

Acionamentos Eletrônicos

Aula 10 - Acionamentos Eletrônicos: Chaves convencionais de partida de motores

Apresentação

Os motores elétricos são largamente utilizados na indústria, em uma infinidade de aplicações. No entanto, eles consomem uma quantidade de energia razoável na sua operação, e mais ainda na sua partida (acionamento). Por essa razão, a forma como o motor parte é extremamente relevante para o consumo de energia, podendo ser minimizado se o motor for acionado de forma adequada à sua aplicação. Nesta aula, estudaremos maneiras convencionais de partida de motores.

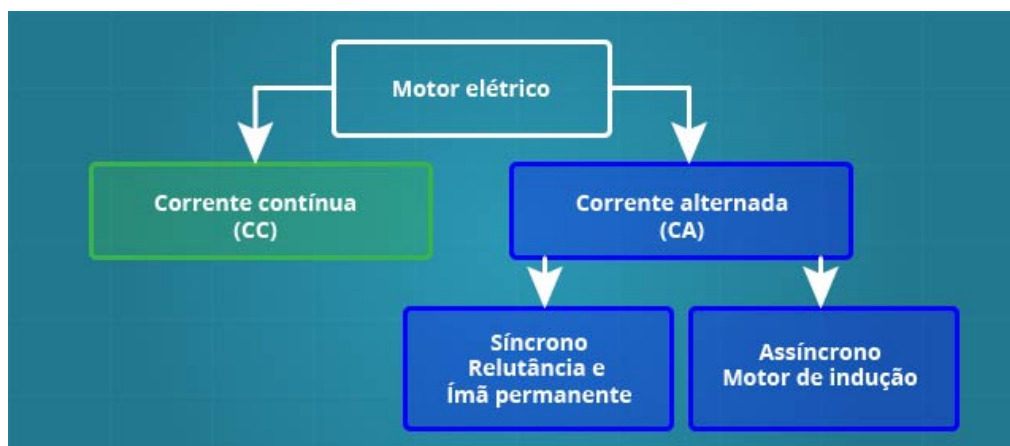
Objetivos

- Definir partida de motores elétricos e seus tipos.
- Reconhecer os tipos convencionais de partidas de motores.
- Saber definir as vantagens e desvantagens de cada tipo de partida convencional de motores.

Tipos de motores

Um motor elétrico é um dispositivo capaz de converter energia elétrica em energia mecânica. Existe uma grande divisão entre os tipos de motores, que são os alimentados em corrente contínua (CC) e em corrente alternada (CA). Entre os de corrente alternada, ainda há a divisão entre motores síncronos e assíncronos, que são definidos em função da existência do sincronismo ou não entre os campos magnéticos do estator e rotor. As máquinas síncronas mais comuns são a de relutância e a máquina síncrona de ímãs permanentes, que tem esse nome devido ao campo do rotor ser gerado a partir de ímãs e não de bobinas. A máquina assíncrona mais popular é a máquina de indução, que leva esse nome devido ao campo no rotor ser gerado por indução magnética a partir do campo do estator. A Figura 1 mostra um resumo da classificação básica das máquinas elétricas.

Figura 01 - Classificação básica das máquinas elétricas.



Fonte: Autoria própria.

As máquinas elétricas ainda podem ser classificadas como monofásicas ou polifásicas (bifásicas, trifásicas etc.).

Formas de partida

Quando vamos partir qualquer máquina, é imprescindível que observemos dois pontos principais:

O torque que vai ser oferecido à máquina na partida é suficiente para que ele rompa a inércia?

A corrente na partida será muito elevada?

Analisando essas duas questões, temos condições de fornecer ao motor a energia suficiente para a sua partida de forma adequada, sem que haja necessidade de sobredimensionamento de condutores, pois temos condições de usar técnicas para limitar essa corrente na partida do motor. Em seguida, veremos métodos convencionais de partida de motores que vão desde a partida direta, sem preocupação com a corrente na partida, até a partida eletrônica suave.

Atividade 01

1. O que acontece quando ligamos um motor diretamente à rede elétrica?

[Clique aqui](#) para verificar sua resposta.

Respostas

1. O que acontece quando ligamos um motor diretamente à rede elétrica?

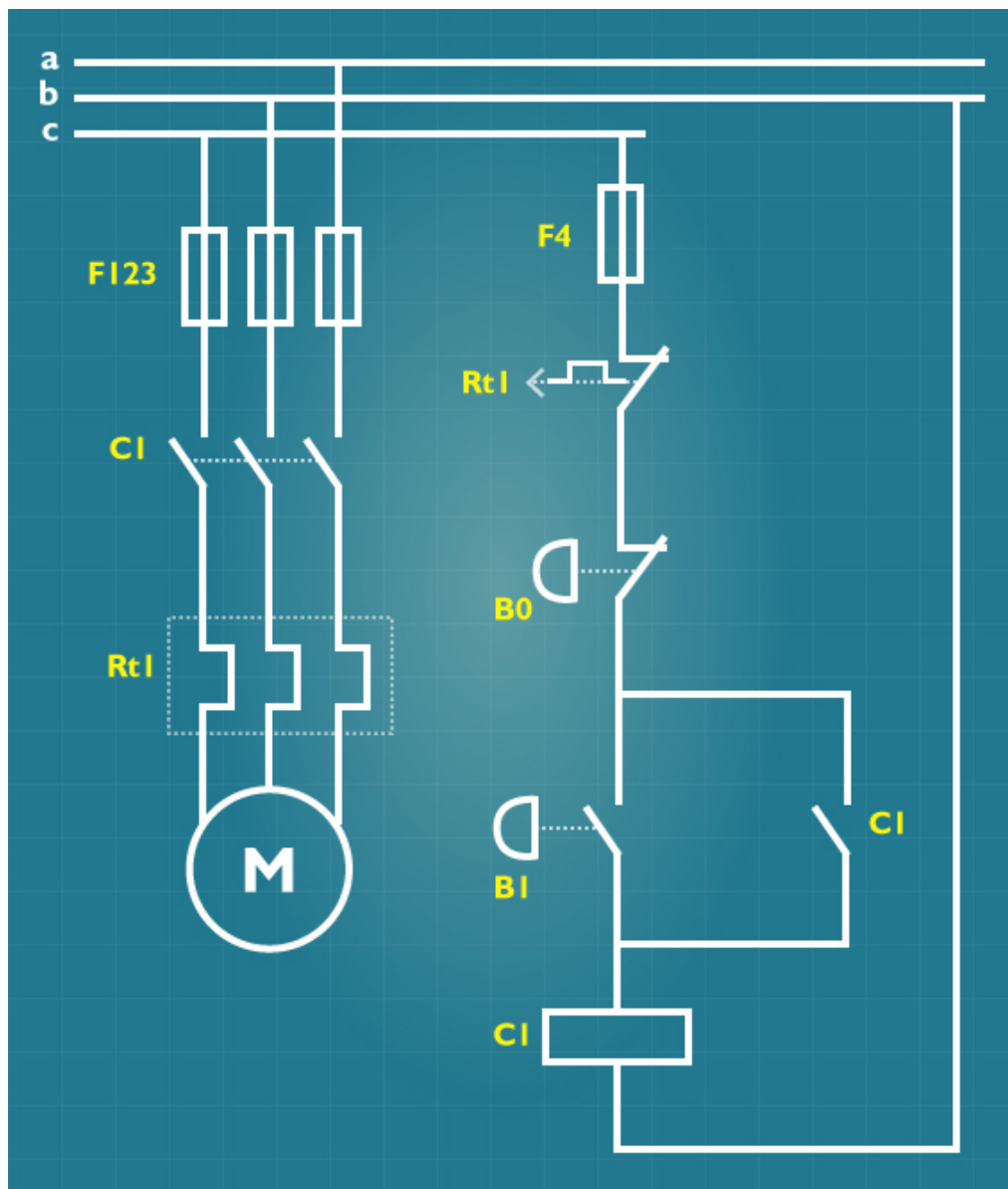
Ele exige uma corrente elevada para partir, sair da inércia dele. Essa corrente chega a ser 6 vezes a corrente nominal para alguns motores e acaba por demandar uma instalação elétrica sobredimensionada para aguentar essa corrente excedente da partida já que durante o funcionamento normal a corrente volta ao valor da corrente nominal.

Partida direta

Como o próprio nome sugere, a partida direta de motores é feita sem preocupação com a corrente na partida, é a maneira mais simples possível de acionar um motor, que é ligado diretamente à rede de alimentação quando o comando é acionado. Essa técnica é a menos utilizada, devido justamente à alta corrente que é demandada pelo motor na partida. Para que se tenha uma ideia, para o motor de indução, a corrente na partida pode chegar até 6 vezes o valor da corrente nominal, sendo portanto necessário um sobredimensionamento de condutores para suportar essa corrente apenas na partida, já que durante a operação normal, a corrente tem valor nominal menor.

O diagrama de comando para a ligação do motor com partida direta é mostrado na Figura 2.

Figura 02 - Ligação da partida direta



Fonte: Autoria própria.

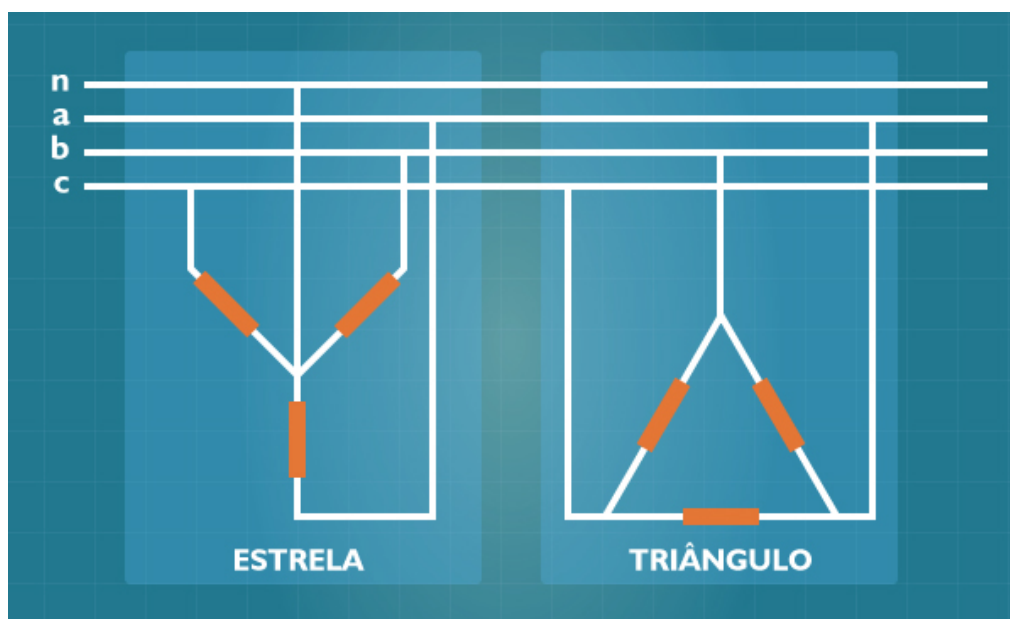
Quando a botoeira B1 é pressionada, então a corrente que passa a circular na bobina do contator C1 fecha o contato C1 do comando e de força. Quando a pressão é retirada de B1, o contato C1 do comando continua permitindo a passagem da corrente para a bobina do contator C1 mantendo o motor em funcionamento. Quando a botoeira B0 é pressionada, então a corrente cessa na bobina do contator C1 abrindo seus dois contatos fazendo com que o motor pare. Nesse caso, outra forma de o fornecimento de energia ser interrompido ao motor é se houver uma sobrecarga e o relé térmico Rt1 abrir o circuito fazendo a mesma função da botoeira B0.

Partida estrela triângulo

A partida estrela triângulo é uma partida bastante utilizada na prática, porém ela apresenta uma restrição, apenas pode ser utilizada em motores que possam ser alimentados com duas tensões distintas, em que a menor tensão deve ser a tensão da rede de alimentação e a maior em torno de 1,73 vezes a menor.

Isso ocorre devido à característica da ligação, que consiste em fazer a mudança da ligação estrela para triângulo (também chamada de delta) durante a partida. As ligações estrela e triângulo podem ser observadas na Figura 3.

Figura 03 - Ligação estrela e triângulo



Fonte: Autoria Própria (2014).

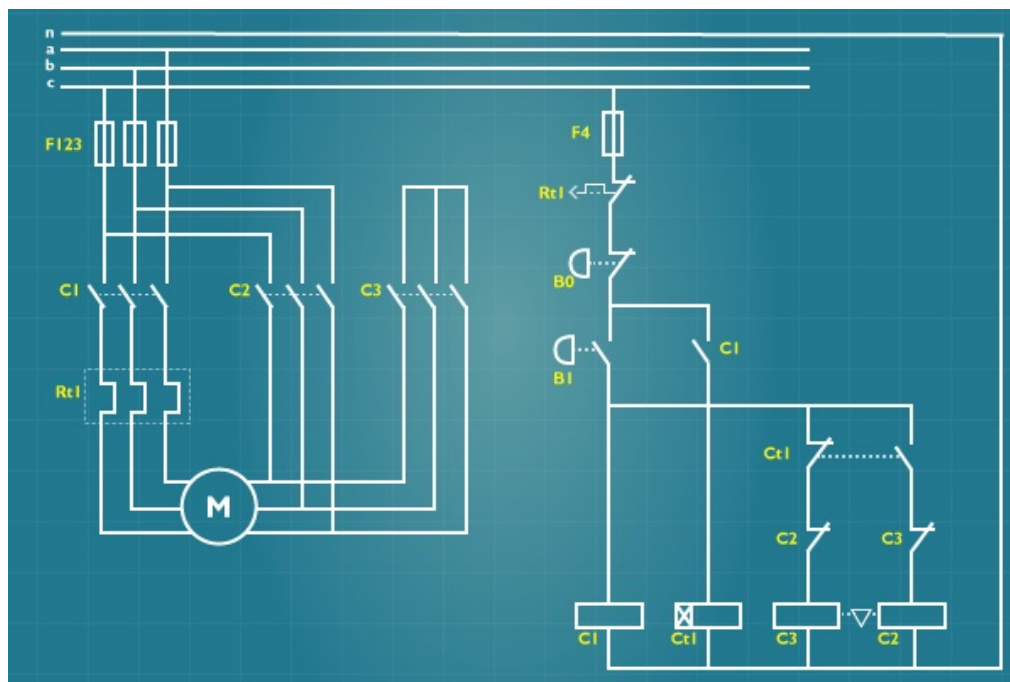
Observando as duas formas de ligação das bobinas do motor, é possível concluir que a tensão sobre cada enrolamento do motor na ligação em estrela é menor que a tensão em cada enrolamento do motor quando ligado em triângulo, uma vez que a tensão fase-neutro é menor que a tensão fase-fase.

$$V_{fase-fase} = \sqrt{3} \times V_{fase-neutro}$$

Esse método de partida consiste em fazer com que o motor seja ligado em estrela durante a partida, já que, nessa ligação, a tensão sobre as bobinas é menor, proporcionando uma redução para 1/3 da corrente nominal. Quando o motor atinge entre 80 e 90% da sua rotação nominal, então o comando chaveia as ligações do motor para triângulo, de forma automática ou manual.

A Figura 4 mostra o diagrama de comando para a partida estrela triângulo.

Figura 04 - Diagrama de comando para a partida estrela e triângulo.



Fonte: Autoria Própria (2014).

O diagrama mostra como fazer a conversão de estrela para triângulo durante a partida. Ao ser acionada, a botoeira B1, passa a existir corrente através da bobina do contator C1, que imediatamente fecha seus contatos no circuito de comando e de força selando o seu funcionamento. Ao mesmo tempo, passa corrente pelo contator temporizado Ct1, que inicia a contagem de tempo para que seus contatos sejam comandados. Então, por enquanto, também circula corrente na bobina do contator C3, que abre o seu contato no circuito de comando e fecha o do circuito de força, ligando o motor em estrela.

Quando o contator Ct1 termina a contagem, então os seus contatos são operados, abrindo o contato do ramo que tem a bobina do contator C3 e fechando o do ramo que tem a bobina do contator C2. Com isso, os contatos do contator C3

retornam à posição de repouso e os do contator C2 são acionados fazendo com que, no circuito de força, o contato C3 abra e o C2 feche, mudando a ligação do motor de estrela para triângulo.

Para o desligamento do motor, basta que seja acionada a botoeira B0, o relé de sobrecarga seja disparado ou um dos fusíveis atue.

Atividade 02

1. Qual a vantagem de se utilizar a partida estrela triângulo ao invés da partida direta para acionar motores elétricos?

[Clique aqui](#) para verificar sua resposta.

Respostas

1. Qual a vantagem de se utilizar a partida estrela triângulo ao invés da partida direta para acionar motores elétricos?

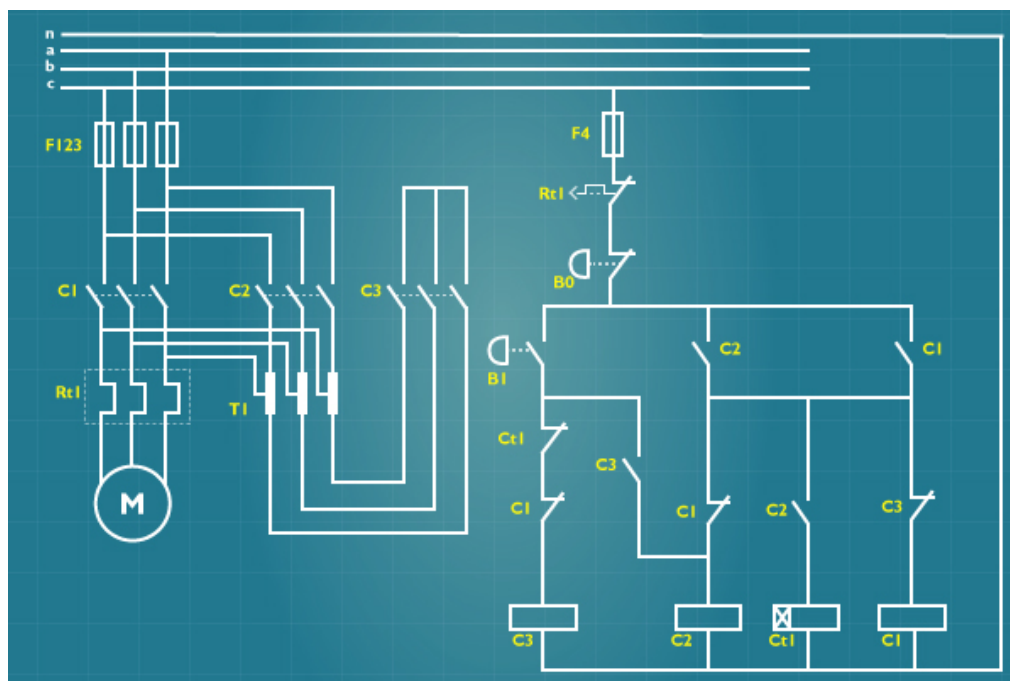
A partida estrela triângulo permite a aplicação de uma tensão menor sobre as bobinas do motor, reduzindo assim a corrente. No caso da diferença de tensão entre fase-fase e fase-neutro é dada pela fórmula $V_{fase-fase} = \sqrt{3} \cdot V_{fase-neutro}$. Com isso, na configuração triângulo, as bobinas estão cada uma ligada a uma fase e ao neutro, tendo assim a tensão reduzida em $\sqrt{3}$ se comparada a ligação fase com fase. Nessa configuração, a corrente é reduzida para 1/3 da nominal. Após o motor atingir 80-90% da sua rotação nominal o motor é comutado para a configuração triângulo, onde é aplicado a tensão nominal (e maior) sobre as bobinas, atingindo assim a potência nominal.

Partida com chave compensadora

A partida estrela triângulo tem restrição quanto ao seu uso, dependendo das características da ligação do motor. Nesses casos, são utilizadas outras formas de partida, como o uso da chave compensadora, que também tem como objetivo reduzir a corrente na partida por meio da redução da tensão aplicada aos enrolamentos do motor. Essa técnica também é conhecida como partida com autotransformador compensador.

A Figura 5 mostra o diagrama de comando para a partida com chave compensadora por autotransformador.

Figura 05 - Simbologia básica dos diagramas de comando



Fonte: Autoria própria.

Ao pressionar a botoeira B1, permitimos a passagem de corrente através da bobina do contator C3, fechando o contato do circuito de força e de comando, permitindo a passagem da corrente através da bobina do contator C2, fechando o seu contato no circuito de força e de comando, permitindo o funcionamento do motor alimentado com uma tensão reduzida devido ao terminal (tap) selecionado do transformador T1. O contato de C2 fechado passa a permitir a passagem de

corrente através do contator temporizado Ct1, que inicia sua contagem. Após terminado o tempo, o contato do contator Ct1 abre interrompendo a passagem de corrente pela bobina do contator C3, que por sua vez abre o contato no circuito de força e fecha no de comando, fazendo circular uma corrente pela bobina do contator C1, que fecha o seu contato no circuito de força.

Essa manobra permite que a ligação do transformador seja feita ora ligada no tap de menor tensão, ora em um de maior tensão, proporcionando uma redução na tensão aplicada ao motor durante a partida, assim como ocorre na partida estrela triângulo.

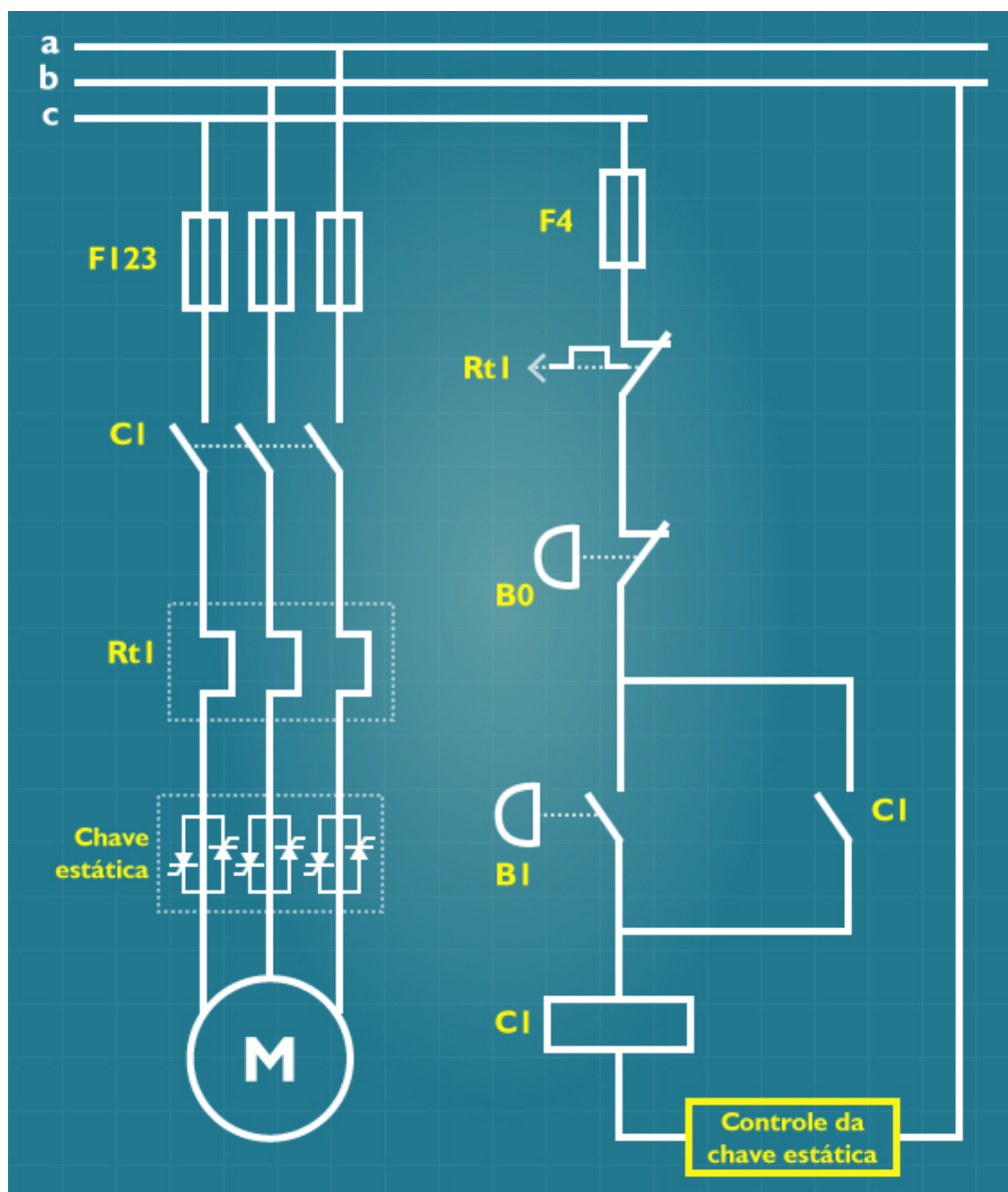
Partida suave (*soft starter*)

A partida eletrônica, como também é conhecida a partida soft starter, ainda é chamada de partida a estado sólido, e consiste em um acionamento baseado em tiristores ou combinação de diodos e tiristores. O controle do ângulo de disparo dos tiristores é feito para que a tensão aplicada ao motor durante a sua aceleração aumente de forma suave, à medida que o motor vá necessitando, até que sejam atingidos os seus valores nominais.

A partida suave é largamente utilizada não apenas por apresentar o controle da corrente durante a partida, mas também por não apresentar partes móveis como é o caso da utilização das chaves eletromecânicas, evitando o arco elétrico.

A Figura 6 mostra o diagrama de comando para a partida suave.

Figura 06 - Diagrama de comando para a partida suave



Fonte: Autoria Própria (2014).

A parte mais importante da partida suave está no controle das chaves, elas definem a tensão a ser aplicada aos enrolamentos do motor. Ao ser pressionada, a botoeira B1 permite o fechamento do contato C1 permitindo a alimentação do motor. No entanto, mesmo com essa chave fechada, quem define qual a tensão que será aplicada ao motor é o controle das chaves. Normalmente é usada uma função rampa como referência para a variação de tensão, pois essa referência se adequa perfeitamente à variação suave proposta pelo acionamento **soft starter**.

Comparação entre os tipos de partidas tradicionais de motores elétricos

Para termos uma visão geral das técnicas de partidas de motores elétricos, bem como uma comparação entre elas, observemos o Quadro 1.

	Partida direta	Estrela triângulo	Chave compensadora	<i>Soft Starter</i>
Custo	Baixo	Baixo	Baixo	Alto
Torque de partida	Alto	Reduzido a aproximadamente 1/3	Reduzido a aproximadamente 1/3	Próxima ao nominal
Corrente na partida	Alta	Reduzida a aproximadamente 1/3	Reduzida a aproximadamente 1/3	Próxima a nominal

Quadro 1 - Comparação entre os métodos de partida de motores elétricos.
Fonte: Autoria Própria (2014).

Para a partida direta, podemos ainda mencionar, como vantagem, a facilidade na sua implementação; e como desvantagem, a necessidade de sobredimensionamento dos condutores.

Note que as características da partida estrela triângulo são semelhantes as da com chave compensadora. A diferença principal está na utilização, já que para aplicar a estrela triângulo é necessário um motor com seis terminais. Além disso, quando comparado o custo apenas entre as duas, a partida com chave compensadora apresenta um valor mais alto. No entanto, para a estrela triângulo, se a distância entre o motor e a chave de partida for grande, o custo é aumentado por causa da necessidade dos seis cabos para a sua ligação.

Já o soft starter, aparece como o mais vantajoso operacionalmente, porém mais custoso financeiramente, o que se intensifica à medida que a potência do motor é reduzida. Podemos ainda mencionar como vantagem do soft starter a não limitação no número de manobra e o aumento da vida útil devido a não existência de partes eletromecânicas móveis.

Atividade 03

1. Qual a vantagem de se utilizar a partida suave para os motores elétricos?

[Clique aqui](#) para verificar sua resposta.

Respostas

1. Qual a vantagem de se utilizar a partida suave para os motores elétricos?

A redução da corrente de partida, além de que, utilizando o soft starter, não existem partes móveis, o que evita arcos elétricos.

Leitura Complementar

SOUZA, N. S. **Apostila de acionamentos elétricos**. Curso de Eletrotécnica. Natal, RN: IFRN, 2009. Disponível em: <http://docente.ifrn.edu.br/heliopinheiro/Disciplinas/maquinas-e-acionamentos-eletricos-ii/apostila-basica>. Acesso em: 11 ago. 2014.

Nessa leitura complementar, você vai entender um pouco mais sobre diagramas de comando de uma forma simples, bem como terá acesso a um panorama geral dos acionamentos elétricos.



Atenção!

Material da disciplina de Atuadores – IMDTEC:

Você também pode acessar as aulas 06 e 07 da disciplina de Atuadores dos Cursos Técnicos do IMD para saber mais sobre Acionamentos Elétricos/Eletrônicos.

- Atuadores - Aula 06: Acionamento de motores elétricos de corrente contínua e alternada.
<https://materiais.imd.ufrn.br/materialV2/inicio/modulo/3/1/58/6>
- Atuadores - Aula 07: Acionamento eletrônico de motores elétricos.
<https://materiais.imd.ufrn.br/materialV2/inicio/modulo/3/1/58/7>

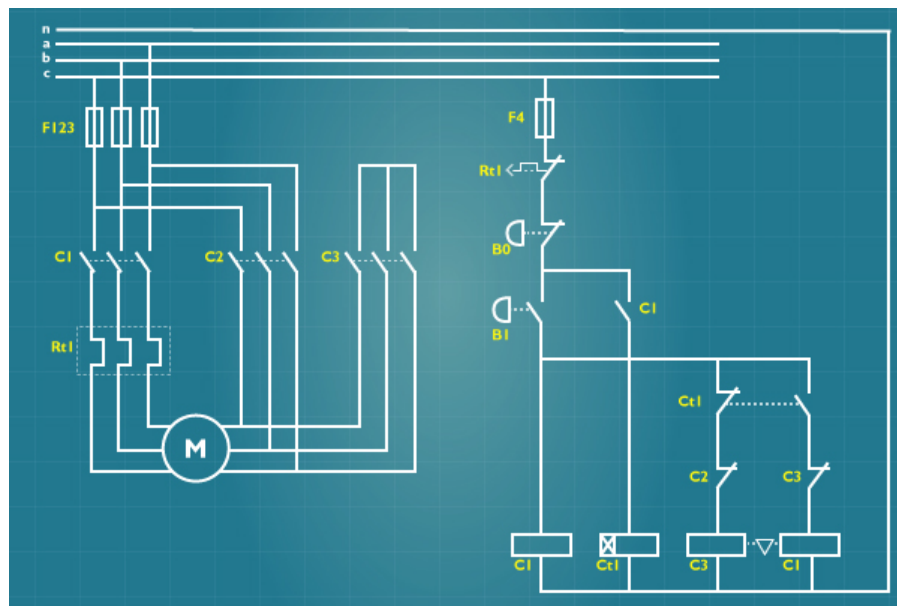
Resumo

Nesta aula, você conheceu as técnicas mais comuns de partidas de motores elétricos, viu suas definições, suas formas de operação e seus diagramas de comando. Teve a oportunidade de treinar um pouco mais sobre diagramas de comando e lembrar como são acionados, assim como visualizar uma aplicação prática na partida de motores.

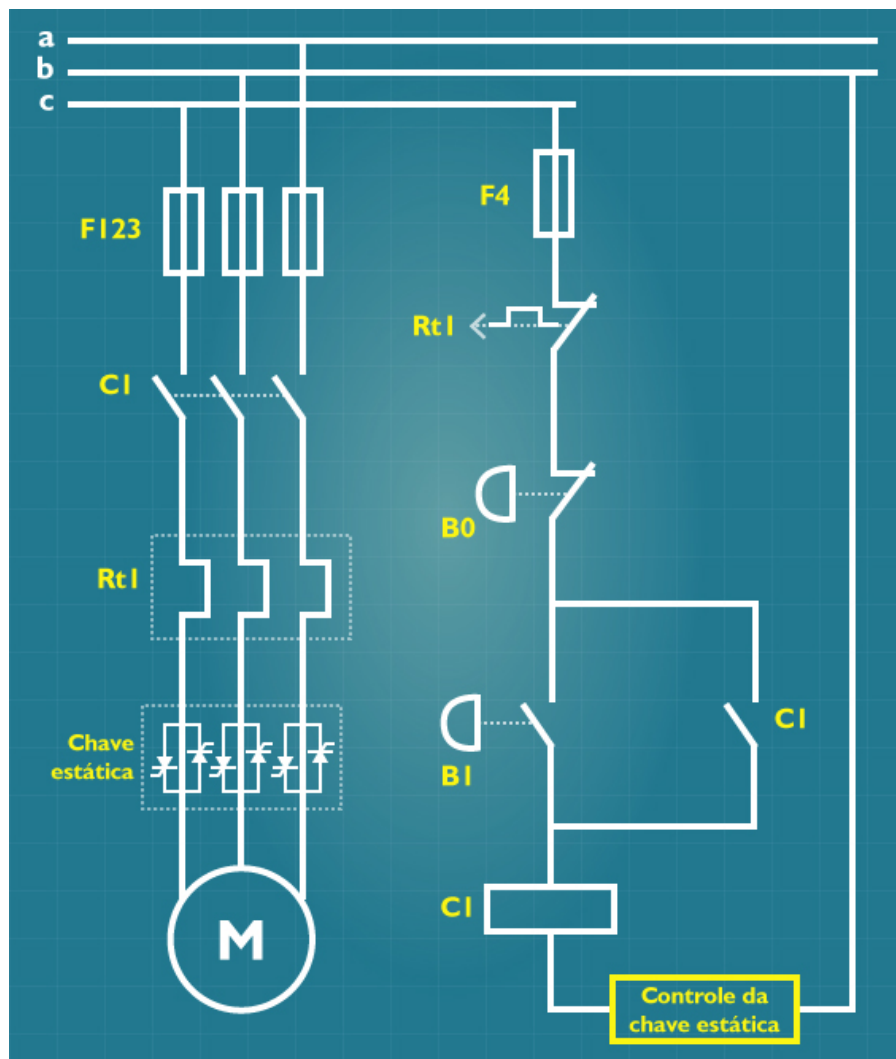
Autoavaliação

1. Porque devemos nos preocupar com a forma com que os motores elétricos devem ser ligados?
2. Quais as formas tradicionais de partidas de motores elétricos? Quais suas principais características?
3. Considerando o diagrama de comando para a partida estrela triângulo da figura abaixo, o que aconteceria no acionamento do motor se o contator

temporizado Ct1 fosse substituído por um contator comum?



4. Considerando o diagrama de comando da partida soft starter mostrado na figura abaixo, é possível a botoeira B1 ser pressionada e o motor não começar a funcionar? Como?



5. Como deve ser escolhida a forma de se acionar um motor elétrico tendo em vista as opções de partida direta, partida estrela triângulo, com chave compensadora e *soft starter*? O que deve ser levado em consideração?

[Clique aqui](#) para verificar suas respostas.

Respostas

1. Porque devemos nos preocupar com a forma com que os motores elétricos devem ser ligados?

Porque devemos nos preocupar se a potência fornecida ao motor permite que ele rompa sua inércia e dependendo do modo de acionamento, pode ser exigido uma corrente mais alta ou mais baixa da rede elétrica. Uma corrente mais alta que a nominal do motor

apenas para a partida além de forçar o motor, também exige dos condutores, que necessitam ser superdimensionados para aguentar essa corrente extra. Outro fator a ser considerado é o preço do método de acionamento e durabilidade. Dependendo da potência do motor, determinados modos de acionamentos, mesmos mais vantajoso no sentido de suavidade do acionamento, se tornam inviáveis economicamente.

2. Quais as formas tradicionais de partidas de motores elétricos? Quais suas principais características?

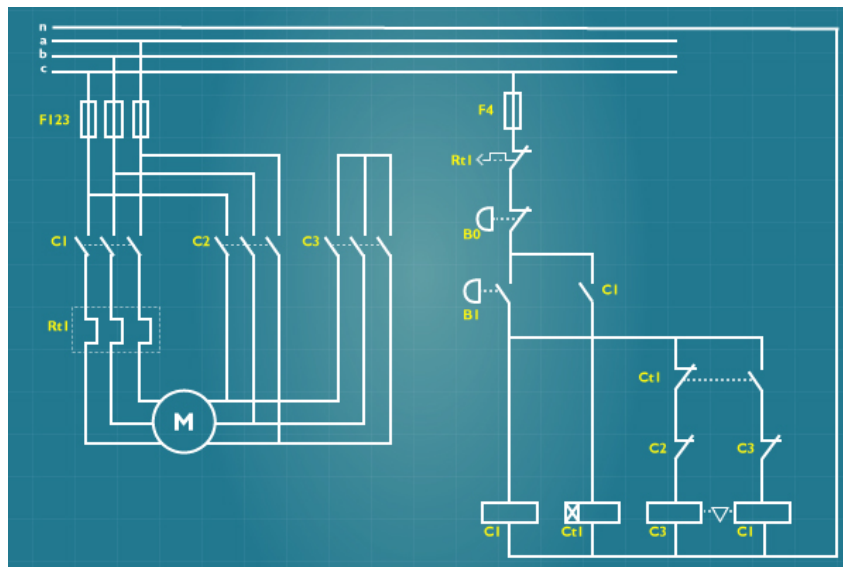
Partida direta - Custo baixo, torque de partida alto, corrente na partida alta.

Partida estrela-triângulo - Custo baixo, torque de partida reduzido (a aproximadamente $\frac{1}{3}$ da nominal), Corrente de partida reduzida (a aproximadamente $\frac{1}{3}$ da nominal).

Partida com chave compensadora - Custo baixo, torque de partida reduzido (a aproximadamente $\frac{1}{3}$ da nominal), Corrente de partida reduzida (a aproximadamente $\frac{1}{3}$ da nominal).

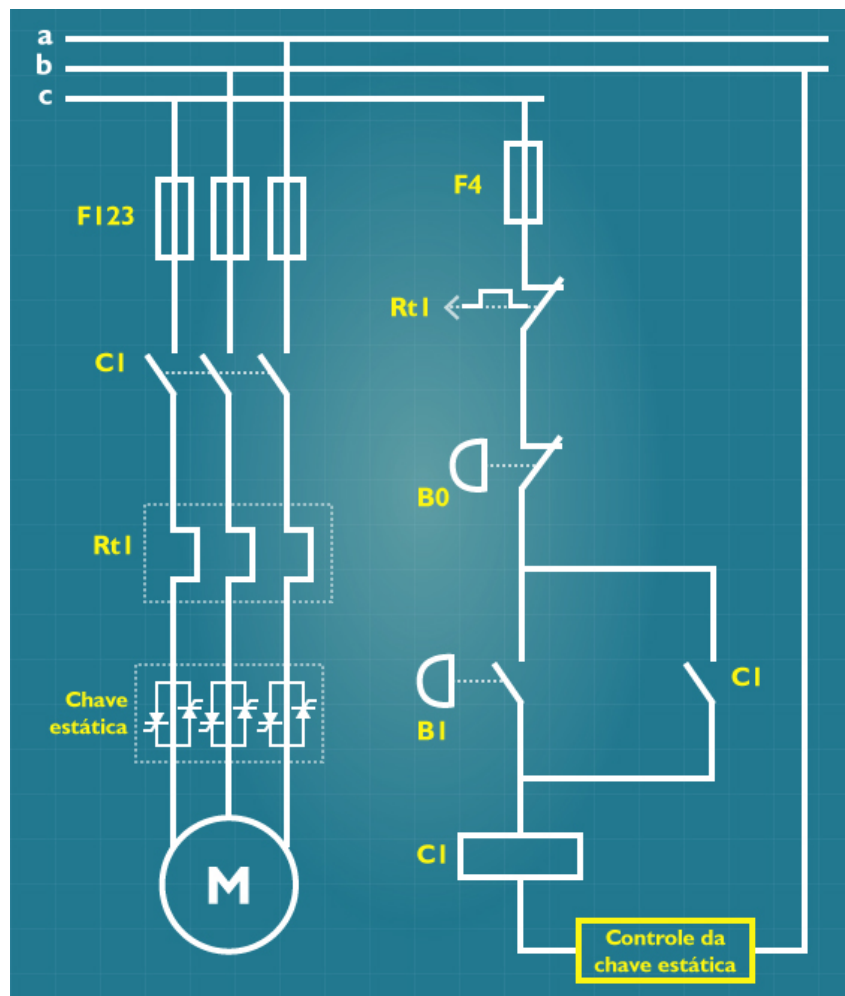
Partida soft starter - Custo alto, torque próximo ao nominal, corrente de partida próxima ao nominal.

3. Considerando o diagrama de comando para a partida estrela triângulo da figura abaixo, o que aconteceria no acionamento do motor se o contator temporizado Ct1 fosse substituído por um contator comum?



Como C1, Ct1 e C3 estão ligados em paralelo, quando a botoeira B1 fosse acionada todos os três contatores seriam energizados, o que levaria a comutação instantânea da configuração estrela para a triangulo. Isso levaria o motor a partir com a tensão nominal, exatamente como na partida direta.

4. Considerando o diagrama de comando da partida soft starter mostrado na figura abaixo, é possível a botoeira B1 ser pressionada e o motor não começar a funcionar? Como?



Sim. As únicas formas do motor não ser acionado quando a botoeira B1 for pressionada é nos casos da botoeira B0 estar pressionada também, o relé térmico estar acionado devido a um aquecimento ou o controlador da chave estática não estiver gerando o chaveamento.

5. Como deve ser escolhida a forma de se acionar um motor elétrico tendo em vista as opções de partida direta, partida estrela triângulo, com chave compensadora e *soft starter*? O que deve ser levado em consideração?

A escolha deve ser realizada com base na potência do motor (que leva a corrente de partida necessária para sair da inércia), na distância do motor até o painel de acionamentos e o custo do circuito de acionamento. Para motores com baixa potência, a partida direta pode ser vantajosa pois o sobredimensionamento dos cabos e circuitos de proteção pode não ser tão oneroso assim. Já na partida estrela triângulo ou na com chave compensadora são utilizados cabos extras

e a distância do motor ao circuito de acionamento pode encarecer o sistema. Mas se a potência do motor for muito elevada, pode-se considerar o uso de sistemas mais caros como a partida soft starter, pois a corrente e o torque de partida são mantidos próximos aos nominais, reduzindo drasticamente o custo com as outras opções. Averiguando esses itens, o projetista deve fazer a sua escolha para a que mais se aproxima das condições requeridas do seu processo.

Referências

BELOV, N. V. **Acionamentos Tradicionais**. Caxias do Sul, RS: EDUCS, 1997.

MASCHERONI, José M.; LICHTBLAU, Marcos; GERARDI, Denise. Guia de aplicação de inversores de frequência. 2. ed. Florianópolis, SC: WEG, [20--?]. Disponível em: <http://www.mundoeletrico.com/downloads/Guia_de_Aplicacao_de_Inversores_de_Frequencia.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2014.