

# COMANDOS ELÉTRICOS

## MÓDULO II





# *SUMÁRIO*

ACIONAMENTO CONVENCIONAL DE MOTORES	04
Contadores eletrônicos	04
ACIONAMENTO ELETRÔNICO DE MOTORES	12
Inversor de Frequência	12
Soft-Starter	23
Inversor de Frequência ou Soft starter, qual utilizar?	31
MOTORES CA	35
Motor Monofásico	36
Motor Trifásico	44
Velocidade Síncrona	52
MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA	60

# ACIONAMENTO

## CONVENCIONAL DE MOTORES

São acionamentos que utilizam partidas convencionais, e para isso ocorrer usam dispositivos eletromecânicos para (a partida) o acionamento de um motor. Ex.: Contatores eletromecânicos, interruptores mecânicos.

## CONTADORES ELETRÔNICOS



Contatores são dispositivos de manobra mecânica acionados eletromagneticamente, construídos para uma elevada frequência de operação (manobras). De acordo com uma potência (carga). Basicamente, existem dois tipos de contatores: contatores para motores (de potência) e contatores auxiliares.

Utilizados em acionamentos e em proteção (em conjunto com outros acessórios e componentes) de máquinas elétricas.

É utilizado principalmente em motores, pois seus contatos permitem a comutação de correntes elevadas acionadas por simples botões e controles remotos.

Utilizam o efeito eletromagnético, possuindo três contatos de carga que alimentam diretamente os motores, e quatro contatos auxiliares para automatização e simplificação do trabalho.

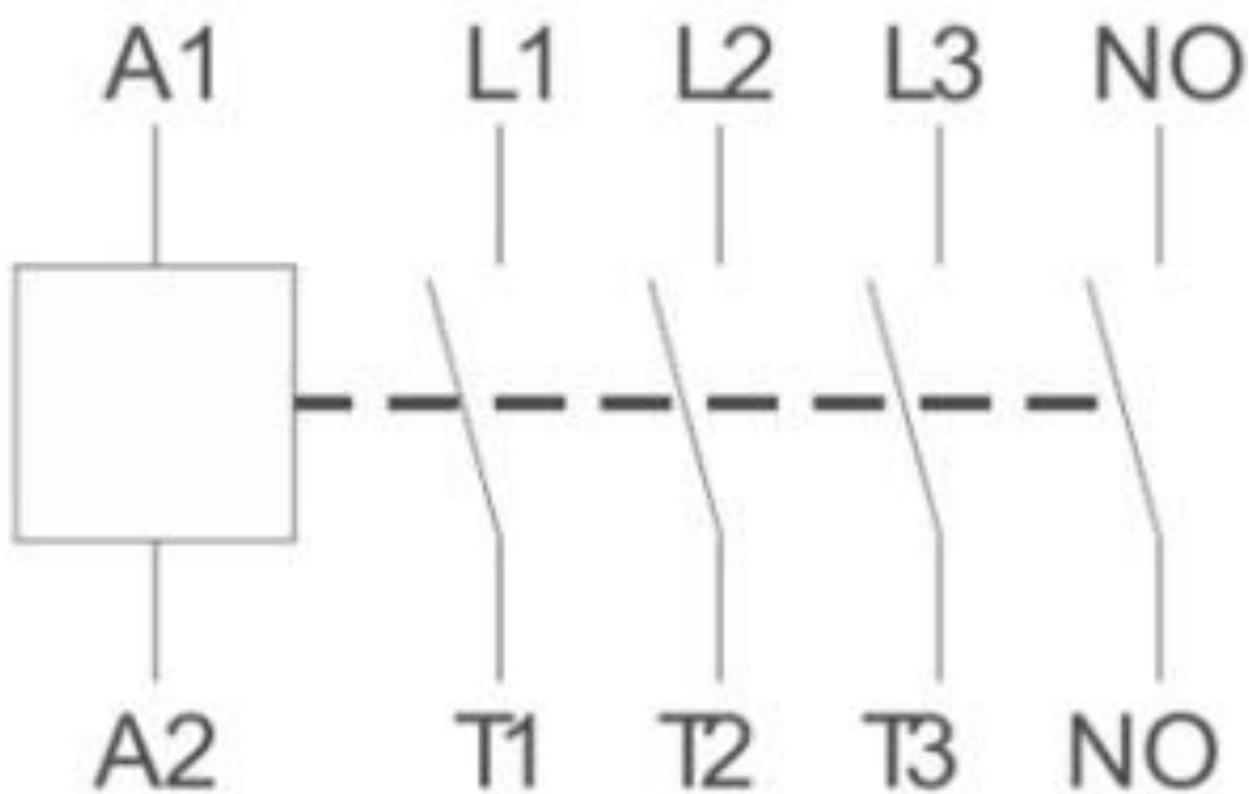
Por exemplo, possibilita o manuseio dos equipamentos a distância sem que haja contato direto com o maquinário, evitando a ida desnecessária até a máquina, protegendo os trabalhadores de risco a sua segurança.

Eles são um conjunto de contatos acionados por eletroímã, podendo ser contatos NA (Normalmente Aberto), NF (Normalmente Fechado) ou contatos comutadores NAF (Comuta entre um Aberto e um Fechado).

Nos contadores não existem contatos comutadores de múltiplas posições, possuindo apenas contatos comutadores em dois estados ativado ou em repouso que são NA e NF.

Além dos três contatos de força para alimentação do motor, todos eles NA, existe o bloco de contatos auxiliares, utilizados para aumentar a capacidade de automatização no comando a ser executado, sendo possível sua fixação na parte frontal ou lateral do contator.

Algumas das vantagens do uso do contator é o baixo consumo de energia, e o controle das cargas dos equipamentos à distância, o que evita investimento desnecessário em cabos que suportam correntes elevadas e que apresentem queda de tensão desproporcional.



Simbologia dos contatos do contator

Na simbologia de contatores utilizados em diagramas multifilares:

- A linha tracejada representa a atuação eletromecânica da bobina (terminais A1 e A2);
- Sobre os contatos principais (terminais L e T);
- Um contato auxiliar (terminais NO).

## Partes do Contator:

- Bobina: Constitui um enrolamento de cobre que cria um campo eletromagnético quando alimentado através dos terminais A1 e A2 e em consequência executa o deslocamento do núcleo.
- Núcleo: Construído em lâminas de material ferro-magnético e constituído de duas partes. Estas partes são separadas por ação mecânica de molas. Uma dessas partes do núcleo está acoplado aos contatos, e com o seu movimento aciona os contatos de comando e de carga.
- Contatos: São lâminas metálicas com a função de chaveamento e responsáveis pela condução de correntes de carga e correntes de comando. Quando a bobina do contator está desenergizada os contatos ficam em repouso, quando alimentada, os contatos são comutados através do movimento do núcleo na qual estão acoplados mecanicamente.
- Mola: É responsável em colocar os contatos na posição de repouso assim que a bobina for desconectada da fonte de energia.

## Acionado do Contador através de Timer:



Timer é um dispositivo, analógico ou digital, que permite automatizar o funcionamento de equipamentos e sistemas elétricos.

No Timer é possível determinar a hora, dia, e quais dias da semana ele vai permitir ou não o funcionamento de determinado circuito.

Alimentando devidamente o contator, e programando o Timer como desejado, o contator só vai realizar sua função no sistema quando o Timer fornecer o comando que estiver programado no mesmo.

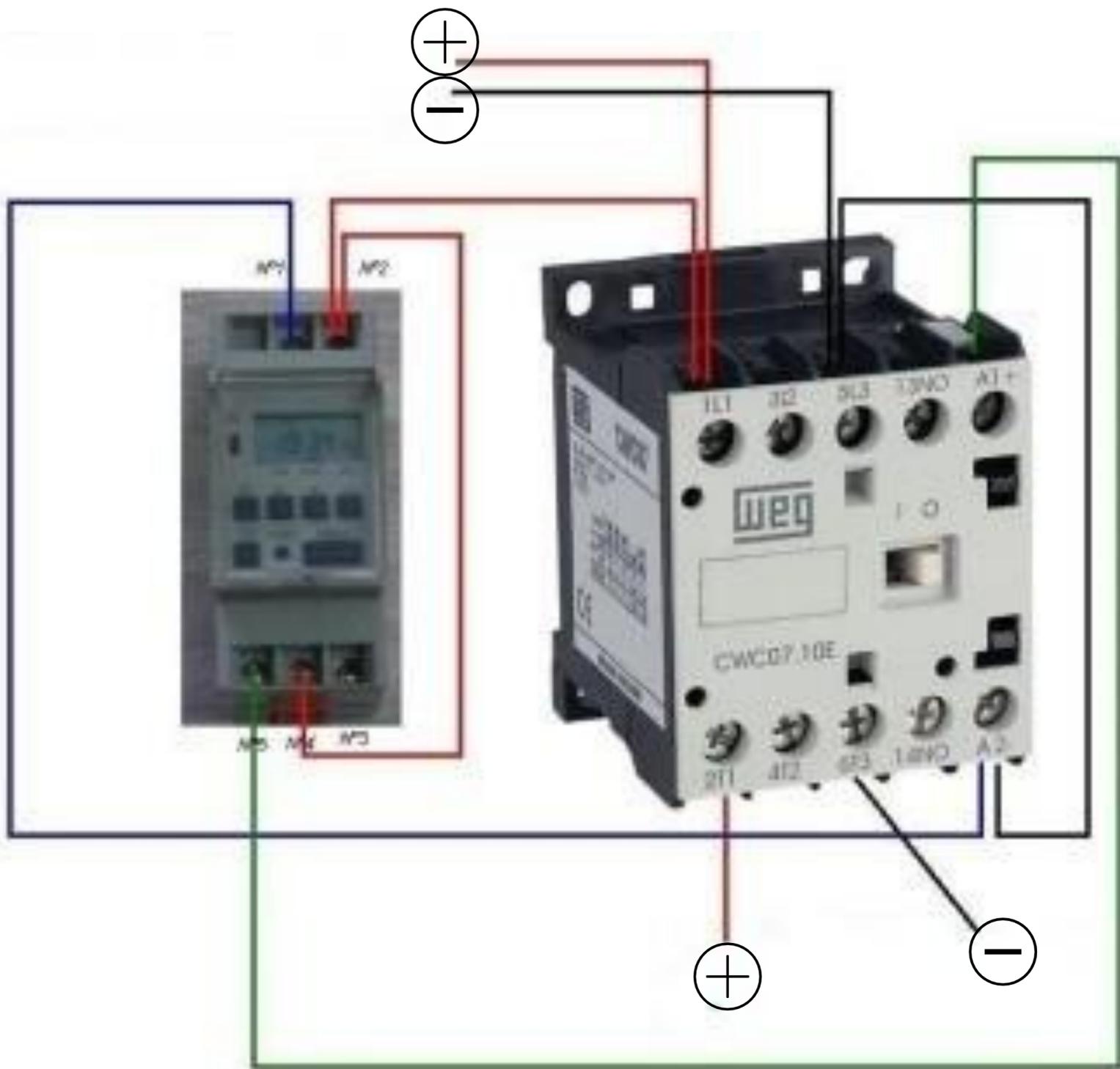
A utilização do Timer faz a automatização de circuitos e processos, os quais ele comanda sem intervenção humana.

Para ligar um contator através de um Timer, o mesmo deve funcionar como um dispositivo de comando.

A bobina do contator é alimentada por um dispositivo de comando, criando um campo magnético no núcleo fixo, que atrai o núcleo móvel. Para desligamento dos contatores, interrompem-se a alimentação da bobina.

Para instalar um contator e aciona-lo utilizando um Timer programável:

- Do primeiro contato de carga do contator ligue um cabo ao primeiro contato de alimentação do Timer;
- Faça uma derivação para que o mesmo cabo alimente o contato;
- Ligue o segundo cabo ao segundo contato de alimentação do contator até o segundo contato de alimentação do Timer;
- Faça uma derivação deste cabo para o contato comum do Timer;
- O último cabo sai do contato normalmente (NA) aberto do Timer e vai alimentar o A1 do contator.



# ACIONAMENTO ELETRÔNICO DE MOTORES

São acionamentos que utilizam a partida eletrônica de motores, através de dispositivos eletrônicos para acioná-los. Exemplo: soft-starter, inversor de frequência.

## INVERSOR DE FREQUENCIA



É um dispositivo eletrônico capaz de variar a velocidade de giro de um motor de indução trifásico. Transforma corrente elétrica alternada fixa (corrente e tensão) em corrente elétrica CA variável controlando a potência consumida pela carga através da variação da frequência entregue pela rede. Recebe este nome pela maneira que ele faz esta variação de giro do motor trifásico.

Existem inversores de frequência em: pontes rolantes, tanques resfriadores, rotuladoras, esteiras de transporte, guindastes e compressores.

A frequência de entrada no motor determina a velocidade síncrona do campo elétrico pela qual o motor trabalha. O inversor atua mudando a frequência que entra no motor, caso a frequência seja maior, conseqüentemente a velocidade do motor será maior, e caso a frequência seja menor a velocidade também é menor. A utilização do inversor de frequência proporciona flexibilidade de velocidade com segurança e precisão.

Um inversor de frequência pode:

- Controlar a velocidade do motor sem grandes perdas de torque;
- Aceleração suave através de programação;
- Frenagem direta no motor, sem necessidade de freios mecânicos;
- Formas de programação de velocidade de acordo com a necessidade da ocasião.

## Outras vantagens do Inversor de Frequência:

- Substituição de variadores mecânicos e eletromagnéticos;
- Automatização, segurança e flexibilidade em processos industriais;
- Instalação simples;
- Diminuição de choques mecânicos na partida do motor;
- Precisão e processos;
- Menos intervenção humana;
- Possui ótimo custo-benefício, pois proporcionam economia de energia elétrica, maior durabilidade de engrenagens, polias e outros componentes mecânicos.

## Rampas de Aceleração

Quando um motor é energizado, na maioria das vezes, ele parte da inércia para sua capacidade máxima em poucos segundos. Isso é prejudicial aos componentes do motor, pois essa partida brusca pode causar desgaste das peças, assim o número de manutenção é maior, e a vida útil do motor menor.

Ao configurar um inversor de frequência para atuar como rampa de aceleração ele consegue determinar o tempo ao qual o motor vai sair da inércia e alcançar sua capacidade máxima.

Esse tipo de configuração aumenta a vida útil do motor e de seus componentes, além de diminuir os custos com manutenção e reposição de peças.

Ao inverso, existem as rampas de desaceleração, que consistem na parada suave do motor, com o objetivo de evitar frenagens bruscas.

Configurar esses dois tipos de rampas de aceleração em um inversor de frequência é muito simples. Por padrão, os inversores saem da fábrica configurado para 5 segundos, mas é possível ajustar este valor de 0,1 segundo até 245 segundos.

## Partes do Inversor de Frequência:

**Circuito de entrada:** Este bloco retifica a energia alternada disponível, para alimentação do inversor, sua configuração mais comum é a de uma ponte de diodos em onda completa e na saída um capacitor que faz a filtragem da tensão obtida.

**Inversor de potência:** Transforma a tensão contínua do bloco anterior em tensão trifásica para alimentar o motor. São usados transistores (IGBTs) que chaveiam a tensão a partir dos sinais de gerador PWM (Modulação por Largura de pulso).

**Controle:** Nesse circuito são formadas as ondas que determinaram a velocidade e a potência aplicada no motor.

**Proteção contra surtos:** A tensão da rede de energia não é perfeita e pode conter surtos e transientes, para proteção do circuito, no inversos de frequência são usados elementos como TVS e elementos semelhantes.

**Proteção interna:** Este bloco analisa as tensões presentes na saída do inversor, de modo que aparecendo um distúrbio, o bloco de comando é acionado para tomar as providencias necessárias.

Placa de driver's: Bloco gerador de sinais para excitação dos transistores de potência de saída.

Auto-Boost: Este bloco analisa as condições da carga, determinando qual a tensão necessária a ser aplicada para gerar o torque necessário.

Programação: Painel que apresenta as informações gerais, e a programação do inversor.

Interface (I/O): Este bloco se comunica com dispositivos externos, como computadores.

Controle: Neste bloco são tomadas decisões de acordo com a programações, e sinais internos ou externos.

## Transformando a Frequência em um Inversor:

Os motores trifásicos tem o princípio de funcionamento baseado no campo elétrico girante, que surge quando um sistema de alimentação alternada é aplicado nos polos de um motor, defasados entre si  $120^\circ$ .

A velocidade a qual o motor trabalha é fornecida pelo campo elétrico girante, esta velocidade é chamada de velocidade síncrona. Ela é determinada em função do número de polos do motor e em função da frequência que chega na entrada do motor.

A velocidade síncrona ( $N_s$ ) é o produto de 120 vezes a frequência ( $f$ ) em Hz, dividido pelo número de polos ( $p$ ) do motor.

A partir desta fórmula percebemos que quanto maior a frequência que chega ao motor maior é a velocidade de trabalho, e o inverso também influencia em uma velocidade menor do motor. É essa alteração que o inverso de frequência faz, acontece antes da entrada do motor.

Frequência é uma grandeza, medida em Hertz (Hz). Ela corresponde ao número de oscilações ou ciclos por segundo que ocorrem na corrente elétrica.

O inversor de frequência é ligado na rede elétrica, e em sua saída há uma carga que receberá a frequência modificada pelo inversor.

No primeiro estágio, o inversor utiliza o circuito retificador para transformar a tensão alternada em contínua.

O segundo estágio realiza o inverso, transforma tensão C em tensão CA, e com a frequência desejada.

A frequência é fixa, em torno de 60 Hz, e a tensão é transformada pelo retificador de entrada em contínua pulsada. O capacitor transforma essa energia em tensão contínua pura.

Essa tensão contínua é conectada aos terminais de saída pelos dispositivos semicondutores do inversor.

O sistema de comando é quem controla a ação destes semicondutores, para conseguir uma tensão pulsada, com frequências fundamentais desfasadas  $120^\circ$ .

A tensão é escolhida de modo que a relação tensão/frequência seja constante, resultando em operação de fluxo constante, e manutenção da máxima capacidade do motor.

## Dimensionando um Inversor de Frequência:



Os inversores de frequência são equipamentos essenciais em praticamente todas as operações industriais, e por isso devem ser bem dimensionados.

Primeiramente é necessário identificar onde ele será usado e qual função exercerá. Após isso, é possível definir qual o melhor tipo para a aplicação.

Existem basicamente dois modelos de inversores de frequência: os escalares e os vetoriais.

Os inversores escalar são utilizados em tarefas mais simples como o controle da partida e parada, e a manutenção da velocidade em um valor constante.

O inversor vetorial é utilizado em tarefas mais complexas que precisam de precisão. Ele promove o desacoplamento entre o controle do fluxo e o controle da velocidade por meio de transformação de variáveis.

A principal diferença entre eles e o modo de operação de cada um e a capacidade de inversão dos fatoriais. O inversor escalar muda a frequência de acordo com a relação tensão/frequência, enquanto o inversor vetorial faz isso de forma mais complexa, realizando modificações nos parâmetros que influenciam essas grandezas.

A capacidade do motor que será usado deve ser levado em consideração no momento de dimensionamento do inversor de frequência, justamente para ter um inversor que funcionará de acordo com as especificações.

A corrente nominal do motor é um dos aspectos principais a ser considerado, uma vez que, motores de mesma potência podem possuir correntes nominais diferentes.

É importante definir a carga final do sistema e conseqüentemente, calcular a sobrecorrente exigida na partida do motor.

Ao dimensionar corretamente o inversor e o motor para a aplicação, quando a corrente de partida ultrapassar um limite definido, o inversor vai atuará interrompendo o circuito.

Um aspecto importante que deve ser considerado são as condições de trabalho onde o inversor ficará, pois elas devem estar dentro das seguintes especificações: até 1.000 metros de altitude, até 40°C e atmosfera não-agressiva.

Os cabos dos inversores de frequência também devem ser bem dimensionados. Parte da potência produzida pelo motor é utilizada na alimentação do inversor, e por isso é muito importante que os cabos sejam bem dimensionados para que haja uma redução na potência consumida e uma otimização nos processos.

Eles são diferentes por serem blindados. Possuindo duas formas de blindagem: os de reflexão que possuem blindagem contra interferências magnéticas, e os de absorção reduzida que têm como função principal, reduzir os ruídos eletromagnéticos presentes nas instalações elétricas.

# Soft-Starter



É um dispositivo eletrônico composto por pontes de tiristores (SCR's) que são acionadas por um circuito eletrônico e têm como finalidade controlar a tensão de partida do motor e a sua deserneização.

Assim a energização e deserneização do motor é suavizada, pois o soft-starter substituí os modos de ligação estrela-triângulo tradicionais, as chaves compensadoras e a partida direta.

Essa ferramenta limita a corrente de partida, evitando os picos de corrente, possibilita a partida e parada suave e promover a proteção do sistema.

Para que ocorra uma partida suave é preciso de um torque de partida reduzido no motor, e isso ocorre controlando a tensão aplicada no motor. Para isto acontecer, o uso de uma ponte de trístoles (SCR's), regulador de tensão e uma unidade de controle eletrônico é necessários, porém, a soft-starter conta com todos esses componentes internamente, o que faz com que apenas ele precise ser utilizado.

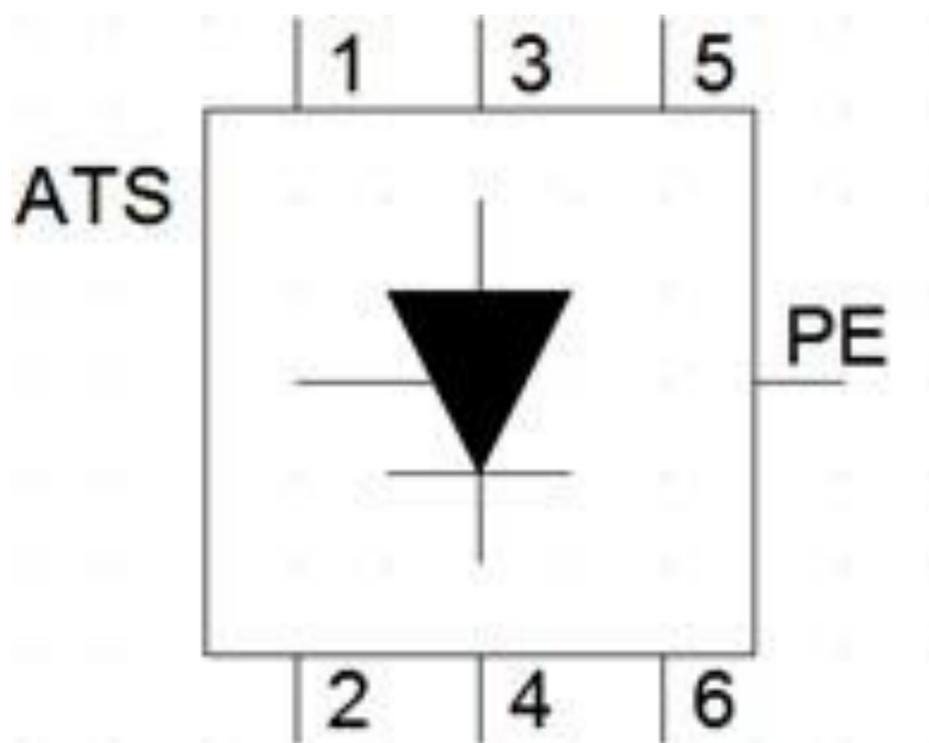
Geralmente a soft-starter é usado para partidas de motores de indução CA (corrente alternada) tipo gaiola. Com isso, o dispositivo pode substituir as partidas convencionais, como: partidas estrela-triângulo, chave compensadora e direta.

Uma soft-starter pode ser dividida em:

**Circuito de potência:** Onde circula a corrente que é fornecida para o motor. É constituído basicamente por tiristores (SCR's) e suas proteções e por transformadores de corrente.

**Circuito de controle:** É o circuito responsável pelo comando, monitoração e proteção dos componentes do circuito de potência, bem como os circuitos utilizados para comando, sinalização e interface homem-máquina, que são configurados pelo usuário em função da aplicação.

## Simbologia do Soft Starter:



Sendo:

Nome do componente: ATS  
Alimentação da rede: 1, 3 e 5  
Saída para o motor: 2, 4 e 6  
Aterramento: PE

Em termos técnicos, uma soft-starter (partida suave), assegura a aceleração e desaceleração progressivas, permitindo uma adaptação da velocidade às condições de operação. Ela funciona basicamente da seguinte maneira:

- A alimentação do motor, ao ser ligada é realizada através do aumento progressivo da tensão, o que permite uma partida sem golpes e reduz o pico de corrente. Isso é obtido por intermédio de um conversor com tiristores em antiparalelo, montados de dois a dois em cada fase da rede.
- Quando um pulso interno é aplicado ao gate dos tiristores, eles permitem que a corrente flua, e energize o motor. Os pulsos são enviados com base no tempo de rampa para que a corrente seja aplicada lentamente ao motor. Isso permitirá que nosso motor comece a reduzir lentamente o torque e a corrente de partida.

A soft-starter controla a velocidade do motor, através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte de tiristores, gerando na saída uma tensão eficaz gradual e continuamente crescente até que seja atingida a tensão nominal da rede.

Durante um tempo estabelecido pelo usuário, o circuito de controle eleva a tensão nos terminais do motor, iniciando com o valor de partida da rampa que, em geral, pode ser ajustado de 15% a 100% da tensão da rede.

A subida progressiva da tensão pode ser controlada pela rampa de aceleração ou dependente do valor da corrente de limitação, ou ligada a esses dois parâmetros.

A soft-starter pode ser utilizado em: compressores de ar e refrigeração, ventiladores, sopradores, exaustores, bombas centrífugas, misturadores, aeradores, serras, plainas, fornos rotativos, britadores e moedores.

## Principais Benefícios:

- Corrente de partida reduzida e menos estresse elétricos no motor e na rede;
- Rápido e fácil de instalar com um tamanho reduzido;
- Desgaste mecânico reduzido nos equipamentos;
- Economia de energia;
- IHM, Entrada para PT100/PTC, Saída Analógica;
- Recursos avançados para aplicações em bombas hidráulicas;
- Software gratuito para especificação do modelo correto para a aplicação, o proSoft;
- Resolver problemas de picos de corrente de partidas em motores, trancos e até mesmo fazer toda a proteção do sistema ligado aos equipamentos.

## Principais Características:

- Rampas de tensão e aceleração: as chaves dessa ferramenta têm uma função que é ativada através do controle da variação do ângulo de disparo da ponte de tiristores, enquanto gera uma tensão eficaz e gradual na saída da mesma;
- Rampa de tensão de desaceleração: existirão duas possibilidades para que a parada do motor seja executada e elas são por inércia, ou controlada;
- Kick Start: a soft-starter também aplica uma tensão maior no motor para que as cargas de partida não exijam um esforço extra do acionamento;
- Limitação de corrente: esse dispositivo é responsável por fornecer somente a corrente necessária para que seja executada a aceleração da carga;
- Pump control: essa função é usada em sistemas de bombeamento (partida);
- Economia de energia: uma soft-starter oferece uma otimização de energia simplesmente alterando o ponto de operação do motor.

## Proteções de uma Soft-starter:

- Sobretemperatura nos tiritores;
- Sequência de fase invertida;
- Falta de fase na rede;
- Falha nos tiristores;
- Erro de programação;
- Sobrecorrente imediata de saída;
- Subcorrente imediata;
- Sobrecarga na saída.

# Inversor de Frequência ou Soft starter, qual utilizar?

É muito comum confundirem os inversores de frequência com os soft-starters. E isso ocorre porque os dois equipamentos são usados em motores elétricos.

No entanto ao compararmos o soft-starter com o inversor, existem algumas características parecidas, mas no geral eles são dispositivos bem distintos. A característica que mais os diferencia, é o fato do inversor de frequência conseguir alterar a velocidade do motor, o que não é possível com o soft-starter.

O Soft-starter é um dispositivo eletrônico utilizado para auxiliar o motor elétrico, suavizando tanto a sua partida quanto a sua frenagem. Da mesma forma, o inversor de frequência é usado para partir e frear o motor suavemente, porém, com ele também é possível controlar a velocidade do motor.

Ele é composto por pontes de tiristores, que são acionadas por um circuito eletrônico e usadas para controlar a tensão de partida do motor. Isso é possível através do deslocamento do ângulo de disparo dos tiristores, que geralmente são os SCRs (retificadores controlados de silício).

O inversor de frequência é composto por uma ponte de transistores, que geralmente são os IGBTs (transistores bipolares de porta isolada). Ele é mais complexo, pois o sinal da rede é retificado, filtrado e aplicado na ponte de transistores, que faz a conversão novamente para o sinal alternado.

O inversor consegue acionar um motor trifásico apenas com duas fases da rede, justamente por causa da conversão de sinais que ocorre dentro dele.

É por causa deste sistema, que na entrada do inversor temos uma frequência constante, e na saída a frequência pode ser variável. Outro detalhe importante é que o inversor de frequência consegue uma rampa de partida mais suave, e entrega muito mais torque ao motor.

Essa complexidade do inversor de frequência exige um maior cuidado na sua parametrização, pois são muitas configurações que dependem exclusivamente de cada aplicação.

Por outro lado, o soft-starter basicamente regula a tensão inicial, a rampa de aceleração e de desaceleração do motor.

Um ponto importante, é o soft-starter geralmente ser um dispositivo mais compacto e ocupa menos espaço em um painel de comandos. Além disso, o seu custo normalmente é menor em relação ao inversor de frequência.

O inversor de frequência pode controlar mais de um motor ao mesmo tempo, porém, todos eles estarão na mesma velocidade. Para que isso seja possível, é importante garantir que a corrente nominal do inversor seja maior do que a soma de todas as correntes dos motores, além de considerar a distância entre o drive e os motores.

No entanto, um único soft-starter consegue fazer a partida de vários motores em sequência, graças ao recurso de bypass. Que permite que o soft starter acione um motor e logo em seguida acione quantos motores forem necessários.

Ambos os dispositivos geram harmônicas, sendo que este efeito no soft starter acontece apenas durante a partida ou parada do motor, e no inversor acontece durante todo o período de operação. Porém, este efeito colateral pode ser suavizado utilizando reatores internos, como é o caso do Inversor Altivar Process.

Os inversores dispõem determinados componentes de proteção no circuito, pois eles oferecem proteção contra falta de fase e sobrecarga. Já os soft starters não apresentam muitas proteções como os inversores, porém, é possível encontrar modelos que também oferecem proteções contra falta de fase e sobrecarga.

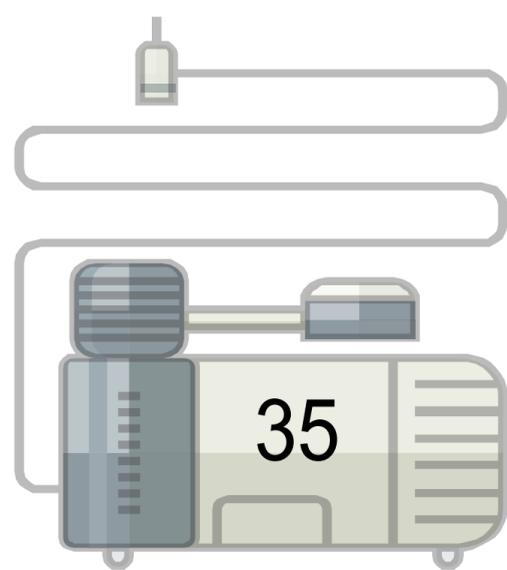
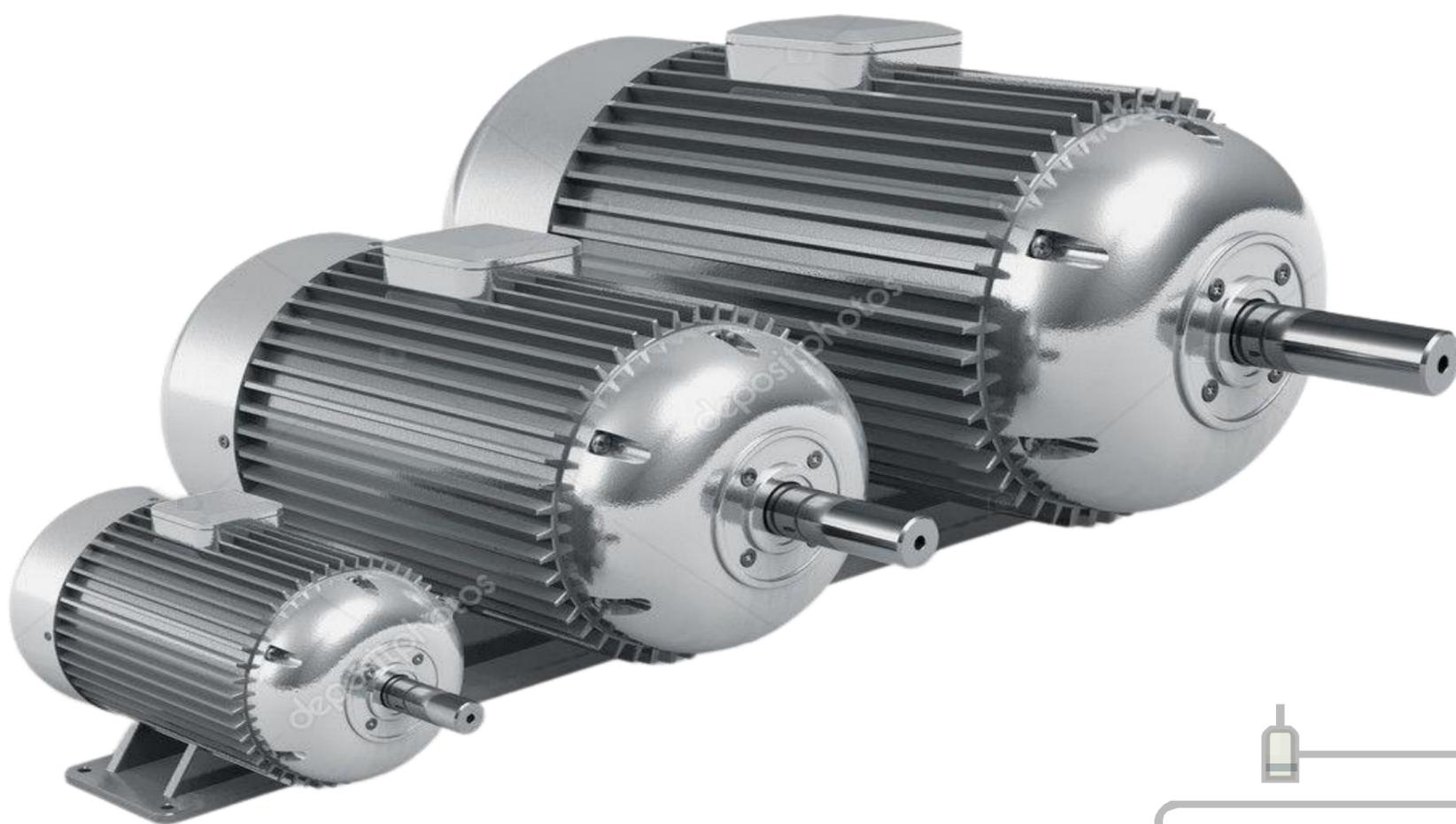
É importante que, ambos os dispositivos não têm proteção contra curto-circuito. Portanto, sempre deve ser instalado um dispositivo de proteção antes do inversor, que pode ser um disjuntor motor ou disjuntor de caixa moldada, levando em consideração apenas a aplicação, e não o custo de cada dispositivo.

Basicamente, o que vai determinar qual dispositivo será usado é a sua aplicação, ou seja, quando o objetivo é o simples acionamento do motor, usamos o soft starter. E quando o objetivo for além disso, como ter total controle sobre a velocidade ou torque do motor, o ideal é utilizar o inversor de frequência.

## *MOTORES CA*

Os motores elétricos são responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica, com isso, nota-se a grande importância de estudos voltados a essa área em específico, visando otimizar a utilização dessa máquina e ser mais eficiente.

Os motores trifásicos são os mais utilizados no setor industrial, porém, em residências é comum depararmos com motores monofásicos, aplicados em diversos equipamentos eletroeletrônicos como: geladeiras, freezer, máquinas de lavar roupa, sensoramento de portão eletrônico, dentre outros.



# MOTOR MONOFÁSICO



Os motores monofásicos de indução operam com tensão entre 220V e 127V, alimentados por uma rede monofásica de energia elétrica.

Seus enrolamentos de campo estão diretamente conectados à rede monofásica, esse tipo de motor transforma a energia elétrica consumida em energia mecânica.

Eles possuem apenas um conjunto de bobinas que são alimentados por uma corrente alternada monofásica.

Esses motores possuem maior dificuldade para serem acionados que os motores trifásicos, porque eles necessitam apenas de uma fase.

Apesar de haver uma variação do fluxo magnético entre os enrolamentos de campo e armadura do estator e do rotor da máquina, o fluxo não possui defasagem.

Porque ele está alinhado com o campo magnético do estator e não gera o campo magnético girante, conseqüentemente não tem conjugado de partida.

Para o motor monofásico gerar energia mecânica, deve haver uma defasagem angular, para surgir o campo magnético girante. Esse processo pode ser realizado por alguns métodos, como: enrolamentos de fase dividida, motores com capacitor de partida e permanente.

Geralmente são empregados em locais onde não tem a disponibilidade de uma rede trifásica, ou em cargas nas quais não necessitam de muita potência como: ventiladores, furadeiras, impressoras, motores de geladeiras e entre outras aplicações.



# Tipos de Motor Monofásico

## Motor de Fase Dividida

Ele possui um enrolamento principal e um auxiliar, ambos com defasagem de 90 graus, o principal serve para partida e regime permanente de trabalho, o enrolamento auxiliar tem utilidade somente na hora de dar a partida, com isso, quando o motor atinge uma determinada rotação o enrolamento auxiliar é desconectado da rede.

Como o auxiliar é utilizado somente para dar partida a máquina, caso ocorra o seu não desligamento poderá provocar a queima do motor.

O enrolamento auxiliar cria uma defasagem produzindo o torque essencial para iniciar a rotação, rompendo o conjugado de partida e a sua aceleração até se aproximar da velocidade síncrona.

Ele apresenta um conjugado de partida igual ou um pouco superior que o nominal, o que limita a sua aplicação em potências fracionárias e em cargas que exigem baixo conjugado de partida.

É utilizado em ventiladores, exaustores, máquinas de escritórios, dentre outras.

## Motor de Capacitor de Partida

É o mais utilizado e conhecido, ele se parece com o de fase dividida, porém o que diferencia esse modelo é a introdução de um capacitor eletrolítico, ligado em série, como um enrolamento auxiliar para a partida dos motores monofásico.

Com a inclusão do capacitor o ângulo de defasagem entre as correntes dos enrolamentos aumenta, com isso, proporcionando elevados conjugados de partida.

Quando o motor atinge cerca de 75% a 80% da velocidade síncrona, o circuito auxiliar é desconectado, nesse momento o seu funcionamento é igual a um motor de fase dividida.

Este motor monofásico possui um elevado conjugado de partida, o motor de capacitor de partida pode ser utilizado em uma diversidade de aplicações que precisam de um elevado conjugado de partida.

## Motor com Capacitor Permanente

O enrolamento auxiliar e o capacitor ficam energizados durante todo o tempo de funcionamento e não exclusivamente na partida, o capacitor é do tipo eletrostático.

O efeito do capacitor é o de proporcionar condições em que o fluxo fique semelhante aos dos motores trifásicos, com isso, aumentando o conjugado máximo, o fator de potência e o rendimento do motor.

Esse motor possui um conjugado de partida muito pequeno, cerca de 50% do conjugado de um motor de fase dividida, assim é crucial que haja conhecimento de onde ele será aplicado, é recomendado que este tipo de motor seja utilizado em aplicações com a partida leve.

## Motor com dois Capacitores (Partida e Permanente)

Esse é o modelo mais vantajoso e completo dentre os que foram abordados anteriormente, ele possui uma partida como a do motor de capacitor de partida, com elevados conjugados de partida e funcionamento em regime, igual ao do motor de capacitor permanente, com isso, exibindo um melhor desempenho e rendimento do que os demais motores monofásicos.

Porém, o seu custo de produção é elevado, os motores com dois capacitores são encontrados em potências acima de 1 cv.

É muito comum a aplicação desse tipo de motor no meio rural, onde são necessárias potências maiores em instalações monofásicas.



Motor de Fase Dividida



Motor de Capacitor de Partida

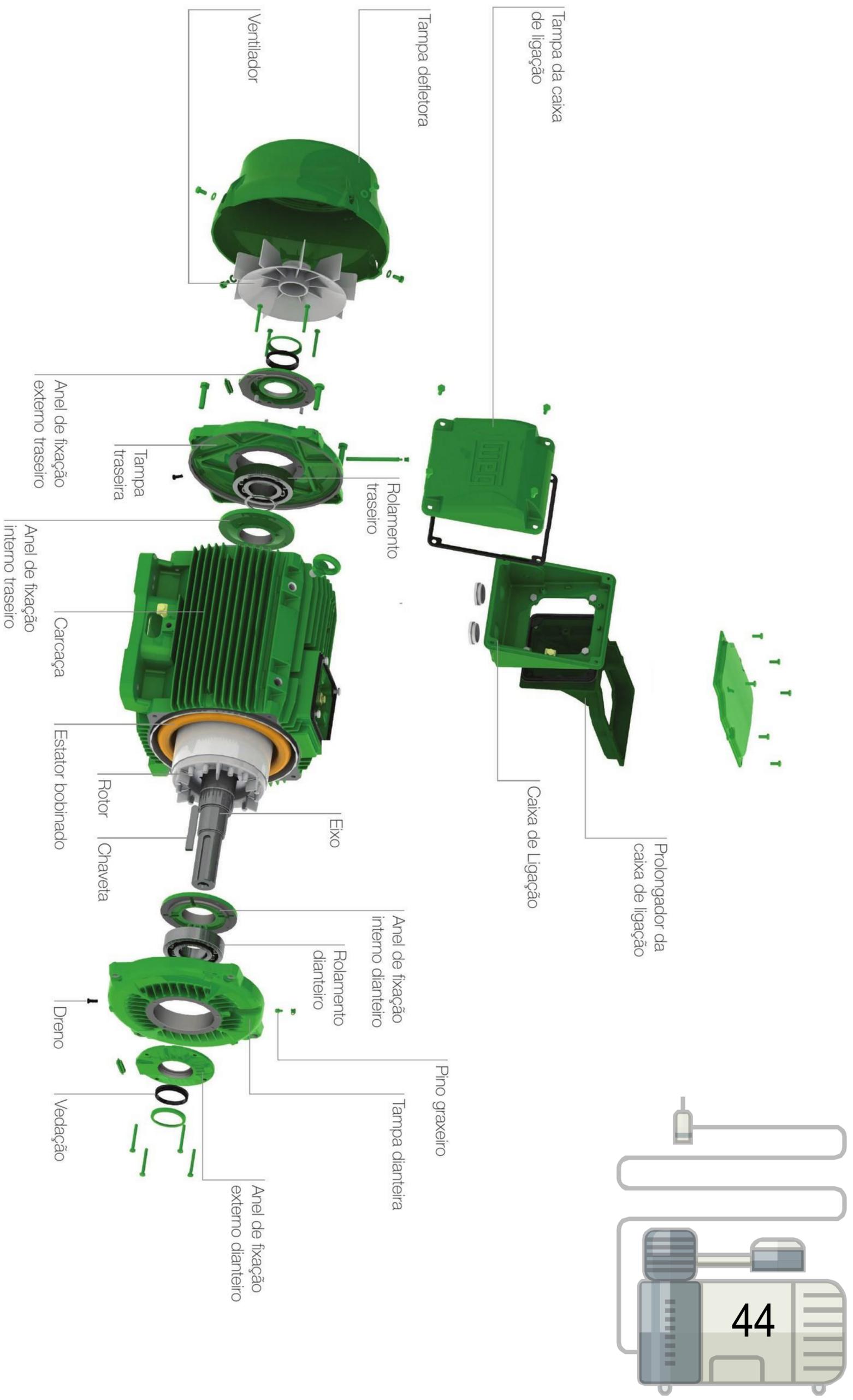


Motor com Capacitor Permanente



Motor com dois Capacitores (Partida e Permanente)

# MOTOR TRIFÁSICO



Os motores trifásicos de corrente alternada são os mais utilizados devido na maioria dos casos a distribuição de energia elétrica ser realizada em corrente alternada, e também em função de simplicidade, robustez e baixo custo, sendo adequado para quase todos os tipos de máquinas.

Possui velocidade constante podendo variar em função de alguns fatores como cargas aplicadas a seu eixo.

Seu princípio é baseado no campo magnético girante, que surge quando um sistema de correntes alternada trifásico é aplicado em polos defasados fisicamente de  $120^\circ$ .

Um campo magnético em cada conjunto de bobinas do motor surge a partir dessa defasagem, estes campos magnéticos são chamamos de Campo Magnético Girante.

O sistema trifásico fornece energia por 4 fios. Um desses fios é chamado de neutro e os outros três são as fases R, S e T. Esses três fios transportam as 3 ondas senoidais que estão trabalhando juntas, porém, defasadas em  $120^\circ$  uma da outra.

Nos motores, o sistema trifásico apresenta um melhor aproveitamento da energia para criar o campo eletromagnético, este campo é o responsável por manter o motor elétrico em movimento.

O motor de indução trifásico é o mais utilizado pois apresenta baixo custo e devido às suas características construtivas e sua velocidade.

Diferente dos outros tipos de motores, no motor trifásico não existe nenhuma alimentação externa no rotor.

O motor trifásico é utilizado quando é necessária uma potência igual ou superior à 2cv, os motores trifásicos são amplamente encontrados em: linhas de produção e máquinas elétricas.

O motor trifásico possui duas principais partes: o rotor e o estator.

**Rotor:**

É a parte rotativa do motor, onde é transmitida a energia mecânica. Ele possui um núcleo de chapas magnéticas que melhoram a permeabilidade magnética. O seu enrolamento pode ser bobinado ou do tipo gaiola.

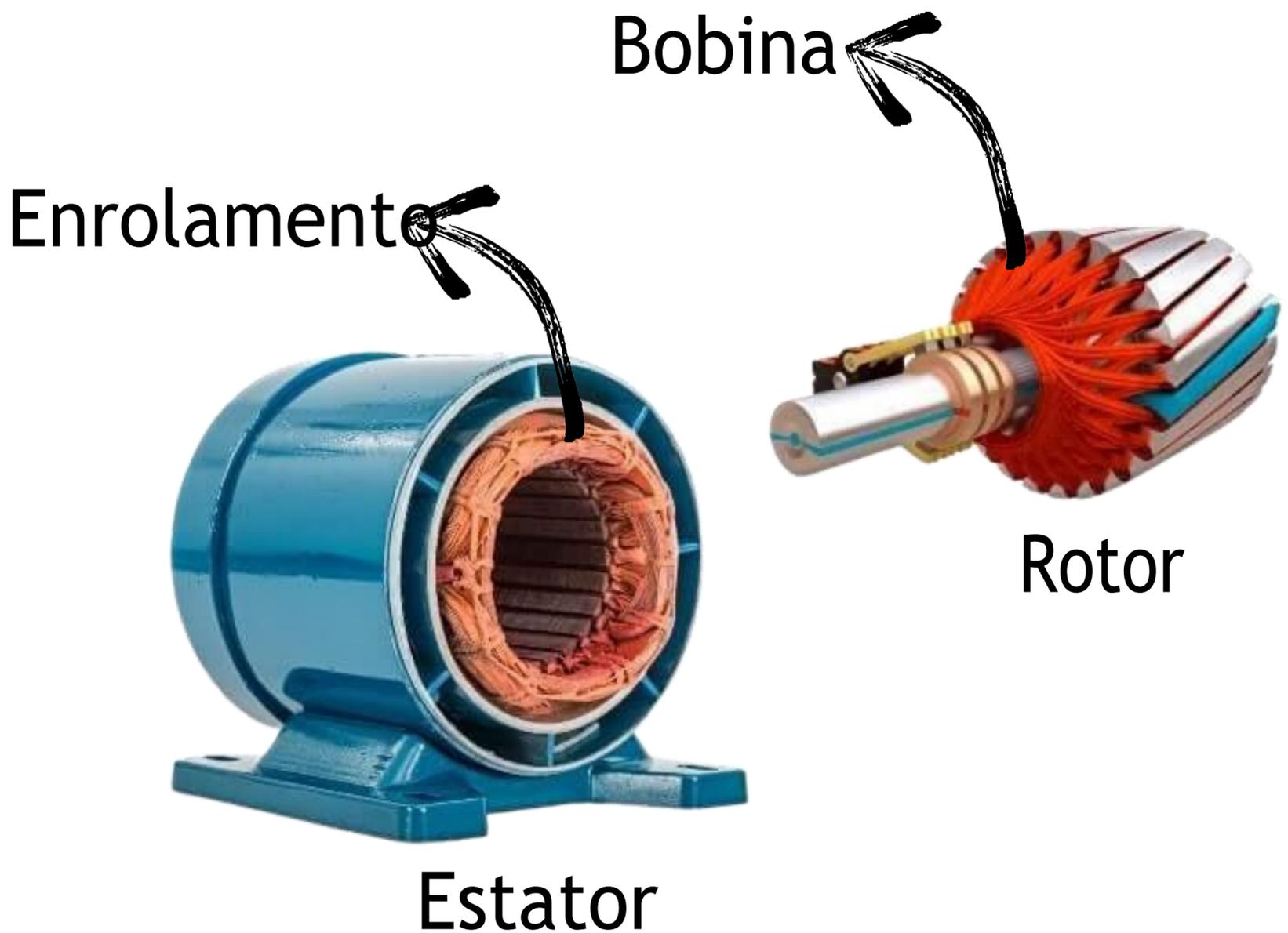
O enrolamento do rotor tipo bobinado, possui um enrolamento trifásico fechado internamente em estrela. No rotor tipo gaiola, os condutores de cobre ou alumínio têm formas de barras e estão curto-circuitados por anéis contínuos.

## Estator

O estator é a parte imóvel do motor. É formado por uma carcaça, que é uma estrutura de suporte para todo o conjunto do motor trifásico.

É constituído internamente por chapas magnéticas que têm a mesma função do núcleo do rotor: concentrar as linhas de indução criadas pelos condutores, quando ligadas à corrente alternada.

Nas ranhuras que o estator possui existe o enrolamento trifásico, formado por três ou mais bobinas de cobre nu ou de alumínio, distantes uma da outra em  $120^\circ$ .



Além dessas duas partes mais importantes, o motor elétrico trifásico também possui:

**Mancal:** rolamentos que prendem o eixo na carcaça, e que também protegem o conjunto contra infiltrações;

**Ventilador:** resfria e faz circular o ar no conjunto do motor elétrico;

**Caixa de ligação:** recebe os cabos que fazem as conexões do motor, ligando-os às bobinas.

# Funcionamento

O núcleo do estator possui ranhuras, e nessas ranhuras geralmente existem três bobinas de cobre nu ou de alumínio. Elas interagem criando um campo magnético girante, que é possível pela distância de  $120^\circ$  entre estas bobinas, e a alimentação por correntes alternadas trifásicas.

O campo magnético produzido possui as características e intensidade da corrente que passa por ela, variando em intensidade, no sentido e em função do tempo. Estes três campos magnéticos se adicionam formando um campo magnético único.

A velocidade do campo magnético girante é proporcional à frequência, ou seja, o campo magnético é síncrono em relação à frequência. Este campo possui linhas de indução que transcendem os condutores do rotor, induzindo nele uma diferença de potencial. Como o circuito está fechado, surge uma corrente.

Esta corrente induzida gera em volta dos condutores um campo magnético que tem a tendência de se alinhar com o campo girante produzido pelo estator.

O campo magnético do estator gira em velocidade síncrona, e por isso o campo do rotor consegue acompanhá-lo.

O campo magnético do rotor segue o campo magnético do estator, porém, com um atraso em relação a ele. Esse atraso cria um movimento relativo, e conseqüentemente a força eletromotriz (f.e.m.).

Portanto, o rotor deve “escorregar” em relação ao estator, a fim de produzir o torque. Para encontrar a porcentagem de escorregamento entre o rotor e o estator, é necessário saber a velocidade síncrona do campo girante em RPM e a velocidade do rotor.

Devido a este escorregamento, o motor elétrico trifásico também é chamado de motor assíncrono, pois a velocidade do rotor não é a mesma velocidade do campo magnético girante.

Existem também os motores síncronos, que diferentemente dos assíncronos, não possuem o escorregamento.

# Ligação do Motor Elétrico Trifásico

Ele pode ser ligado em até quatro níveis de tensão diferentes, isso acontece através das combinações das conexões dos terminais do estator, possibilitando a sua ligação em estrela ou triângulo.

A quantidade de terminais do estator determina em quantas tensões podemos ligar o motor.

Um motor com três terminais pode ser ligado somente em uma tensão. Enquanto um motor de seis ou nove conexões pode ser ligado em duas tensões. E o motor com doze conexões pode ser ligado em quatro tensões, contudo essa ligação não é muito utilizada.

# Velocidade Síncrona

O Motor de indução funciona normalmente com velocidade constante proporcionada pelo campo magnético girante, logo a velocidade do campo é chamada de velocidade síncrona.

Portanto, a velocidade do motor elétrico de indução é diretamente proporcional a frequência e inversamente proporcional a quantidade de polos magnéticos.

Isso acontece devido a dois fatores, o primeiro é os polos magnéticos gerados em função de sua construção física e o segundo é a frequência da rede elétrica a qual está instalado.

Para isso podemos definir a seguinte equação:

$$N_s = 120 \cdot f / p$$

*N<sub>s</sub> = Velocidade síncrona em RPM*

*f = Frequência em Hz*

*p = Números de polos*

Por natureza, o motor elétrico trifásico possui uma diferença entre a velocidade do campo magnético girante ( $N_s$ ) e a velocidade real em seu rotor ( $N$ ) este fato se dá em função de um fenômeno chamado escorregamento e é fornecido pelo fabricante do motor podendo variar de motor para motor.

Para representar o escorregamento do motor elétrico trifásico utilizamos a fórmula:

$$S = (N_s - N) / N_s \times 100$$

$S$  = Escorregamento em %

$N_s$  = Velocidade Síncrona em RPM}

$N$  = Velocidade no Rotor em RPM

Para a Velocidade Nominal utilizamos a fórmula:

$$N = N_s - S$$

$N$  = Velocidade Nominal RPM

$N_s$  = Velocidade Síncrona em RPM

$S$  = Escorregamento em RPM

# Fechamento de Motor Elétrico Trifásico de 6 (seis) Pontas

O motor de seis terminais ou motor 6 pontas elétrico é um motor trifásico de corrente alternada.

Esse motor é amplamente utilizado em indústrias, e é um excelente conversor de energia elétrica em mecânica.

O motor fornece a opção de seis terminais para permitir a alimentação através de dois níveis distintos, por exemplo 220V e 380V. Temos portanto dois tipos de fechamentos para este tipo de motores, são eles: Fechamento em Triângulo e Fechamento em Estrela.

**Fechamento em Triângulo:** Na maioria dos casos os motores possuem 6 pontas de cabos em sua caixa de ligação. O fechamento em triângulo proporciona o fechamento na menor tensão suportada, por exemplo: um motor que suporte 380V e 220V o fechamento em triângulo será para a tensão de 220V. Os terminais são interligados entre si e estas pontas são interligadas com a rede de alimentação trifásica. Essa ligação forma um triângulo.

**Fechamento em Estrela:** A maioria dos motores apresentam 6 pontas e para podermos ligá-lo ao maior nível de tensão disponível e deve ser fechado em estrela. Este fechamento é simples de ser desenvolvido, o fechamento se dá com a realização do curto circuito dos terminais e realiza-se a alimentação trifásica utilizando os terminais.

# Fechamento de Motor Elétrico Trifásico de 12 (doze) Pontas

O motor de doze terminais (motor 12 pontas) permite que sua alimentação seja realizada com até quatro níveis de tensão.

No entanto isso dependerá da maneira que será executada a interligação de seus terminais na caixa de ligação.

Estes doze terminais de interligação referem-se a seis conjuntos de bobinas que constituem o motor elétrico, é importante observar que nesse caso, que independente do fechamento que o motor receba, cada uma das bobinas receberá sempre 220V e por isso não acontecerá a queima do motor em função do acréscimo da tensão elétrica de alimentação.

Para cada nível de tensão requerido existirá uma forma para realizar o fechamento de suas bobinas. Existem quatro tipos de fechamento: Duplo Triângulo (220V), Duplo Estrela (380V), Triângulo (440V), Estrela (760V).

**Fechamento Duplo Triângulo:** Será possível a conexão motor na menor tensão suportada pelo motor. Partindo do pressuposto que independente da tensão de alimentação, o motor 12 pontas sempre receberá em seus enrolamentos o mesmo nível de tensão, cada bobina permanecerá com 220V.

Este fechamento assemelha-se com um circuito paralelo, o fechamento duplo triângulo ao ser conectado à rede de alimentação de 220V recebe em cada uma de suas bobinas os mesmos 220V da rede elétrica.

**Fechamento Duplo Estrela:** Este fechamento proporcionará uma divisão da tensão elétrica da rede de alimentação e considerando a tensão elétrica nominal de cada enrolamento como sendo de 220V, para esse fechamento a disposição das bobinas do motor estar apto a receber uma alimentação com uma tensão elétrica de 380V.

Este tipo de fechamento “comporta-se” como um circuito em série, logo, existe a divisão de tensão entre os conjuntos de bobinas associados.

Este tipo de fechamento “comporta-se” como um circuito em série, logo, existe a divisão de tensão entre os conjuntos de bobinas associados.

Por ser o mesmo motor, temos que levar em consideração que cada bobina do motor elétrico trifásico receberá um nível de tensão de 220V, desta maneira é necessário executar o fechamento considerando as características de Tensão de Fase e Tensão de Linha aplicado aos seu enrolamentos.

Com a Tensão de Linha de 380V representadas em R, S e T temos, respectivamente, as Tensões de Fase de 220V em cada uma das bobinas, sendo que:

$$V_f = V_L / \sqrt{3} \Rightarrow V_f = 380 / \sqrt{3} \Rightarrow V_f = 220V$$

**Fechamento Triângulo:** Será utilizada quando a necessidade é interligar motor a uma tensão de 440V. Esse fechamento permite que cada um dos enrolamentos receba o mesmo nível de tensão dos fechamentos duplo estrela e duplo triângulo, ou seja, 220V.

No fechamento em triângulo o motor será configurado a fim de receber a tensão de 440V, teoricamente a tensão de fase seria de 440V mas o fato de associar os enrolamentos em série permite que esta tensão seja dividida entre os dois enrolamentos fazendo com que cada um receba 220V.

**Fechamento Estrela:** Esse fechamento é quando há necessidade de interligar o motor 12 pontas em um nível elevado de tensão, tipo 760V.

Através deste fechamento cada um dos enrolamentos receba o mesmo nível de tensão dos fechamentos duplo estrela e duplo triângulo, ou seja, 220V.

Os conjuntos de bobinas são associados em série a fim de garantir a distribuição da tensão de fase de forma proporcional a cada uma. Esses 440V dividirá entre os dois conjuntos de enrolamentos e cada um receberá respectivamente 220V.

# MOTOR DE CORRENTE CONTÍNUA



Os motores de corrente contínua (CC) funcionam tanto como motores quanto geradores de energia elétrica. Como o próprio nome indica, os motores CC são acionados por uma fonte de corrente contínua.

Eles possuem ímãs permanentes ou campo e armadura, neste caso não possuem ímãs permanentes. Os motores de corrente contínua possuem diversas aplicações como: brinquedos, eletrodomésticos, máquinas industriais, veículos elétricos, dentre outros.

## Vantagens dos Motores de Corrente Contínua

- Controle de velocidade para uma ampla faixa de valores acima e abaixo do valor nominal;
- É possível acelerar, frear e reverter o sentido de rotação de forma rápida;
- Não está sujeito à harmônicos e não possui consumo de potência reativa;
- Permite variar a sua velocidade mantendo seu torque constante;
- Possui um alto conjugado de partida, que também conhecido como torque ou força de arranque;
- Os conversores necessários para o seu controle são menos volumosos.

## Desvantagens dos Motores de Corrente Contínua

- Possui maior manutenção devido aos desgastes entre as escovas com o comutador, exceto para os motores brushless;
- Em relação aos motores de indução CA de mesma potência possuem um preço e tamanho maiores;
- Por causa da centelha que ocorre entre suas escovas e os comutadores, com exceção dos motores brushless, os motores de corrente contínua não podem operar em ambientes explosivos.

## Classificação dos Motores de Corrente Contínua

Eles são classificados de acordo com o modo de conexão do indutor e das bobinas induzidas, sendo classificados como: motor série, motor paralelo, motor composto e motor de excitação.

Motor série: possui esta definição pois os enrolamentos do indutor e da armadura são ligados em série, se destacando por conter um alto torque e rápida aceleração. Devido às suas características é usado em aplicações onde é necessário maior tração como: trens elétricos, bondes elétricos e guinchos elétricos.

Motor composto: Conhecido por alguns como motor misto, apresenta as características dos motores série e dos motores paralelos. Ele possui dois enrolamentos de indutor, um em série com o enrolamento induzido e o outro em paralelo. Possui característica de manter firme a sua velocidade ao estar operando com carga, é usado em acionamento de máquinas que são submetidas à bruscas variações de cargas, como prensas e tesouras mecânicas.

Motor de excitação independente: o indutor e a sua armadura são alimentados por duas fontes de energia independentes. São utilizados normalmente em acionamentos de máquinas operatrizes como: ferramentas de avanço, bombas a pistão, compressores, entre outras aplicações que é necessário um torque constante em toda a faixa de rotação.

Motor paralelo: conhecido como motor de derivação ou motor shunt, nesse motor o indutor e os enrolamentos induzidos são ligados em paralelo. Ele tem como característica a fácil regulagem de sua velocidade, é utilizado em máquinas, ferramentas, elevadores, esteiras etc.

## Tipos dos Motores de Corrente Contínua

Motor de Passo: Possuem várias bobinas, que quando são energizadas de acordo com uma sequência, fazem com que o seu eixo se mova de acordo com ângulos exatos, submúltiplos de 360. São usados em aplicações que exigem uma alta precisão, como impressoras tradicionais, impressoras 3D e em outros sistemas de controle de posição.

Apesar de possuir uma alta precisão, ele possui um torque muito baixo, sendo que quanto maior sua precisão menor será o seu torque.

Servo motor: é muito utilizado em aplicações de robótica. Basicamente é um motor que podemos controlar a sua posição angular através de um sinal PWM, utilizado para posicionar e manter um objeto em uma determinada posição.

O eixo de um servo não possui grande rotação, é de apenas 180°.

Motor brushless: É um motor sem escova, ele não precisa de escovas para funcionar. São similares aos motores de corrente contínua (CC) tradicionais com escova, porém são comutados eletronicamente (ESM), de modo que podem ser alimentados por uma fonte de corrente contínua.

Por possuir uma comutação sem escovas (brushless) é mais eficiente, necessitando de menos manutenção, menor geração de ruídos, possui uma maior densidade de potência e faixa de velocidade comparando com os motores de comutação por escovas. É utilizado em drones e aeromodelos.

Ele é leve e possui grande velocidade de rotação, em contrapartida contém uma eletrônica que contribui para um maior custo de aquisição.