essa questão foi simples; tecnologicamente falando, usavam antigas válvulas de vácuo obsoletas, mas muito resistentes ao aquecimento das altas velocidades, ao invés de componentes transistorizados.

1.2 Retificadores

A tensão elétrica fornecida pela concessionária (CPFL, por exemplo) de energia elétrica é do tipo alternada (AC), ao passo que alguns equipamentos operam com tensão contínua (CC). Diante disso, torna-se necessário retificá-la, ou seja, convertê-la para a sua correta utilização. Essa conversão é realizada por meio de circuitos retificadores, os quais convertem CA em CC. Nessas condições, podemos dizer que retificadores, também conhecidos como conversores CA-CC, são circuitos de potência que fazem a conexão entre uma fonte CA e uma carga CC. Ou seja, convertem uma tensão CA em uma tensão CC, já que existem cargas (um motor de corrente contínua, por exemplo) que operam em tensão/corrente contínua (LANDER, 1988).

Os retificadores, ou mesmo circuitos retificadores, podem ser divididos em dois grandes grupos: de meia-onda (ou um caminho) e de onda completa (ou de dois caminhos). Já com relação às características de controle, os retificadores podem ser enquadrados nas seguintes categorias: sem controle, híbrido ou totalmente controlado. É importante ressaltar que, nos circuitos retificadores, necessitamos de diodos e tiristores de potência configurados de tal forma que atendam às necessidades das cargas instaladas. A ilustração apresenta um exemplo de circuito retificador. Este é considerado o tipo mais simples dos retificadores! Observe:

Esquema elétrico de um circuito retificador



No circuito retificador da ilustração que acabamos de ver, V_s é a tensão alternada da fonte, V_D é a tensão no diodo, i_L é a corrente de carga, e V_L é a tensão elétrica na carga.

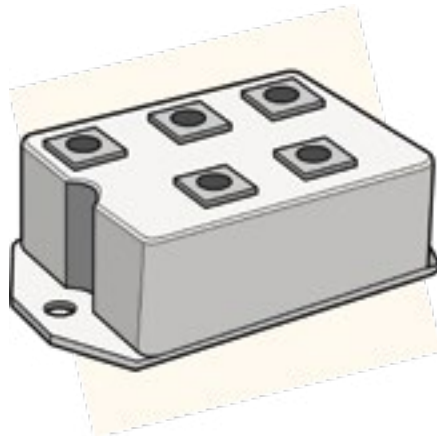
Importante

Na maior parte das aplicações em eletrônica industrial, a entrada de energia tem a forma de uma tensão alternada senoidal em 60 Hz (tensão V_s da fonte), proveniente da rede, que é convertida em tensão contínua para ser aplicada à carga instalada (tensão V_L de carga).

As aplicações dos retificadores ocorrem nos mais diversos circuitos eletrônicos, tanto em nível de sinais como em nível de potência. Todo equipamento eletrônico conectado na rede de energia elétrica possui uma fonte de alimentação que, necessariamente, possui circuitos retificadores em seu estágio de potência. Por exemplo, os retificadores a diodo são encontrados em muitas aplicações, em geral como estágio de entrada de fontes de potência, acionamento de máquinas e carregadores de baterias. Nesse caso a tensão de saída do retificador não pode ser controlada. Em algumas aplicações, tais como para acionamento de máquinas CC, alguns acionamentos de máquinas CA, controle de temperatura e sistemas de transmissão em corrente contínua, o controle da tensão de saída se faz necessário. Nessas situações, são utilizados retificadores controlados (ALMEIDA, 1996; RASHID, 1999).

A próxima ilustração apresenta uma ponte retificadora comercial (circuito retificador de onda completa). Observe:

Ponte retificadora (retificador de onda completa)



Controladores de tensão CA

Para Rashid (1999), se uma chave com tiristor for conectada entre a rede de alimentação CA (fonte de tensão) e a carga, o fluxo de potência pode ser controlado por meio da variação do valor eficaz da tensão CA aplicada à própria carga. Esse tipo de circuito de potência denominamos controlador de tensão CA. As aplicações mais comuns dos controladores de tensão CA são:

- aquecimento industrial;
- comutação de conexões de transformadores em carga;
- controle de iluminação;
- controle de velocidade de motores de indução polifásicos; e
- controle de eletroímãs CA.

Para a transferência de potência, normalmente são utilizados dois tipos de controle: o controle liga-desliga (*on-off*) e o controle do ângulo de fase.

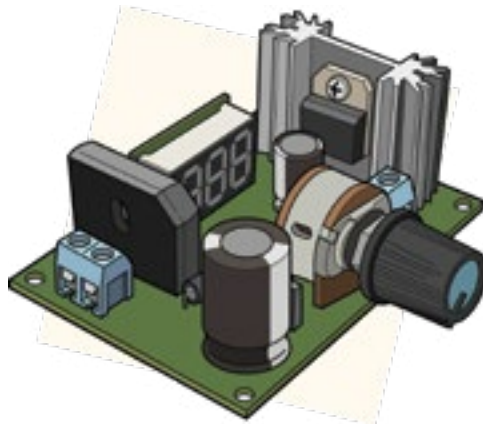
Dicas

Triacs, SCRs e outros dispositivos de potência da família dos tiristores são robustos para suportar diversos tipos de sobrecargas e até mesmo transientes; porém, existe um limite para essas condições adversas. Se não forem usados corretamente, a queima do dispositivo pode ser inevitável!



Os controladores de tensão CA também têm a sua classificação, ou seja, eles podem ser classificados em dois tipos: controladores monofásicos e controladores trifásicos. Além disso, cada um desses controladores pode ser subdividido em: controle unidirecional, ou de meia-onda; e controle bidirecional, ou de onda completa (RASHID, 1999). O estudo mais completo sobre controladores de tensão CA será abordado durante o nosso curso. A ilustração apresenta um controlador comercial de tensão CA.

Controlador comercial de tensão CA



Saiba mais

Você sabia que os controladores de tensão CA são também conhecidos como reguladores de voltagem VARIAC? Eles foram desenvolvidos para aplicações industriais e servem para variar e controlar a tensão, a potência e a corrente elétrica do circuito. Portanto, esse dispositivo de potência é muito importante no cotidiano industrial. Gostou da informação?



Inversores

Inversores são conversores estáticos que transformam tensão (ou corrente elétrica) contínua (CC) em tensão (ou corrente elétrica) alternada (CA). O processo de inversão consiste em fornecer tensão ou corrente CA na saída do inversor quando a entrada é uma tensão ou corrente CC. Por exemplo, 220 V na entrada e 9 V na saída. Para que essa inversão aconteça, é necessário utilizar, por exemplo, transistores de potência (IGBTs e MOSFETs). Esse dispositivo também pode ser utilizado como inversor de frequência. Ou seja, o objetivo é alterar a frequência da rede de energia elétrica (60 Hz) para alterar a rotação de motores elétricos (RASHID, 1999). A ilustração a seguir apresenta alguns inversores de frequência vendidos comercial-

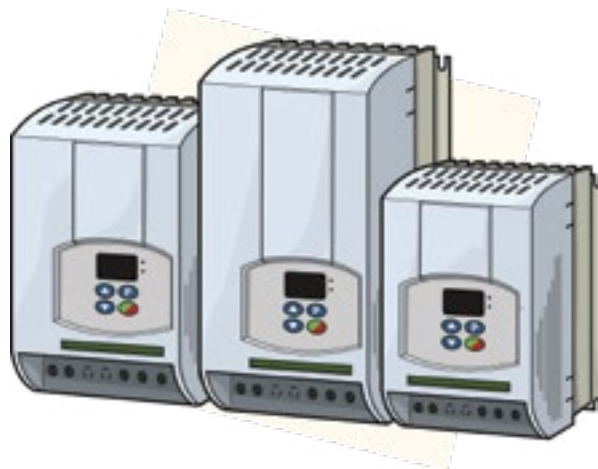


mente. Confira.

As principais aplicações dos inversores são:

- no interior de *no-breaks*, a fim de converter a energia CC da bateria para tensão e corrente CA;
- para transporte de energia elétrica em corrente contínua, já que a energia é gerada em corrente alternada e, em seguida, retificada em corrente contínua por meio de um inversor;
- para acionamento de motores elétricos;
- geração de energia eólica;
- geração de energia fotovoltaica, entre outras aplicações.

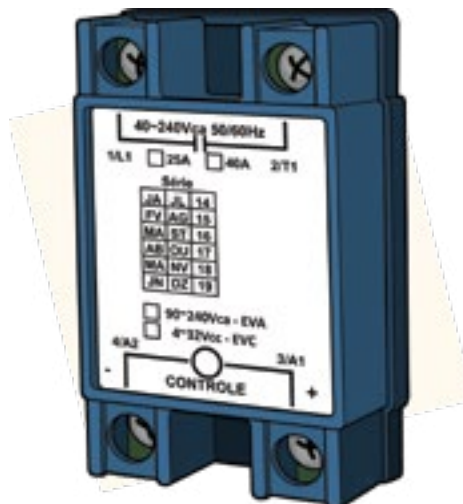
Inversores de frequência



Chaves estáticas

As chaves estáticas, também conhecidas como relés de estado sólido, foram desenvolvidas para controlar cargas elétricas, substituindo com vantagens as chaves contadoras. Com dimensões reduzidas, baixo consumo, alta velocidade de chaveamento e ausência de partes móveis, as chaves estáticas podem utilizar tanto tiristores quanto transistores de potência em sua composição física (RASHID, 1999). A ilustração apresenta um modelo comercial de chave estática. Veja:

Chave estática (relé de estado sólido)



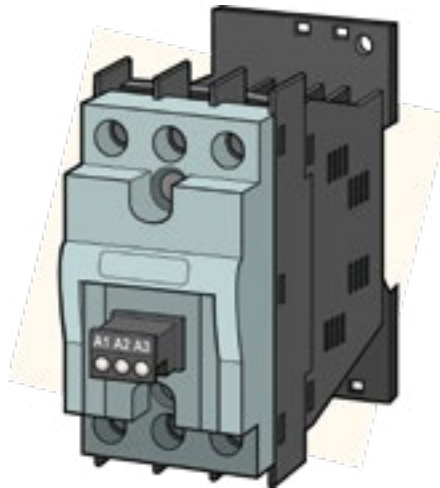
Aplicações industriais

Nas seções anteriores, tivemos a oportunidade de conhecer os principais dispositivos de potência (dispositivos eletrônicos de estado sólido) utilizados na eletrônica industrial. Observamos que cada dispositivo tem a sua importância em sistemas de controle, conversão de energia e chaveamento de sistemas de potência. Para finalizarmos o conteúdo desta lição, preferimos apresentar as aplicações industriais da eletrônica de potência em uma seção separada, tendo em vista a sua importância no contexto industrial. Vale ressaltar que algumas aplicações não se restringem a fins industriais, mas se aplicam também no âmbito do desenvolvimento tecnológico dos semicondutores e suas aplicações no cotidiano moderno.

Com base nos estudos de Rashid (1999), apresentamos a seguir algumas das mais diversas aplicações da eletrônica industrial. Confira:

- fontes de alimentação chaveadas para computadores pessoais;
- equipamentos de telecomunicações;
- instrumentação médica;
- equipamentos para controle de processos industriais;
- equipamentos militares e aeroespaciais;
- inversores para controle industrial de velocidade variável para motores;
- sistemas de energia;
- controle de propulsão para locomotivas elétricas;
- veículos elétricos;
- controle de velocidade de motores CA;
- inversores;
- redes neurais;
- aceleradores de partículas;
- alarmes;
- caldeiras;
- contadores de estado sólido;
- fontes de alimentação para aviões, radares, *lasers* e aplicações espaciais;
- fornos industriais;
- soldas;
- transmissores de rádio;
- amplificadores de áudio;
- disjuntores estáticos;
- relés de estado sólido;
- reguladores de tensão;

- partida de máquinas síncronas;
- ignição eletrônica;
- bombas e compressores;
- condicionadores de ar;
- controle de motores de indução;
- guindastes e eletroímãs, entre outras aplicações.



Eletrizando conhecimento

Assinale a alternativa que representa as definições de retificadores e de controladores de tensão CA.

- O retificador converte tensões CC em tensões CA. O controlador de tensão CC controla o fluxo de potência por meio da variação do valor eficaz da tensão CC aplicada à carga.
- O retificador converte tensões CA em tensões CC. O controlador de tensão CA controla a proteção do circuito.
- O retificador converte tensões CA em tensões CC. O controlador de tensão CA controla o fluxo de potência por meio da variação do valor eficaz da tensão CA aplicada à carga.
- O retificador converte tensões CA em tensões CC. O controlador de tensão CA converte o valor de pico da tensão CA aplicada à carga.

Comentário: se você pensou na alternativa “c”, acertou! Parabéns! Ou seja, o retificador converte tensões CA em tensões CC. Já o controlador de tensão CA controla o fluxo de potência por meio da variação do valor eficaz da tensão CA aplicada à carga.



Resumindo

Nesta lição, compreendemos o que é eletrônica industrial (eletrônica de potência). Estudamos alguns dos principais dispositivos semicondutores de potência utilizados na indústria e no cotidiano moderno, bem como vimos a importância dessa área no contexto da atividade humana. Conhecemos também algumas características técnicas e operacionais de cada dispositivo em questão.

Veja se você se sente apto a:

- explicar o que é eletrônica industrial;
- descrever cada dispositivo de potência utilizado na indústria;
- reconhecer esses dispositivos por meio de ilustrações práticas;
- descrever as características técnicas e operacionais de cada dispositivo;
- listar a importância da eletrônica industrial na indústria e no cotidiano moderno.

O que achou desse assunto? Espero que tenha compreendido! Não deixe de ampliar os seus estudos por meio de pesquisas e leituras! Faça muitos exercícios aplicativos e anote as observações que achar necessário!

Bons estudos e até a próxima lição!



Parabéns, você finalizou esta lição!

Agora responda às questões ao lado.

Exercícios

Questão 1 – Assinale a alternativa que apresenta três dispositivos semicondutores de potência utilizados na indústria.

- Resistência, diodo e MOSFET.
- Capacitor, diodo e tiristor.
- Diodo, MOSFET e tiristor.
- Tiristor, disjuntor e IGBT.

Questão 2 – Assinale a alternativa que apresenta uma das principais funções da eletrônica industrial.

- Controlar o conversor de um dispositivo de potência.
- Dimensionar dispositivos de potência.
- Controlar o fluxo de potência, por meio de dispositivos semicondutores, para alimentar cargas industriais, como um motor elétrico.
- Controlar o fluxo de energia elétrica em um processo industrial.

Questão 3 – Sabemos que a eletrônica industrial (ELI) é multidisciplinar. Diante disso, assinale a alternativa que apresenta quatro áreas envolvidas nos estudos da ELI.

- Física geral, máquinas elétricas, sistemas de controle e instrumentação industrial.
- Física de estado sólido, máquinas elétricas, sistemas de controle e instrumentação industrial.
- Física de estado sólido, máquinas elétricas, sistemas de controle e fluxo de carga.
- Física de estado sólido, equipamentos, sistemas de controle e sistemas de comunicação de informações.

Questão 4 – Assinale a alternativa que representa a junção PN.

- a) Junção física de um material tipo N (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são as lacunas, e os minoritários são os elétrons) e de um material tipo P (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas).
- b) Junção física de um material tipo P (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas) e de um material tipo N (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas).
- c) Junção física de um material tipo N (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são as lacunas) e de um material tipo P (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas).
- d) Junção física de um material tipo P (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são as lacunas, e os minoritários são os elétrons) e de um material tipo N (em que os portadores majoritários da corrente elétrica são os elétrons, e os minoritários são as lacunas).

Questão 5 – Em eletrônica de potência, existem dispositivos que podem ser considerados como chaves comutadoras, podendo estar no estado fechado ou conduzindo corrente elétrica ou no estado aberto (bloqueado). Assinale a alternativa que apresenta dois desses dispositivos.

- a) Diodo e transistor.
- b) Transistor e inversor.
- c) Diodo e inversor.
- d) Transistor e resistor.

Questão 6 – Quais são os nomes estabelecidos para os terminais de um diodo semicondutor de potência? Assinale a alternativa correta.

- a) Junção tipo P e tipo N.
- b) Anodo e catodo.
- c) Terminal tipo N e terminal tipo P.
- d) Material do tipo P e material do tipo N.

Questão 7 – Na estrutura de um transistor bipolar de junção:

- a) PN é a junção principal de sua estrutura.
- b) B é a base, C é o coletor, e E é o emissor.
- c) PNP é a única estrutura possível para a sua operação.
- d) B é a base, C é o emissor, e E é o coletor.

Questão 8 – O transistor bipolar de junção pode operar com um:

- a) conversor de sinal.
- b) amplificador de sinal.
- c) receptor de sinal.
- d) emissor de sinal.

Questão 9 – Uma das alternativas a seguir apresenta o nome de um documento muito utilizado na consulta das condições técnicas e operacionais de um dispositivo. Assinale-a.

- a) Memorial descritivo.
- b) Manual de construção.
- c) Manual de funcionamento.
- d) *Datasheets*.

Questão 10 – Assinale a alternativa que apresenta a definição de um tiristor.

- a) O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNP (junção PNP), com um terceiro terminal chamado porta.
- b) O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNP (junção PNP), com um terceiro terminal chamado dreno.
- c) O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNP (junção PNP).
- d) O tiristor é um dispositivo de potência de quatro camadas semicondutoras do tipo PNP (junção PNP), com um terceiro terminal chamado *gate* (gatilho / disparo).