



# Equipamentos de FA para iniciantes (Inversores)

Esta é uma rápida descrição geral de Inversores para iniciantes.



**Introdução**

**Objetivo do curso**



Este é um curso introdutório criado para fornecer a iniciantes uma oportunidade de aprender o básico sobre Inversores.

**Introdução****Estrutura do curso**

Os capítulos deste curso serão apresentados da seguinte forma:  
Recomendamos que você inicie pelo Capítulo 1.

**Capítulo 1 - O que são Inversores?**

Obtenha conhecimentos básicos sobre Inversores: função, aplicações práticas, estruturas, vantagens.

**Teste Final**

Pontuação para aprovação: 60% ou mais.

**Introdução****Como utilizar esta ferramenta de e-learning**

Ir para a próxima página		Ir para a próxima página.
Voltar para a página anterior		Voltar para a página anterior.
Mover-se para a página desejada		O "Índice" será exibido, permitindo que você navegue até a página desejada.
Sair do curso		Sair do curso. A janela, como a tela de "Conteúdo", e o curso serão fechados.

**Precauções de segurança**

Antes de usar o equipamento, leia as precauções de segurança nos manuais correspondentes e siga as informações importantes de segurança contidas neles.

## Capítulo 1 O que é um inversor?

### 1.1 A função de um Inversor

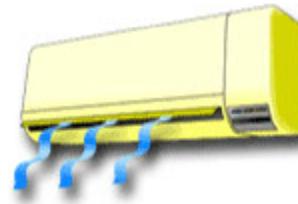
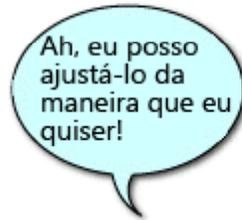
Nos últimos anos, aumentaram os produtos eletrônicos de consumo que usam o termo "inversor" em seus nomes. Por exemplo, a maioria dos equipamentos de ar condicionado disponível hoje é "equipamento de ar condicionado inversor". Os equipamentos de ar condicionado inversor funcionam de modo a ajustar a temperatura, usando a potência de um motor para circular um refrigerante.

No entanto, um equipamento de ar condicionado pode não ser considerado muito útil se, por exemplo, as duas únicas opções disponíveis for ligá-lo na potência máxima ou desligá-lo completamente.



**1.1****A função de um Inversor**

Você pode ajustar o equipamento de ar condicionado para a temperatura desejada se você conseguir controlar de forma flexível a velocidade de rotação do motor.



Se for possível alterar de maneira flexível a velocidade de rotação do motor

Resumindo, um inversor utilizado nesse tipo de situação é um dispositivo que permite que você altere, de maneira flexível e contínua, assim como eficiente, a velocidade de rotação de um motor.

## 1.1

## A função de um Inversor

No caso dos inversores de uso industrial, o tipo de motor utilizado geralmente é um motor trifásico de indução de gaiola de esquilo. (Abaixo, esse tipo de motor será chamado de motor trifásico ou simplesmente de motor, para simplificação.)

[Descrição geral de Inversores]



Os inversores alteram a frequência da fonte de alimentação fornecida ao motor.

$$\text{Velocidade de rotação do motor} = \frac{120 \times \text{Frequência da fonte de alimentação [Hz]}}{\text{Número de polos}} \times (1-S) \text{ [r/min]}$$

Velocidade de rotação síncrona ( $N_0$ )	$N_0 = (120 \times \text{Frequência da fonte de alimentação}) / \text{Número de polos}$
Número de polos	Determinado pela configuração do motor. Ex.: 4P é usado para indicar um motor de 4 pólos.
Escorregamento (S)	Durante a operação nominal, o S é geralmente de 0,03 a 0,05. Quando o motor está parado, o S é equivalente a 1.

A velocidade de rotação de um motor geralmente é determinada pela frequência da fonte de alimentação transmitida para o próprio motor e pelo número de polos que o motor tem.

O número de polos de um motor não pode ser alterado de forma flexível ou contínua.

Por outro lado, mesmo que a frequência da fonte de alimentação fornecida por uma concessionária pública seja fixa (de 60 Hz ou 50 Hz para o Japão), você ainda deverá ser capaz de alterar de maneira flexível a velocidade de rotação do motor se conseguir uma maneira flexível de ajustar a frequência transmitida para o motor.

Um inversor é um dispositivo criado com esse objetivo: ser capaz de ajustar de maneira flexível a frequência.

[Características básicas de um motor (indução de gaiola de esquilo)]

É extremamente importante conhecer as características do motor (indução de gaiola de esquilo) que você precisará controlar para que seja possível utilizar o inversor de forma adequada.

Nós apresentaremos a seguir uma descrição geral das características básicas de inversores para ajudá-lo a entender melhor o que os inversores fazem.

### (1) Características da velocidade de rotação--Torque/Corrente

Algumas características básicas de um motor (indução de gaiola de esquilo) são o torque de velocidade de rotação de saída e a velocidade de rotação da corrente.

O torque e a corrente do motor mudam, conforme mostrado no diagrama abaixo, após a fonte de alimentação ser ligada até o momento em que o motor é iniciado → acelerado → atinge uma determinada velocidade.

A corrente é mais alta quando o motor é inicializado e começa a diminuir à medida que a velocidade de rotação aumenta. O torque aumenta conforme a velocidade de rotação aumenta, mas começa a diminuir quando a velocidade de rotação excede um determinado valor. A operação em velocidade normal começa no ponto em que o torque de carga e o torque gerado pelo motor se igualam.

## 1.1

## A função de um Inversor



## (2) Velocidade de rotação do motor

A velocidade de rotação do motor é determinada não só pelo torque de carga, mas também pelo número de polos do motor e pela frequência da fonte de alimentação aplicada.

Colocando isso em forma de equação, obtemos a expressão mostrada abaixo.

$$\text{Velocidade de rotação do motor} = \frac{120 \times \text{Frequência } f \text{ [Hz]}}{\text{Número de pólos}} \times (1-S) \text{ [r/min]}$$

→ Velocidade de rotação síncrona
→ Escorregamento

## (3) Torque nominal do motor

O torque é definido como a medida da força gerada que faz com que o motor gire.

A unidade padrão de força para o movimento linear é o newton, com o símbolo N. No entanto, como um motor gira sobre um eixo, a força gerada não se origina de um movimento linear, mas de um movimento de rotação, o torque, que é expresso em unidades de newton-metros, Nm.

O torque nominal do motor pode ser calculado utilizando a fórmula indicada abaixo:

$$\text{Torque nominal } T_m = 9550 \times \frac{\text{Potência nominal do motor } P \text{ [kW]}}{\text{Velocidade nominal de rotação } N \text{ [r/min]}} \text{ [Nm]}$$

**1.1****A função de um Inversor****(4) Escorregamento**

Quando uma carga é aplicada, a velocidade de rotação do motor é alternada (diminui para ficar inferior à) a partir da velocidade de rotação síncrona.

O escorregamento refere-se à quantidade de mudança de velocidade de rotação do motor a partir da velocidade de rotação síncrona.

$$\text{Escorregamento (S)} = \frac{\text{Número da frequência de rotação síncrona} - \text{Velocidade de rotação } N}{\text{Número da velocidade de rotação síncrona}} \times 100 [\%]$$

- O escorregamento é de 100% no start up (quando a velocidade de rotação é 0). (O escorregamento é normalmente expresso como Escorregamento 1.)  
O escorregamento está em vários pontos percentuais conforme a frequência é aumentada lentamente no inversor (o que também se refere à frequência de start up).
- O escorregamento é geralmente de 3% a 5% quando o motor está funcionando com torque normal.  
O escorregamento aumenta de acordo com o aumento do torque da carga (sobrecarga), fazendo com que a corrente do motor também aumente.
- O escorregamento torna-se negativo quando a velocidade de rotação excede a velocidade de rotação síncrona ( $N > N_0$ ).

## 1.2

## Aplicações práticas de inversores



Os inversores também são usados em aparelhos eletrônicos comuns e em outros equipamentos de consumo, como aparelhos de ar condicionado. Aqui, vamos apresentar exemplos de inversores utilizados principalmente em aplicações industriais.

1. Controle de ventiladores e bombas (volume de fluxo de ar, taxa de fluxo)
2. Controle de transporte (esteiras transportadoras, carros transportadores)
3. Controle de processamento de bobinas
4. Controle de processamento de alimentos
5. Controle de máquinas-ferramenta

Conhecer as características de carga é extremamente importante para a utilização de um inversor da forma adequada. Isso ocorre porque a concentração nas características de carga durante a formação de um método de controle otimizado para o sistema específico em uso lhe permitirá reduzir drasticamente a utilização de energia, melhorar as características de processamento e experimentar outros benefícios. Veja no diagrama abaixo características comuns de carga:

Tipo	Carga sob torque reduzido	Características da carga sob torque constante	Características da carga sob saída constante
Características	<p>Torque ↑ Saída ↑</p> <p>Frequência (velocidade de rotação) →</p>	<p>Torque ↑ Saída ↑</p> <p>Frequência (velocidade de rotação) →</p>	<p>Torque ↑ Saída ↑</p> <p>Frequência (velocidade de rotação) →</p>
Recurso	<p>Uma carga que requer um torque que é quase diretamente proporcional ao quadrado da velocidade de rotação. A quantidade de energia dinâmica necessária é quase diretamente proporcional ao cubo da velocidade de rotação.</p>	<p>Uma carga que requer um torque quase constante que é independente da velocidade de rotação. A energia dinâmica necessária diminui em proporção direta à diminuição da velocidade de rotação. (Esteira transportadora, máquina retífica e outros equipamentos)</p>	<p>Uma carga que requer um torque que é inversamente proporcional ao número de rotações do motor. (Eixo principal de máquinas-ferramenta e outras seções)</p>

## 1.2

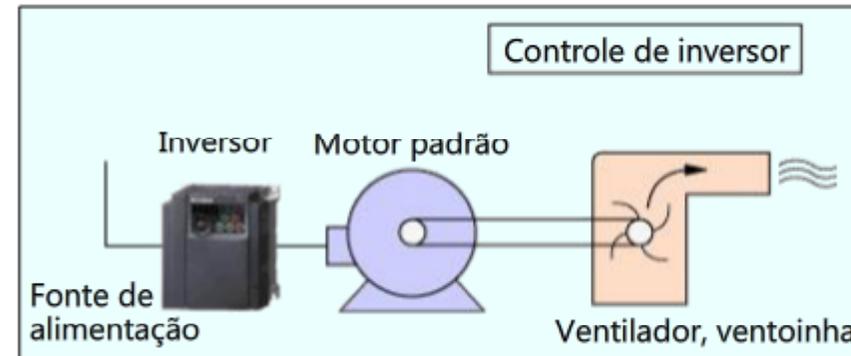
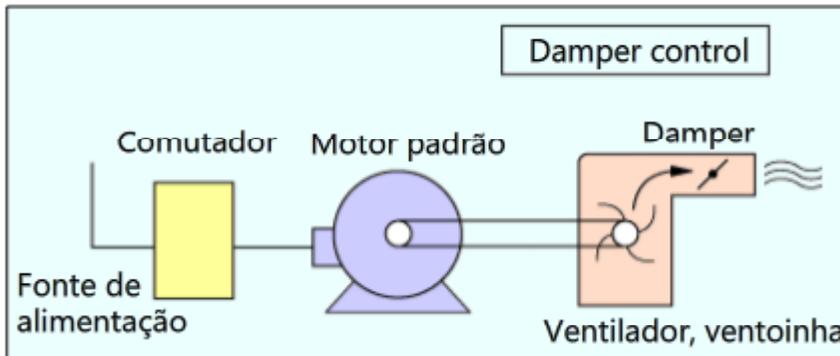
## Aplicações práticas de inversores



[Controle de ventiladores e bombas (volume de fluxo de ar, taxa de fluxo)]

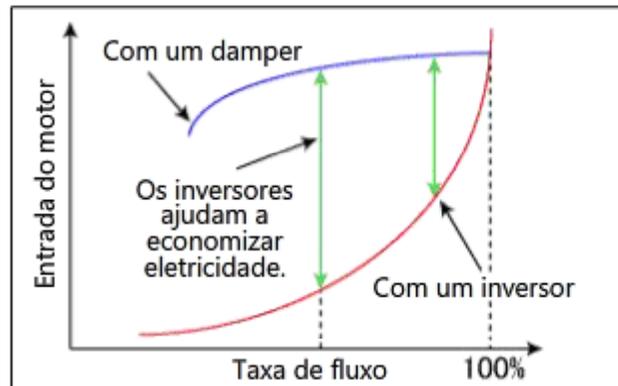
Anteriormente, era comum ajustar o volume e a taxa de fluxo de ar usando um damper ou uma válvula nos casos em que uma fonte de alimentação de mercado era utilizada para executar o ventilador e bomba.

Nesses casos, muitas vezes é difícil reduzir a quantidade de energia utilizada pelo motor, mesmo reduzindo o volume do fluxo de ar ou a taxa de fluxo.



Na condição de ventilador e da bomba, o torque de rotação é proporcional ao quadrado do número de rotações por minuto, e a quantidade de energia usada é proporcional ao cubo do número de rotações por minuto.

O uso do controle de inversor permite que o consumo de energia seja bastante reduzido, principalmente em regiões de rotação em velocidade baixa.



Como mostrado anteriormente, um inversor é um dispositivo comum de economia de energia usado para controle de ventiladores e bombas.

## 1.2

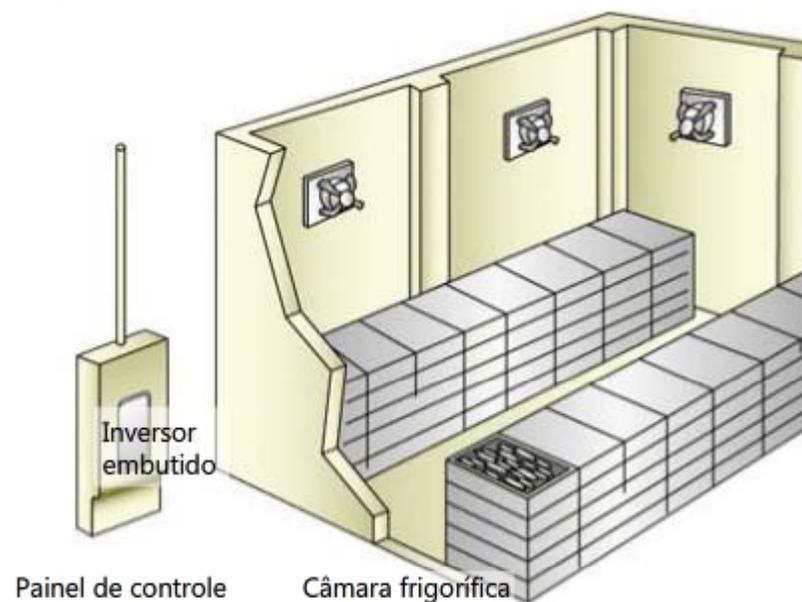
## Aplicações práticas de inversores



Ventilador:

Razões para a utilização de inversores

- Você pode obter controle de temperatura mais preciso e economizar energia ligando três ventiladores em um inversor simples em série e usando o inversor para executar os ventiladores e controlar suas velocidades de rotação.



## 1.2

## Aplicações práticas de inversores

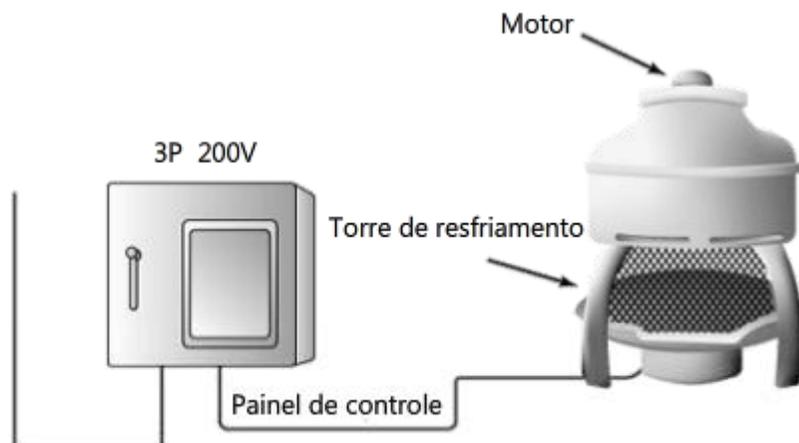


Torre de resfriamento:

**Razões para a utilização de inversores**

- Eles podem ser usados para controlar a temperatura, utilizando um sensor de temperatura. Isso ajudará a reduzir o consumo de energia.
- Eles podem ser configurados para funcionar em modo automático.
- Eles podem funcionar no modo silencioso, através do ajuste do volume de fluxo de ar. (Controle de velocidade para operação noturna)

**\*ATENÇÃO:** Instale os inversores somente em ambientes fechados.



## 1.2

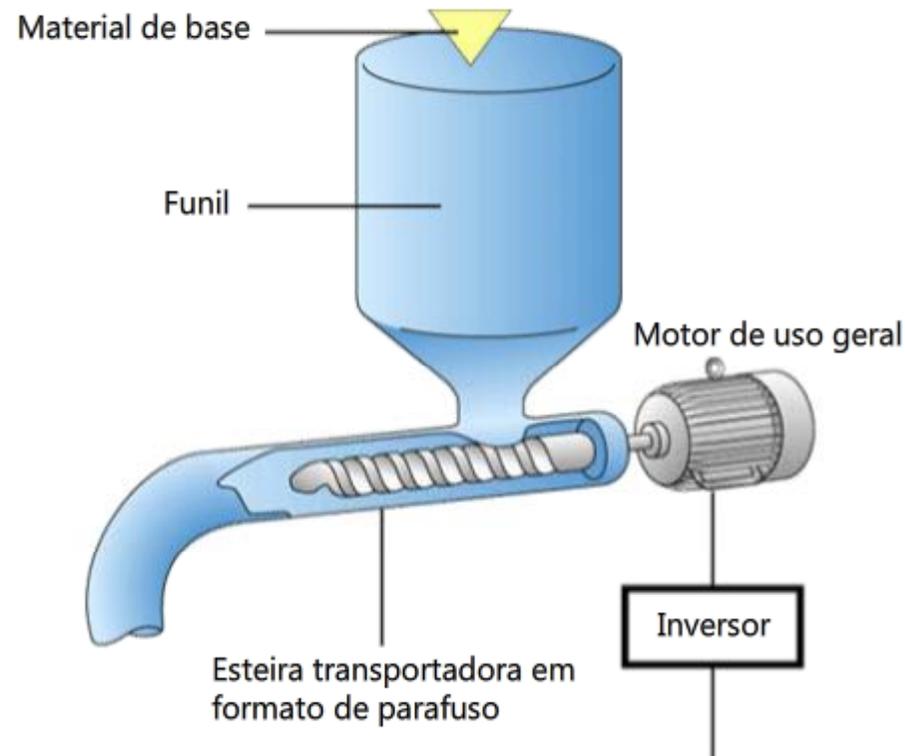
## Aplicações práticas de inversores



Esteira transportadora em formato de parafuso:

**Razões para a utilização de inversores**

- Eles permitem que você ajuste a quantidade de material de base, com a qual o dispositivo será alimentado, usando um único botão.
- Eles permitem que você ajuste a velocidade de rotação da esteira transportadora em formato de parafuso e a quantidade apropriada de material de base com a qual o dispositivo será alimentado.
- Eles podem servir para motores de uso geral externo e outras peças padrão.



## 1.2

## Aplicações práticas de inversores



[Controle de transporte (esteiras transportadoras, carros transportadores)]

Os dispositivos de transporte são elementos atualmente indispensáveis em muitos campos, à medida que as indústrias se tornam cada vez mais sofisticadas e automatizadas.

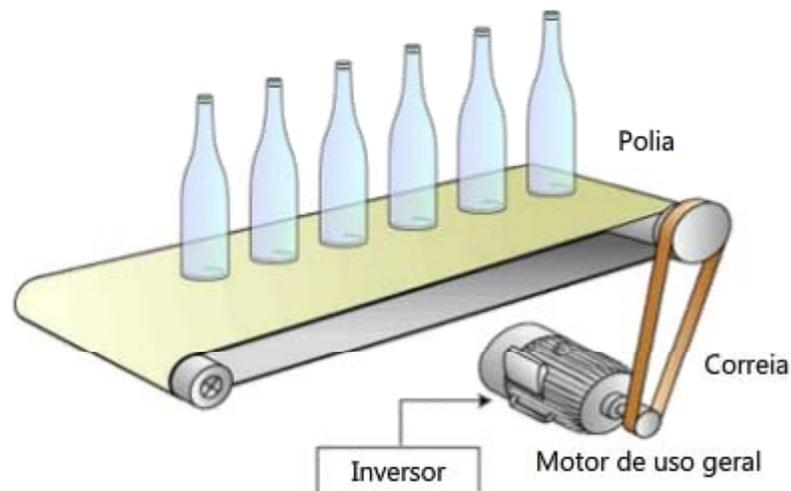
Algumas das vantagens de usar inversores com dispositivos nesse campo são as seguintes:

- Eles permitem que os dispositivos sejam simplificados e mais compactos.
- Eles tornam mais fácil definir as configurações de velocidade sem a necessidade de um sistema mecânico.
- Eles funcionam de modo a impedir que as cargas entrem em colapso devido a impactos de partidas lentas ou paradas lentas.
- Eles podem ser utilizados no controle de posição em certa medida.

Esteira transportadora de correia:

Razões para a utilização de inversores

- Eles podem ser usados como starters e stoppers suaves em uma esteira transportadora para evitar que garrafas de vidro cheias de líquido, que estejam sendo transportadas ao longo de uma esteira, tombem, quebrando ou derramando o conteúdo.
- Eles podem ser usados para melhorar a eficiência operante usando alterações na velocidade quando o tipo de garrafa de vidro muda.
- Eles podem ser usados em diferentes ambientes de acordo com o tipo de motor, seja à prova d'água, à prova de ferrugem, externo ou outros.



## 1.2

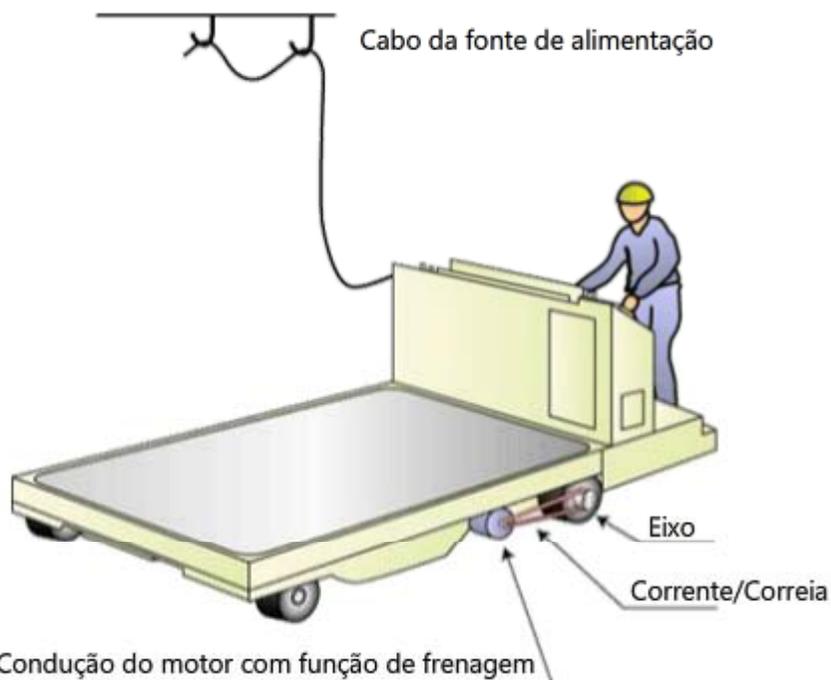
## Aplicações práticas de inversores



Acionamento de carros transportadores:

### Razões para a utilização de inversores

- Eles podem ser usados para melhorar a eficiência operante, ajustando a velocidade de transporte para a velocidade ideal de acordo com as condições de funcionamento.
- Eles podem ser usados para aumentar ou diminuir a velocidade, reduzindo o impacto de choques na máquina ou proteger o maquinário de choques.
- Eles permitem que o torque de frenagem regenerativa seja usado com inversores equipados com funções de frenagem. Um conversor regenerativo para fonte de alimentação pode ser usado para gerar potência de controle e enviar energia regenerativa de volta para a fonte de alimentação caso uma função maior de frenagem se tornar necessária.
- Eles podem ser usados em ambientes fechados, pois eles não liberam gases de combustão.



## 1.2

## Aplicações práticas de inversores



[Controle de processamento de bobinas]

A bobina aqui mencionada é um produto que consiste de longas folhas de papel, filme, borracha, tecido ou outro material disponível em rolos.

O material é enrolado em uma bobina, como uma folha alongada que é contínua do início até o fim do rolo.

A folha precisa ser processada para o ajuste da tensão do material conforme a folha é avançada ou rebobinada.

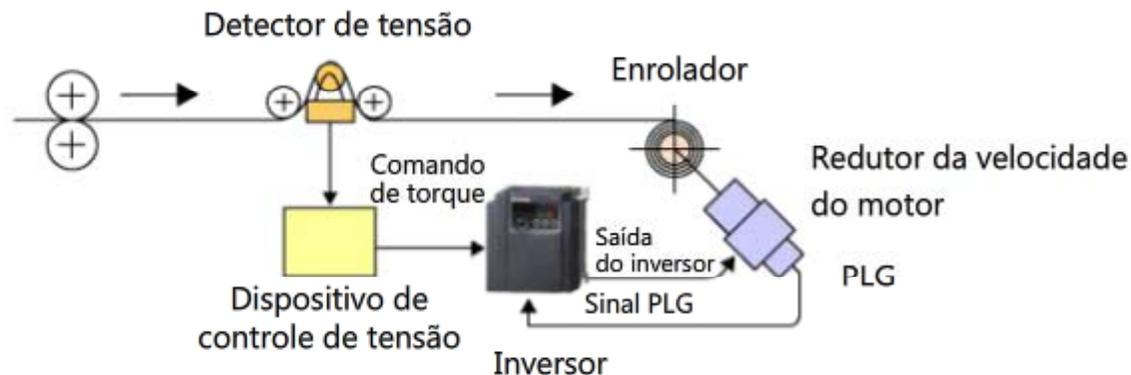
O produto estende-se do início ao fim do rolo. Um exemplo com o rolo de bobina é mostrado abaixo:

A utilização desse tipo de controle é necessária em outras áreas, como no enrolamento de linhas de energia e cabos de fibra óptica.

Enrolamento de materiais em bobinas:

### Razões para a utilização de inversores

- Eles podem ser utilizados para detectar a tensão real de uma folha de material para permitir que o material seja enrolado em bobinas com a tensão ideal.
- Eles podem ser utilizados para reduzir os efeitos de variações no material em folha devido à temperatura e umidade e as alterações no torque na máquina.
- Inversores e servos vetoriais podem ser usados para controlar o torque. No entanto, os inversores vetoriais são mais fáceis de usar nos casos em que a aceleração é, em certa medida, gradual em vez de súbita, a inércia da carga é alta e a máquina é executada continuamente.



## 1.2

## Aplicações práticas de inversores



[Controle de processamento de alimentos]

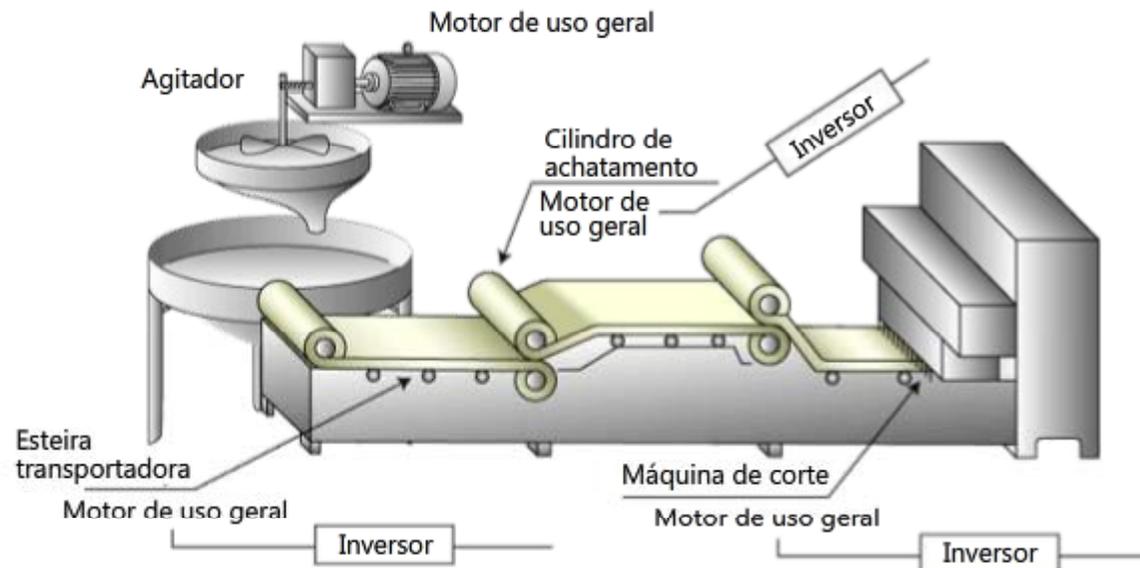
Há uma demanda crescente por maior sofisticação na fabricação de produtos alimentícios, assim como por maior qualidade e métodos mais seguros de processamento de alimentos.

Os inversores estão sendo cada vez mais usados, inclusive no processamento de alimentos devido a essa questão.

Máquina de fazer macarrão:

Razões para a utilização de inversores

- Eles podem ser utilizados para ajustar a velocidade de alimentação de um cilindro de nivelamento.
- Eles podem ser usados para ajustar de maneira flexível a espessura dos macarrões, de acordo com o tamanho desejado.
- Eles ajudam a simplificar os controles da máquina.



## 1.2

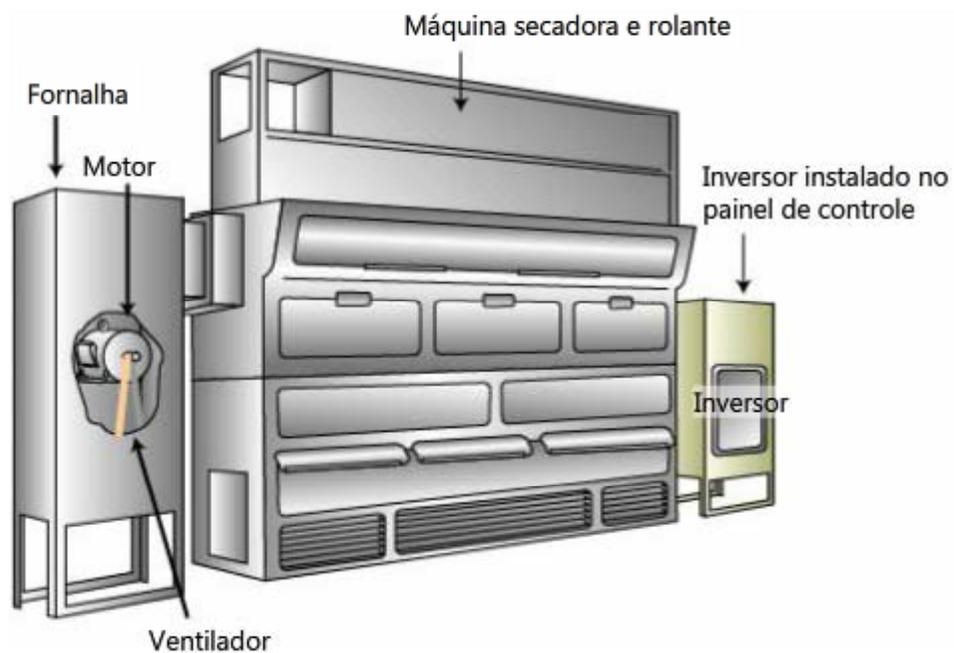
## Aplicações práticas de inversores



Máquina de processamento de chá:

Razões para a utilização de inversores

- Eles podem ser utilizados para otimizar a velocidade do ventilador da fornalha para corresponder à quantidade de chá inserida na máquina.
- Eles podem ser usados para melhorar a qualidade do chá.



## 1.2

## Aplicações práticas de inversores



[Controle de máquinas-ferramenta]

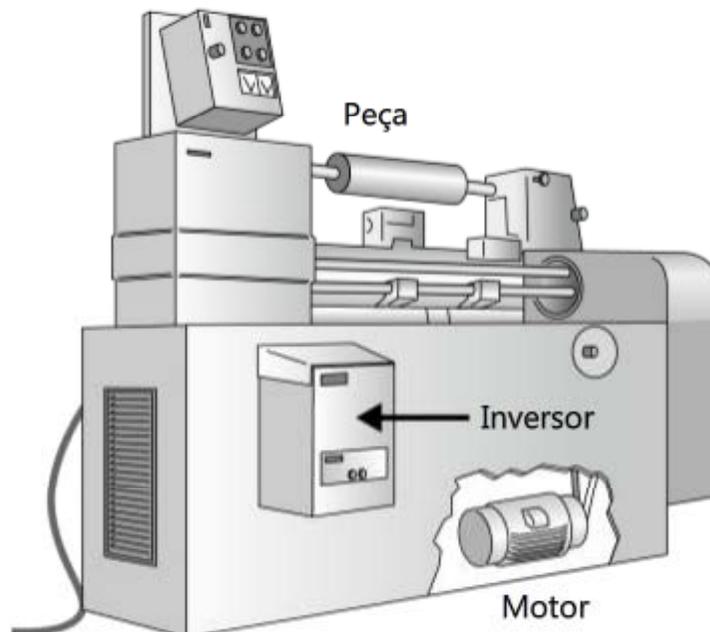
Os inversores são muitas vezes utilizados no eixo principal em máquinas-ferramenta (os eixos fixados e usados para transformar a peça de trabalho ou ferramenta).

Especificamente, quando é necessário o processamento de alta precisão, uma combinação de um inversor vetorial e de um detector de posição (encoder de pulsos) pode ser usada para parar o eixo principal em uma posição definida (função de orientação) e manter o motor a uma velocidade constante mesmo se a carga mudar, usando a realimentação de sinal do detector.

Eixo principal de condução de máquinas-ferramenta:

Razões para a utilização de inversores

- Anteriormente, a velocidade de rotação do eixo principal era controlada através da velocidade variável da polia em resposta ao tamanho da peça de trabalho. Na condução do inversor, no entanto, o mecanismo de velocidade variável pode ser simplificado para permitir que a máquina seja mais compacta.
- A precisão do processamento da peça pode ser melhorada, porque a velocidade de rotação do eixo principal pode ser precisamente ajustada.



## 1.2

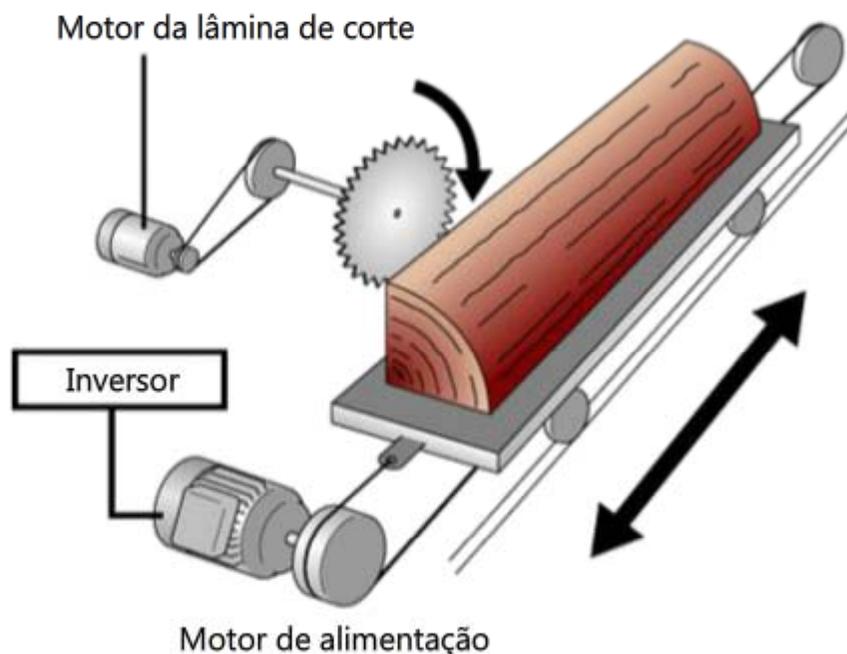
## Aplicações práticas de inversores



Maquinário para trabalho em madeira:

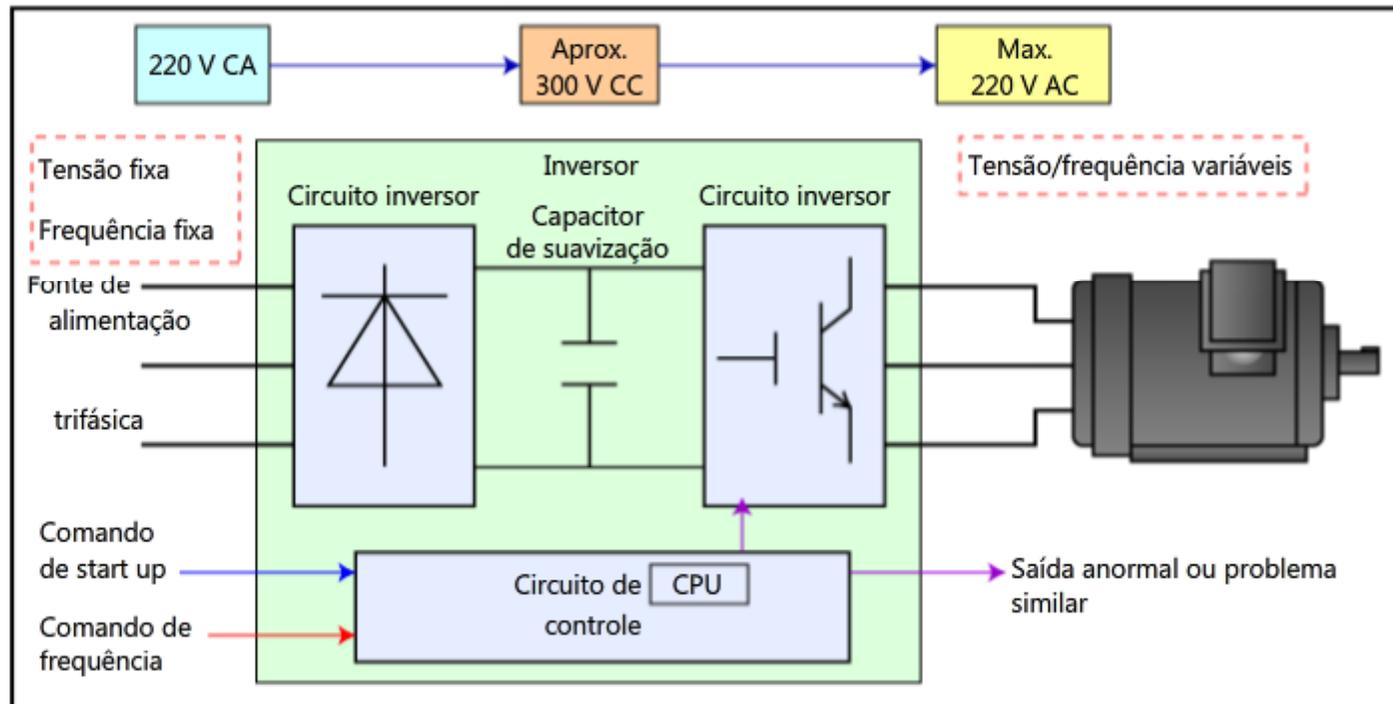
Razões para a utilização de inversores

- Eles ajudam a melhorar a eficiência do corte de madeira.
- Eles permitem que a velocidade do carro seja definida para um nível ideal, de acordo com o tipo de madeira.
- Eles podem ser usados para melhorar a eficiência operante e para parar o carro em uma posição definida.
- Eles funcionam de modo a proteger a lâmina de corte durante partidas suaves.



## 1.3 Estrutura do inversor

Veja abaixo o esquema de um inversor usado para produzir uma frequência variável a partir de uma frequência fixa fornecida por uma companhia de energia elétrica.



[Descrição geral da estrutura de um inversor]

Circuito conversor	Converte CA em CC. Utiliza um elemento semiconductor conhecido como diodo.
Capacitor de suavização	Funciona de modo a suavizar uma tensão de CC que foi convertida por um circuito conversor. Usado para produzir uma tensão de CA a partir de uma tensão de CC.
Circuito inversor	Esse dispositivo, chamado inversor, tem nome e função opostos aos de um conversor. Utilizado para alimentar um motor com uma tensão/frequência diferente da que foi produzida. Usa elementos de comutação de semiconductor (IGBTs e peças similares) que podem ser ligados e desligados.
Circuito de controle	Controla o circuito inversor

## 1.3

## Estrutura do inversor

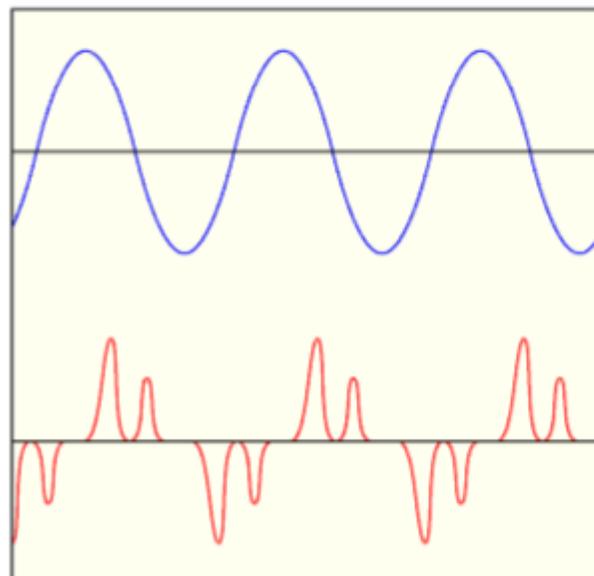
[Características de forma de onda]

Como exatamente a entrada e a saída mudam quando um inversor é usado?

- Corrente de entrada... Uma forma de onda da corrente que se parece com uma orelha de coelho [Inclui componentes de alta frequência]
- Tensão de saída... Uma forma de onda que se parece com um conjunto de tiras (retângulos) [Inclui componentes de alta frequência e componentes de picos de tensão]

Esse tipo de forma de onda é criado a partir de operações de comutação de elementos semicondutores em um inversor.

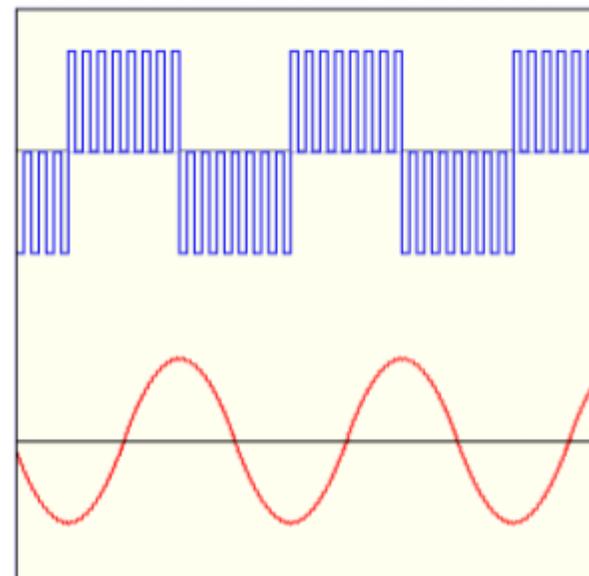
Forma de onda de entrada do inversor



Tensão de entrada

Corrente de entrada

Forma de onda de saída do inversor



Tensão de saída

Corrente de saída

## 1.3

## Estrutura do inversor



[Princípios de operação da seção do conversor]

(a) Princípios da operação de seção do conversor

<Como produzir uma tensão de CC a partir de uma fonte de alimentação (de mercado) de tensão de CA>

Vamos considerar esse princípio usando um exemplo simples de tensão monofásica CA.

Para simplificar nossa explicação, vamos usar condições de carga do resistor para este exemplo.

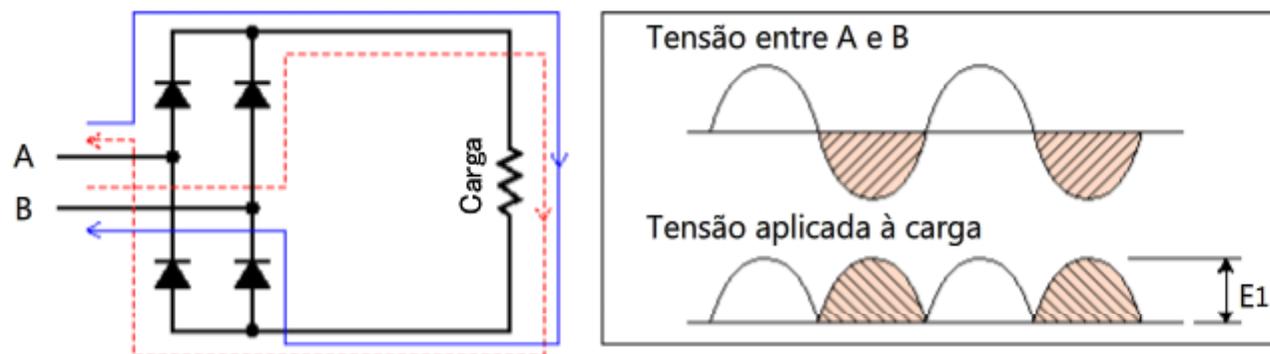
O elemento utilizado é um diodo.

Um diodo permite que a corrente flua apenas em uma direção e não em outra de acordo com a direção em que a tensão é aplicada.



Utilizando essa propriedade, quando uma tensão CA é aplicada em A e B em um circuito retificador, uma tensão também é aplicada em toda a carga na mesma direção.

Em outras palavras, a tensão CA é convertida (retificada) em uma tensão CC.



## 1.3

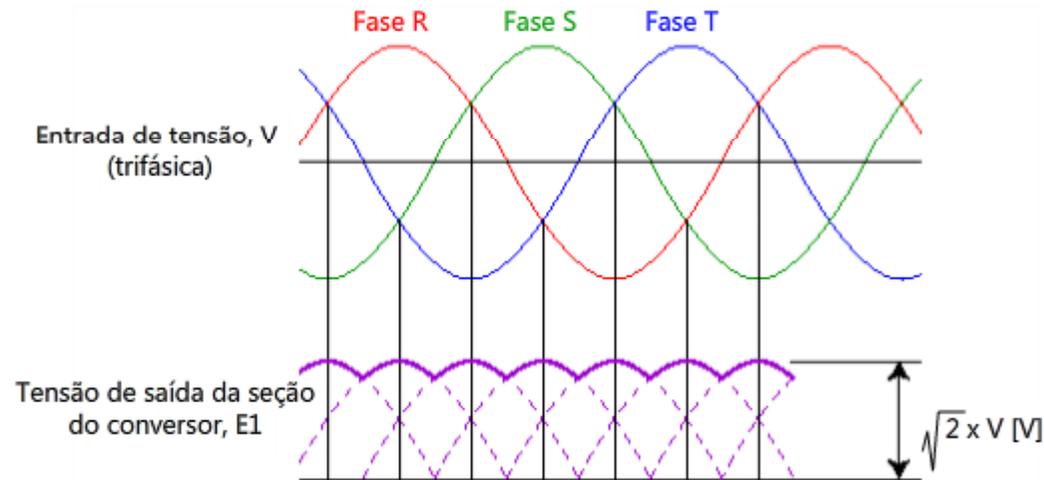
## Estrutura do inversor



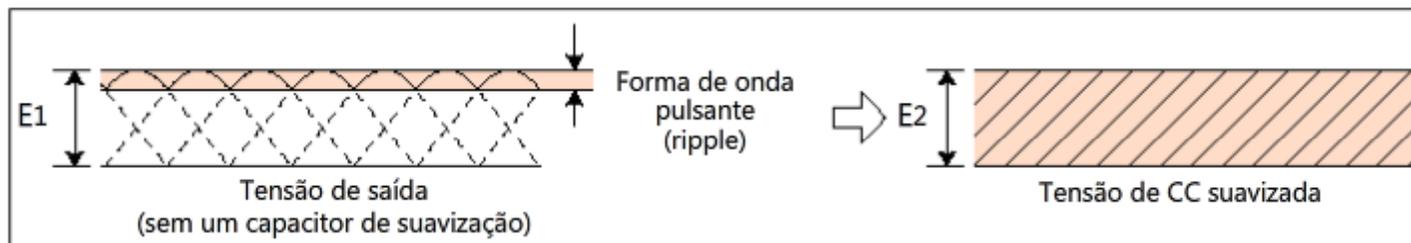
[Princípios de operação da seção do conversor]

(b) Princípios de operação da seção do conversor

Na entrada trifásica CA, uma combinação de seis diodos é usada para retificar a forma de onda da fonte de alimentação CA para produzir uma tensão de saída como a tensão mostrada no diagrama abaixo.



(c) Princípios operantes do circuito de suavização



## 1.3

## Estrutura do inversor



[Princípios de operação da seção do conversor]

(d) Circuito de limite de corrente de partida

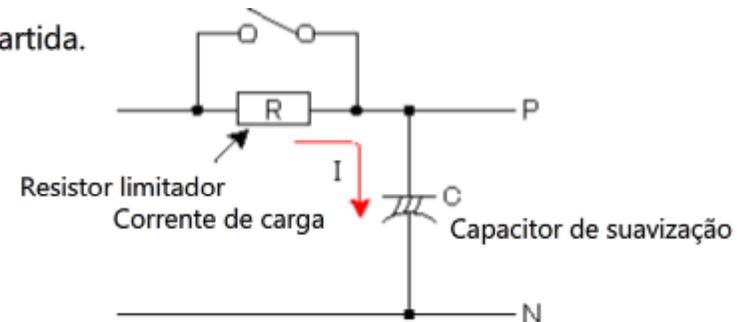
Uma explicação dos princípios subjacentes à retificação foi fornecida usando uma carga de resistor, mas, em aplicações reais, um capacitor de suavização é usado como a carga.

Uma alta corrente de partida flui através do circuito no instante que a tensão é aplicada para carregar o capacitor.

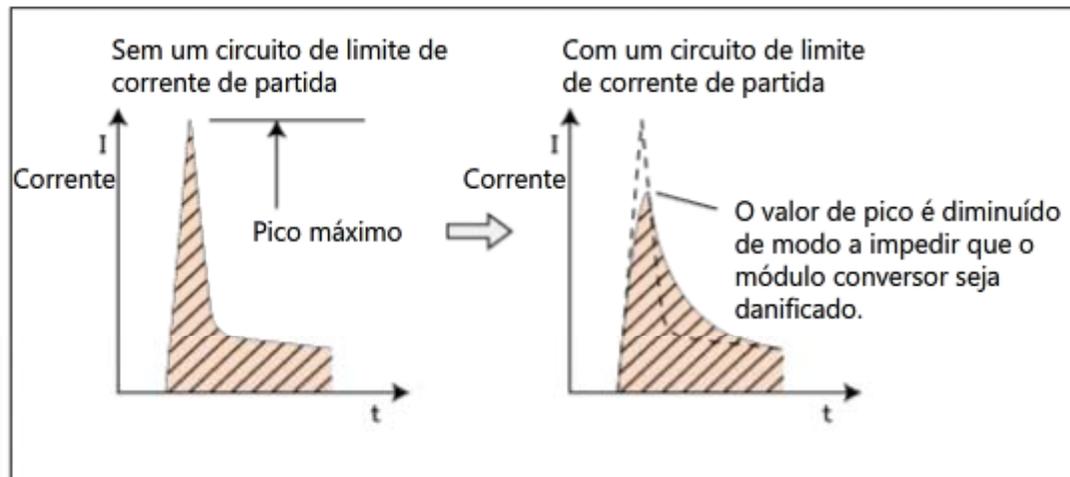
Para impedir que o diodo retificador seja danificado devido a essa alta corrente de partida, um resistor é inserido no circuito em série para suprimir a corrente de partida por um curto período de tempo após a alimentação ser ligada.

Após ter servido ao seu propósito, o resistor entra em curto-circuito em seus terminais para produzir um circuito que contorne o resistor.

Esse circuito é conhecido como circuito de limite de corrente de partida.



Se um circuito de limite de corrente de partida for usado, o valor de pico de corrente pode ser diminuído para evitar que o módulo conversor seja danificado.



## 1.3

## Estrutura do inversor

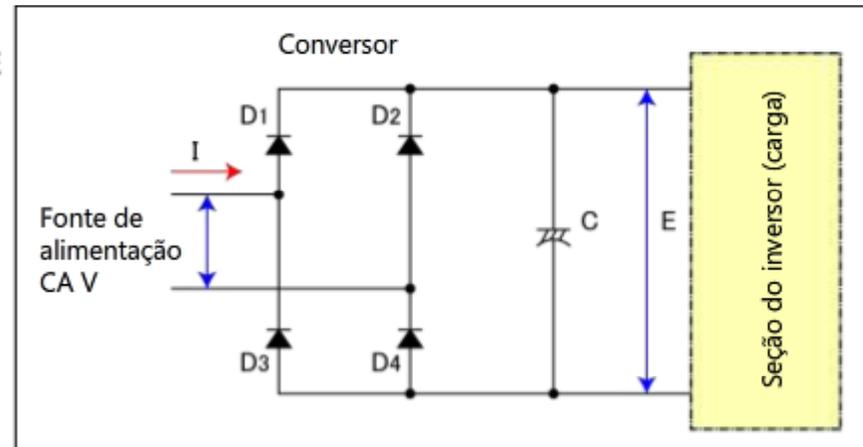
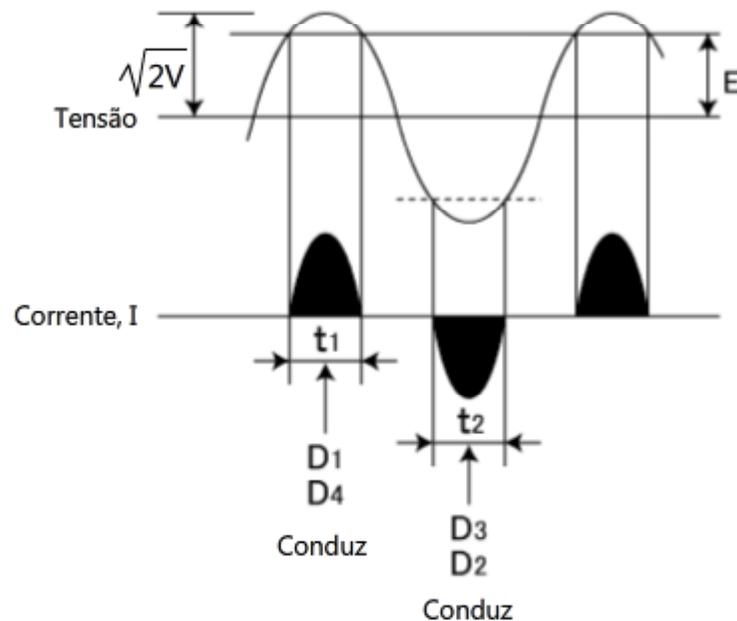


[Princípios de operação da seção do conversor]

(e) Forma de onda da corrente de entrada com carga do capacitor

Uma explicação dos princípios subjacentes à retificação foi fornecida usando uma carga de resistor, mas, em aplicações reais, um capacitor de suavização é usado como a carga.

A forma de onda da corrente de entrada, nesse caso, ocorre apenas quando a tensão CA é maior do que a tensão CC. Isso faz com que a forma de onda seja uma onda distorcida, como mostrado no diagrama, e não uma onda senoidal.



## 1.3

## Estrutura do inversor



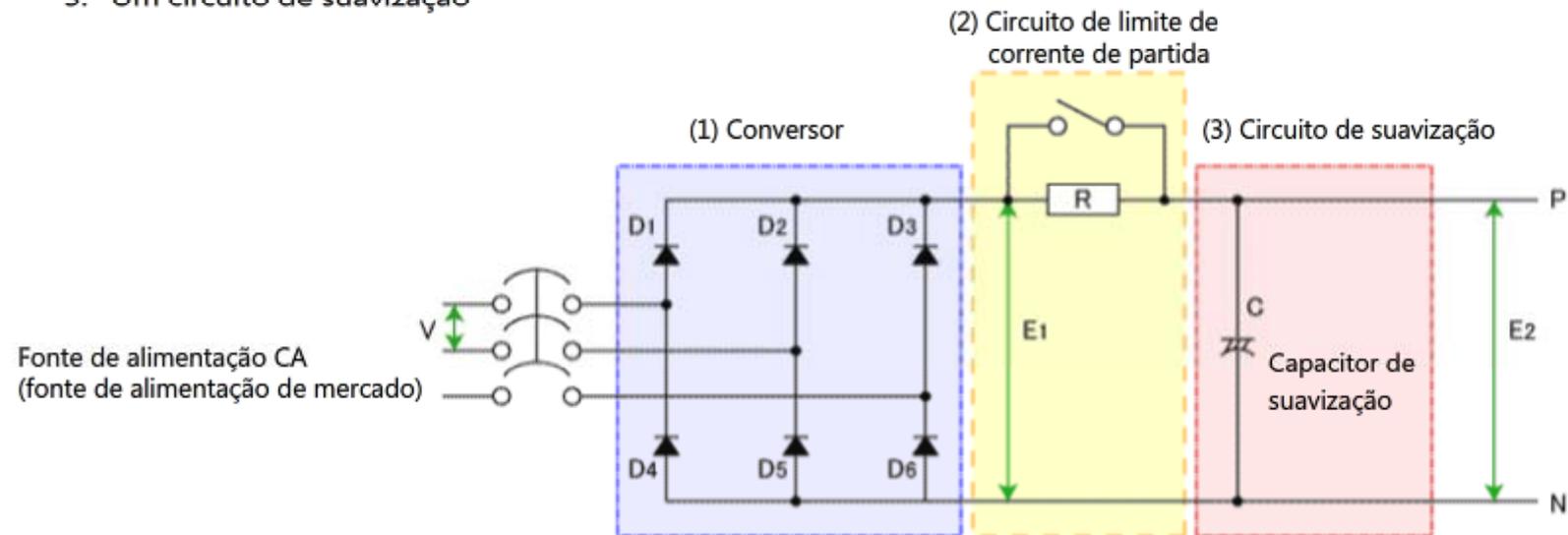
[Princípios operantes da seção do conversor]

<Resumo>

Princípios do conversor

Como descrito acima, a seção do conversor é constituída da seguinte forma:

1. Um conversor
2. Um circuito de limite de corrente de partida
3. Um circuito de suavização



## 1.3

## Estrutura do inversor

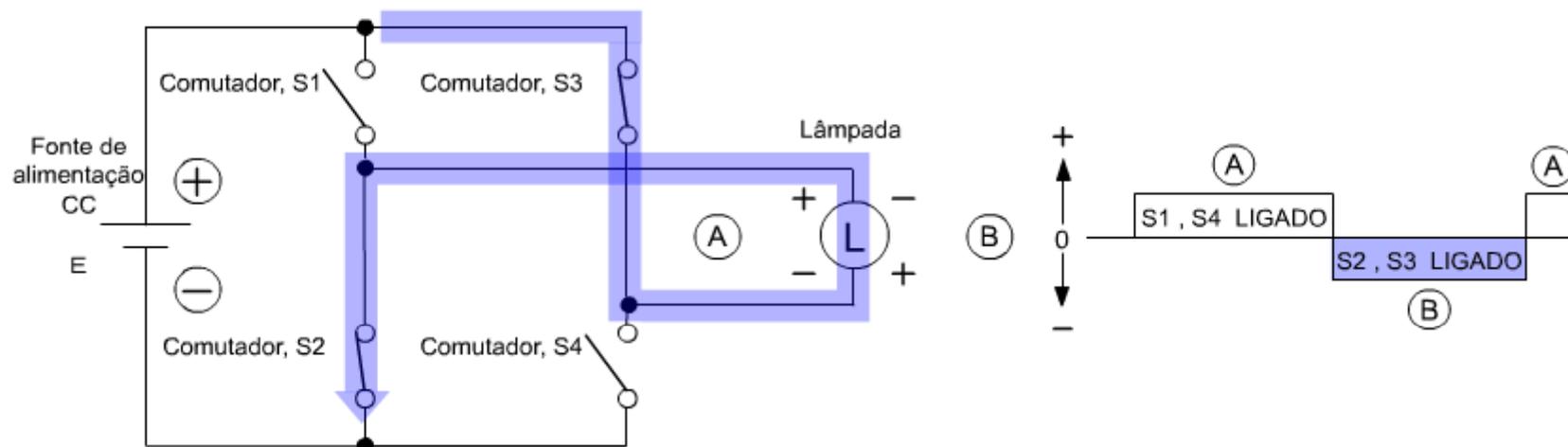


[Princípios de operação da seção do inversor]

(a) Como você pode obter tensão CA a partir de tensão CC?

Vamos considerar esse princípio usando um exemplo simples de tensão monofásica CA.

Vamos descrever como isso funciona com o exemplo a seguir, usando uma lâmpada como carga em vez do motor. Quatro comutadores, S1 a S4, estão conectados a uma fonte de alimentação de tensão de CC, com os comutadores S1 e S4 emparelhados e os comutadores S2 e S3 também. Conforme os comutadores emparelhados são ligados e desligados, a corrente flui através da lâmpada, como mostrado no diagrama abaixo.



Forma de onda da corrente

- Quando os comutadores S1 e S4 são ligados, a corrente flui através da lâmpada na direção A.
- Quando os comutadores S2 e S3 são ligados, a corrente flui através da lâmpada na direção B.

Se essas operações de comutação forem repetidas por um determinado período, a direção do fluxo da corrente muda de um lado para outro para produzir uma corrente alternada.

## 1.3

## Estrutura do inversor

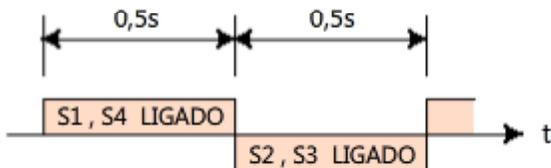


[Princípios de operação da seção do inversor]

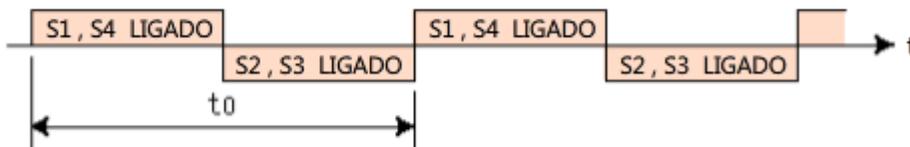
(b) Como você pode alterar a frequência?

A frequência muda quando você altera a quantidade de tempo que os comutadores S1 a S4 ficam LIGADOS e DESLIGADOS.

Por exemplo, se você ligar os comutadores S1 e S4 por 0,5s e, em seguida, os comutadores S2 e S3 por 0,5s repetidas vezes nas duas direções, você produzirá uma corrente alternada, que reverterá em direção ao fluxo uma vez por segundo, o que equivale a uma frequência de 1 Hz.



Em geral, a frequência é definida como  $f = 1/t_0$  (Hz), onde  $t_0$  é o tempo de ciclo em segundos.



Em outras palavras, a frequência pode ser alterada se este tempo,  $t_0$ , for alterado.

## 1.3

## Estrutura do inversor



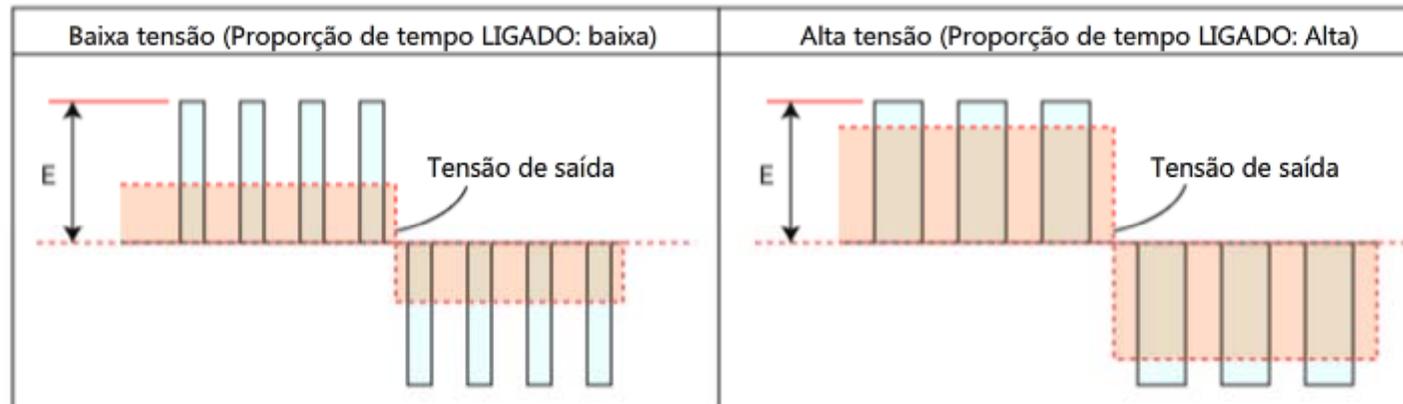
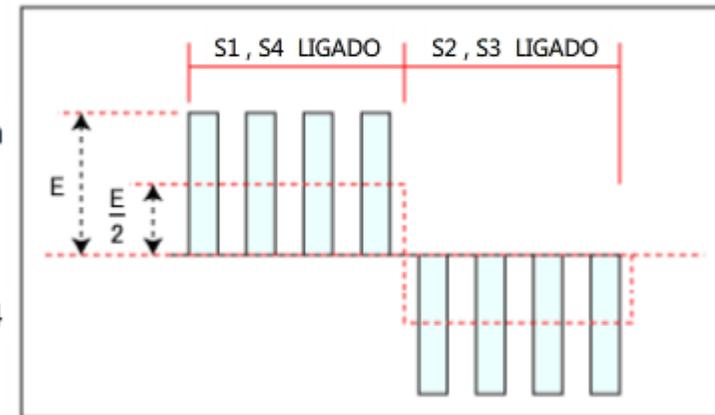
[Princípios de operação da seção do inversor]

(c) Como você pode alterar a tensão?

A tensão (média) pode ser alterada modificando a proporção de tempo segundo a qual os comutadores são LIGADOS/DESLIGADOS, alterando o tempo de ciclo,  $t_0$ , para um tempo de ciclo menor para LIGAR/DESLIGAR a tensão. A frequência desses pulsos curtos é chamada de frequência da portadora.

Por exemplo, se a proporção de tempo de comutadores S1 e S4 LIGADOS for reduzida à metade, a tensão de saída (média) torna-se uma tensão CA igual a  $E/2$  ou a metade da tensão CC, E.

Para diminuir a tensão (média), diminua a proporção de tempo LIGADO e, para aumentar a tensão (média), aumente a proporção de tempo LIGADO.



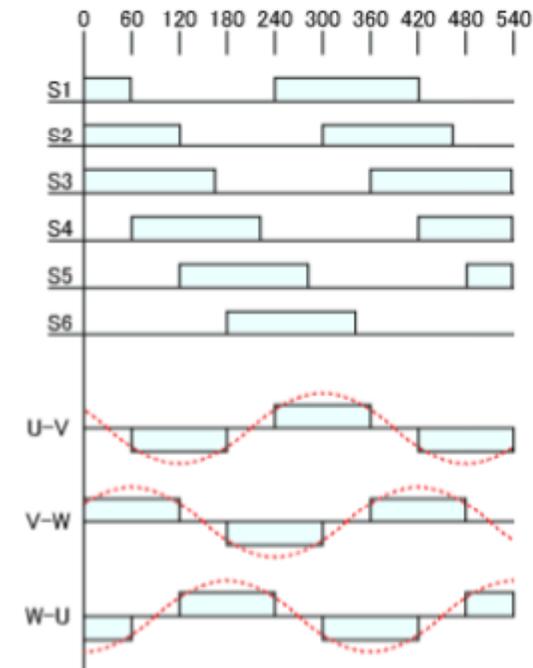
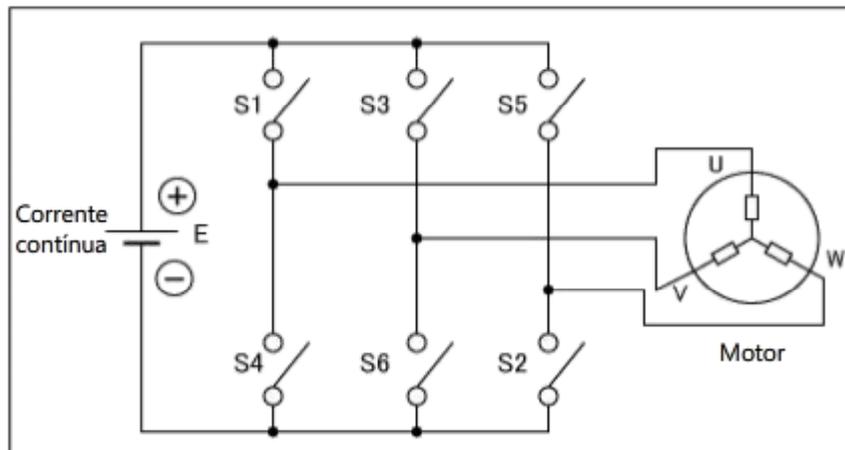
A largura de pulso e a proporção LIGADO/DESLIGADO são controladas de modo a alterar a tensão. Esse tipo de método de controle é conhecido como modulação em largura de pulso (PWM) e, atualmente, é muito usado em inversores e outros componentes eletrônicos.

## 1.3 Estrutura do inversor

[Princípios de operação da seção do inversor]

(d) E uma tensão trifásica CA?

Veja abaixo a estrutura básica de um circuito inversor trifásico e da tensão trifásica CA. Se você alterar a ordem em que os seis comutadores são LIGADOS/DESLIGADOS, a sequência de U-V, V-W e W-U muda. Isso pode ser usado para mudar a direção de rotação do motor.



Observe que elementos semicondutores são utilizados com os comutadores reais discutidos acima para a comutação de tensão, que permite que os comutadores sejam LIGADOS/DESLIGADOS em uma velocidade extremamente alta.

O único inversor para uso geral disponível para áreas industriais na década de 1980 era o inversor de controle V/F. No entanto, um método de controle sensorless (velocidade) foi introduzido na década de 1990 com a intenção de aumentar o torque nas regiões mais baixas para controle V/F.

O desempenho do inversor aumentou drasticamente devido aos avanços na tecnologia de hardware e tecnologia de teoria de controle incluindo semicondutores.

O controle de vetores com encoder começou a ser aplicado em motores de indução a partir de década de 1990 em campos que exigiam controle de velocidade de alta precisão.

Uma lista de métodos comuns de controle de inversor é fornecida na tabela abaixo, principalmente para métodos envolvendo controle de velocidade.

Em termos gerais, lembre-se que o desempenho e a precisão aumentam conforme você vai para a direita na tabela sob um método de controle, mas a flexibilidade e a eficiência econômica diminuem.

No caso do controle sensorless, o método e o nome podem variar de acordo com o fabricante. O método mostrado na tabela foi desenvolvido pela Mitsubishi Electric.

## 1.3

## Métodos de controle do inversor



Método de controle	Características de tensão e frequência controle (V/F)	Controle sensorless		Controle vetorial com encoder
		Controle orientado por campo	Controle vetorial sensorless real	
Faixa de controle de velocidade	1:10 (6 Hz a 60 Hz: Linhas de energia)	1:120 (0,5 Hz a 60 Hz: Linhas de energia)	1:200 (0,3 Hz a 60 Hz: Linhas de energia)	1:1.500 (1 r/min./1.500 r/min.: Linhas de energia, com regeneração)
Resposta	10 a 20 (raios/s)	20 a 30 (raios/s)	120 (raios/s)	300 (raios/s)
Controle de velocidade	(SIM)	(SIM)	(SIM)	(SIM)
Controle de torque	(NÃO)	(NÃO)	(SIM)	(SIM)
Controle de posição	(NÃO)	(NÃO)	(NÃO)	(SIM)
Descrição	Com o tipo mais comum de método de controle de inversor, a tensão e a frequência são mantidas controladas em valores constantes.	Para resolver o problema com diminuições de torque de baixa velocidade em controle V/F, um método de controle é usado para corrigir a tensão de saída usando cálculos vetoriais da corrente do motor.	Em motores padrão sem encoders, o controle é alcançado através de cálculos e estimativas de velocidade do motor a partir das características de tensão/corrente constantes do motor.	Esse método divide a corrente do motor em componentes orientados por campo e componentes gerados por torque e controla cada tipo de maneira independente do outro. Isso permite que o torque e a posição sejam controlados com alta precisão e resposta.
Uso geral	Esse método é extremamente flexível para utilização em motores padrão porque tem poucos elementos de controle.	Esse método requer uma constante de motor, mas a estrutura do circuito é relativamente simples pois existem poucos elementos de controle.	Esse método requer uma constante de motor, assim como o ajuste do ganho de controle.	Esse método requer um motor com um encoder, assim como o ajuste do ganho de controle.
Motores aplicáveis	Motor padrão (sem encoder)	Motor padrão (sem encoder)	Motor padrão (sem encoder)	Motor padrão (com encoder) Motor de controle de vetores dedicado

Agora que você concluiu todas as lições do Curso sobre equipamentos de FA para iniciantes (Inversores), você está pronto para fazer o teste final. Se você tiver dúvidas sobre qualquer um dos tópicos abordados, aproveite essa oportunidade para rever esses tópicos.

Há um total de 10 perguntas (21 itens) neste Teste Final.

Você pode fazer o teste final quantas vezes você desejar.

### Como gravar a pontuação do teste

Depois de selecionar a resposta, clique no botão **Gravar Pontuação**. Se você não fizer isso, a pontuação do teste não será gravada.

(As perguntas serão consideradas não respondidas.)

### Resultados da Pontuação

O número de respostas corretas, o número de perguntas, a porcentagem de acertos e o resultado de aprovação/reprovação aparecerão na página de pontuação.

Respostas corretas: 0

Total de perguntas: 10

Porcentagem: 0%

Para receber aprovação no teste é necessário acertar **60%** das respostas.

Continuar

Revisar

Tentar novamente

- Clique no botão **Continuar** para sair do teste.
- Clique no botão **Revisar** para revisar o teste. (Verificação da resposta correta)
- Clique no botão **Tentar novamente** para refazer o teste várias vezes.

O que é um inversor?

Selecione a afirmação correta entre as seguintes explicações.

- Um inversor é um dispositivo que pode ser usado para alterar de maneira variável e contínua o torque de saída de um motor de forma eficiente.
- Um inversor é um dispositivo que pode ser usado para alterar de maneira variável e contínua a velocidade de rotação de um motor de forma eficiente.
- Um inversor é um dispositivo que pode ser usado para LIGAR/DESLIGAR a rotação do motor.

Gravar Pontuação

Voltar

Motores usados em inversores industriais

Selecione o tipo de motor usado em inversores industriais.

- Motor CC
- Motor de indução monofásico
- Motor de indução de gaiola de esquilo trifásico
- Servo Motor síncrono

Gravar Pontuação

Voltar

Velocidade de rotação de um motor trifásico

Preencha os espaços em branco indicados pelos parênteses nas frases abaixo com as condições adequadas segundo a explicação sobre a utilização de um inversor para controlar a velocidade de rotação de um motor.

A velocidade de rotação de um motor trifásico é diretamente proporcional à

e inversamente proporcional ao  do motor.

Em um inversor, das duas propriedades dadas, a rotação do motor é controlada através da variação da

.

Gravar Pontuação

Voltar

## Teste

## Teste Final 4



Torque gerado pelo motor

Preencha os espaços em branco na fórmula mostrada para calcular a quantidade de torque gerada por um motor com os termos apropriados.

Torque nominal,  $T_m = 9.550 \times$   /  (N•m)

Gravar Pontuação

Voltar

### Aplicações práticas de inversores

Selecione a afirmação ou as afirmações corretas segundo a explicação sobre o controle de volume de fluxo e taxa de fluxo de ar (mais de uma resposta pode estar correta).

- Para reduzir o volume de fluxo de ar, a velocidade de rotação do motor tem de ser aumentada.
- Para reduzir o volume de fluxo de ar, a velocidade de rotação do motor tem de ser diminuída.
- A energia é conservada quando o volume de ar é baixo.
- O volume de fluxo de ar não tem efeito sobre o consumo de energia.

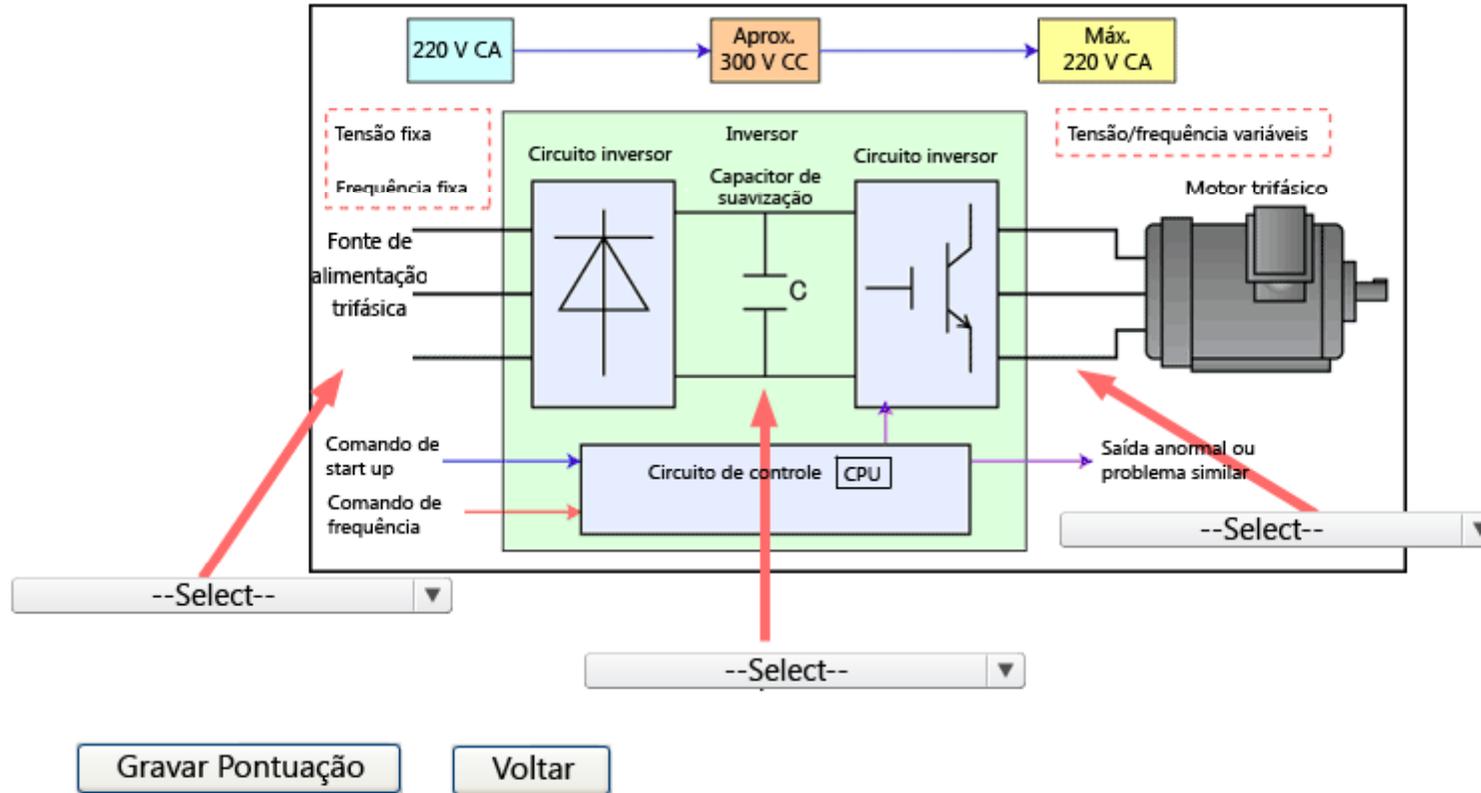
Gravar Pontuação

Voltar

# Teste Teste Final 6

Estrutura interna de um inversor

Preencha os espaços em branco na explicação sobre a estrutura interna do inversor com os termos apropriados.



## Teste

## Teste Final 7



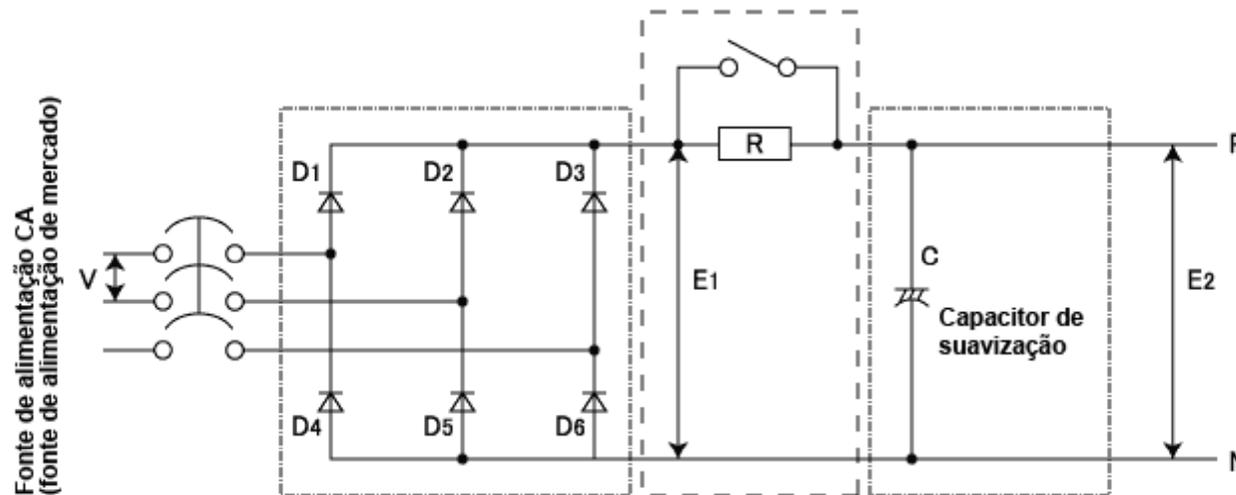
Um circuito usado para converter CA em CC dentro de um inversor

Selecione o circuito correspondente da explicação sobre circuitos usados para converter a tensão CA em tensão CC.

A tensão da fonte de alimentação CA é retificada e convertida em tensão CC

Componentes de ondulação (ripple) de pulsos na tensão retificada CC são removidos.

Uma corrente de partida alta é impedida de fluir pelo circuito quando a fonte de alimentação é LIGADA.



Um circuito usado para converter CC em CA dentro de um inversor

Selecione a afirmação correta a partir da explicação sobre a conversão de CC para CA.

- A tensão CC é LIGADA/DESLIGADA usando contatos de relé.
- A tensão CC é LIGADA/DESLIGADA usando componentes semicondutores (transistores etc.).
- A tensão CC é LIGADA/DESLIGADA usando capacitores de suavização.

Gravar Pontuação

Voltar

Método usado para a conversão em uma tensão CA com frequência variável

Preencha os espaços em branco com os termos apropriados da explicação sobre como criar uma tensão CA com frequência variável.

A frequência é alterada através do controle do  de LIGADO/DESLIGADO para os comutadores.

A tensão de saída é alterada através do controle da  de LIGADO/DESLIGADO para os comutadores.

### Vantagens da utilização de inversores

Selecione os itens relacionados com as vantagens da utilização de inversores em equipamentos.

--Select--

Os inversores podem ser usados para reduzir os custos de energia, ajustando o volume de fluxo e a taxa de fluxo de ar.

--Select--

A utilização de inversores torna peças de mecanismo de alteração de velocidades, como correias de velocidade variável, desnecessárias.

--Select--

Os inversores podem ser usados para aliviar os choques da maquinaria durante a inicialização/desligamento do equipamento.

--Select--

Os inversores podem ser usados em equipamentos com motores existentes.

Gravar Pontuação

Voltar

**Teste****Pontuação do teste**

Você concluiu o teste final. Veja os seus resultados abaixo.  
Para terminar o Teste Final, vá para a próxima página.

Respostas corretas: **0**

Total de perguntas: **10**

Porcentagem: **0%**

**Você foi reprovado.**

Você concluiu o **Curso sobre equipamentos de FA para iniciantes (Inversores)**.

Obrigado por fazer esse curso.

Esperamos que você tenha gostado das aulas e que as informações que você adquiriu nesse curso sejam úteis para a configuração de sistemas no futuro.

Você pode revisar o curso quantas vezes você quiser.

Revisar

Fechar