

COMANDO ELETRÔNICO PARA PARTIDAS ESTRELA - TRIÂNGULO

Aldo Luiz Vale Mina¹
Rafael de Oliveira Silva²

RESUMO

A partida estrela triângulo é utilizada em motores elétricos trifásicos e funciona produzindo um fechamento em forma de estrela e após alguns segundos, depois da partida do motor, o sistema migra para fechamento triângulo, reduzindo a corrente elétrica no momento desta partida. Leituras sobre esse tipo de motor, assim como a curiosidade pessoal sobre o tema, deram origem a esta pesquisa cujo objetivo é esclarecer como funciona esse tipo de partida, enfocando seus principais componentes. A metodologia aplicada neste artigo é a pesquisa bibliográfica e, posteriormente, a construção de uma simulação de um motor utilizando esse tipo de partida através de um simulador, para observação do funcionamento da mesma; como cada componente age no mesmo, entre outras questões. A partir da pesquisa, percebe-se que esse tipo de partida tem sido cada vez mais utilizada, devidos aos maiores espaços para os componentes, e aos custos menores. Não possui limites para o número de manobras, entre outras características que popularizaram esse tipo de partida.

Palavras-chave: Motor Elétrico. Corrente Elétrica. Eletrônica.

INTRODUÇÃO

Os motores elétricos são utilizados em todo o mundo, para as mais diversas finalidades. Esses motores quando do modelo trifásico utilizam diversos tipos de partida, tendo sido popularizada a estrela-triângulo que tem sido uma das mais utilizadas por sua praticidade e baixos custos (FRANCHI, 2008). Esse modelo de partida tem componentes específicos, cada qual com sua função dentro do motor elétrico, fazendo com que haja a formação de um fechamento em forma de estrela cujo objetivo é reduzir a corrente elétrica no instante da partida do motor elétrico trifásico.

A pesquisa mostra-se interessante no sentido de possibilitar a compreensão de como funciona o processo partida de um motor elétrico que utiliza o modelo estrela-triângulo, de forma que seja avaliadas suas potencialidades e os motivos que fazem com que esse modelo seja um dos mais utilizados atualmente nos motores elétricos.

Objetiva-se com esta pesquisa compreender melhor como funciona a partida estrela-triângulo, quais são seus componentes, como os mesmos funcionam, quais as

¹ Aluno do curso de Engenharia de Produção da UNIRV – Universidade de Rio Verde (GO).

² Professor orientador.

características desse sistema, e o que o diferencia e o torna mais atrativo que outras formas de partida. O alcance desse objetivo será possível; a partir de dois recursos metodológicos. Foi feita uma pesquisa bibliográfica primeiramente para compreender o que são os motores elétricos, o que é a partida estrela-triângulo, seus componentes, entre outros temas. Posteriormente, foi utilizado um simulador para que fosse testado esse tipo de partida e compreendido como ele funciona em relação a cada um dos componentes nele envolvidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Motores Elétricos

O motor elétrico é um tipo de dispositivo que transforma a energia elétrica em energia mecânica, na maioria das vezes a energia cinética (FRANCHI, 2008). Quando uma corrente elétrica está presente no motor, seja de forma contínua ou alternada, o eixo entra em movimento, e dependendo da aplicação do motor, há um aproveitamento diferenciado.

A grande presença de motores elétricos responsáveis pelo acionamento de máquinas e equipamentos mecânicos faz com que esse seja um assunto de grande interesse econômico, especialmente porque segundo Franchi (2008), dados demonstram cifras bilionárias envolvidas na produção desses tipos de motores anualmente. No caso das indústrias, estima-se que de 70 a 80% da energia elétrica consumida seja gerada através dos motores elétricos.

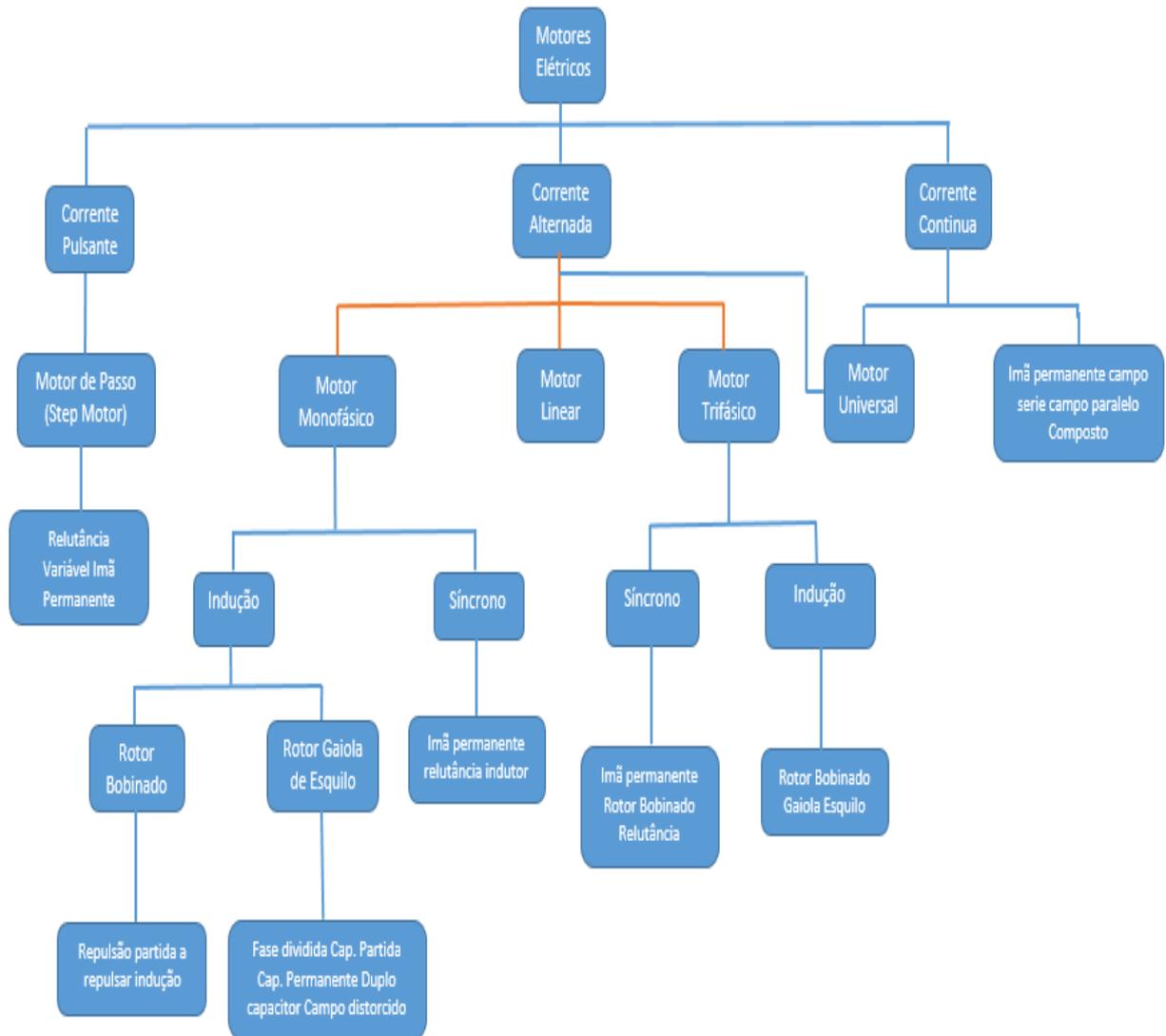
Existem dois tipos de motores. Os motores corrente contínua (DC) possuem um controle preciso de velocidade, ajuste fino, o que faz com que sejam utilizados dentro de sistemas que exijam esse tipo de características. Mesmo possuindo um custo elevado, é uma alternativa para diversos tipos de aplicação. Já os motores corrente alternada (AC) possuem configuração mais econômica, utilizando motores de indução em gaiola. A maior parte dos motores, atualmente fabricados tem é desse tipo, é o que afirma Franchi (2008).

O motor de indução é o mais utilizado pela indústria, isto porque a maior parte dos sistemas atuais que promovem a distribuição de energia elétrica é de corrente alternada. Em relação ao motor de indução este é um sistema simples, promovendo baixo custo e maior eficácia, além de uma manutenção pequena. Em relação ao seu rendimento, ele é considerado como elevado, tanto para médias como para máximas cargas, além disso, o uso de uma seleção correta garante um bom fator de potência a esse tipo de motor (FRANCHI, 2008).

Especificamente sobre os motores elétricos, os motores CA que se dividem entre

monofásico, universal e trifásico e o motor CC, que pode ser do tipo excitação série, excitação independente, excitação compound e ímã permanente, assim como considera Franchi (2008). O autor apresenta a figura (1) o seguinte esquema para esses tipos de motores e suas subdivisões:

FIGURA 1: tipos de motores e suas subdivisões



Fonte: Arquivo pessoal, 2017.

Como a maior parte dos motores elétricos utilizados atualmente na indústria são os de corrente alternada, os autores e as diversas pesquisas tem lançado um olhar mais aprofundado sobre os mesmos.

Sobre as características desses motores apresentados, o motor com rotor gaiola de esquilo é o mais robusto entre eles, não exigindo escovas nem de comutadores, o que gerou uma característica importante aos mesmos, devido ao seu menor desgaste diminui a

necessidade de manutenção, considera Franchi (2008).

O motor com rotor bobinado é composto por três bobinas assim como foi visto no estator do motor. Sua ligação, em geral, é em forma de estrela, com três terminais livres conectados a anéis deslizantes no eixo do rotor. São esses anéis que garantem o melhoramento do conjugado de partida, assim como a diminuição do pico de corrente na mesma. Para obter mais velocidade de regime para o motor, são aplicados diferentes rotores (FRANCHI, 2008).

O motor dahlander é o mais utilizado para motores de duas velocidades, sendo também utilizada uma velocidade maior e outra menor. Aquele que apresenta velocidade maior tem melhor rendimento, apresentando de 1.5 a 1.8 mais potência que aquele que utiliza velocidade menor. É um tipo de motor composto por seis bobinas, seis terminais, não podendo ser adaptado para duas tensões (FRANCHI, 2008).

O motor com dois enrolamentos separados possibilita a existência de duas velocidades em um só motor. Quando um enrolamento funciona, o outro fica desligado, o que para muitas pessoas é uma desvantagem, uma vez que apenas metade do motor está funcionando, gerando um menor rendimento.

Já o motor para três e quatro velocidades possui um enrolamento Dahlander unido a um enrolamento separado (três velocidades) ou dois enrolamentos Dahlander separados em um só motor (quatro velocidades) (FRANCHI, 2008).

No caso do motor de indução, o modelo assíncrono é constituído pelo circuito magnético estático, bobinas e o rotor, este que é responsável pela transmissão da carga à energia eletrônica produzida. Outro modelo de motor é o motor de indução monofásico, este recebe esse nome porque seus enrolamentos de campos estão ligados diretamente a uma fonte monofásica. Entre seus vários tipos, destaca-se os motores com rotor gaiola, já que são de mais simples fabricação, robustez, confiabilidade e um menor número de manutenções (FRANCHI, 2008).

Os motores monofásicos também podem ter dois terminais e são destinados a um valor de tensão, não podendo ser adaptados a outras tensões. A mesma tensão aplicada a placa deve ser utilizada na rede de alimentação. Possui como desvantagem o fato de que não permite a inversão de seu sentido de rotação (FRANCHI, 2008).

No caso do motor monofásico com quatro terminais há um enrolamento dividido em duas partes iguais e por isto é possível utilizar duas tensões, uma maior e outra menor. Também não aceita a inversão do sentido de rotação do motor. Outro modelo é o motor monofásico com seis terminais que aceita a ligação em dois tipos de tensão de alimentação diferentes, assim como a inversão do sentido do giro do motor, o que não pode acontecer

quando o motor está em movimento (FRANCHI, 2008).

O motor de indução monofásico divide-se em motor de polos sombreados que também ganha a nomenclatura de motor de campo distorcido, sendo considerado como o mais simples, confiável e econômico desses motores; motor de fase dividida, que possui um enrolamento principal e um auxiliar, a corrente de rotor bloqueado variada entre cinco e sete vezes a corrente nominal, a inversão do sentido do giro do motor exige a inversão da polaridade dos terminais de rede em relação a um dos enrolamentos, o controle de velocidade é limitada. (FRANCHI, 2008).

O motor de capacitor de partida que assemelha-se ao de fase dividida, mas possui a inclusão de um capacitor eletrolítico em série com o enrolamento auxiliar de partida e a inversão de giro do motor exige a inversão da polaridade dos terminais de ligação de rede em relação a um dos enrolamentos; motor de capacitor permanente que apresenta o enrolamento auxiliar e o capacitor ligados de forma permanente, sendo que o capacitor é do tipo eletrostático, são menores e praticamente não necessitam de manutenção, não possuindo contatos e partes móveis, como visto em outros modelos (FRANCHI, 2008).

O motor com dois capacitores que utiliza a partida como o motor de capacitor de partida e o funciona da mesma forma que o motor de capacitor permanente. Possui alto custo e só é fabricado em potências superiores a 1 cavalo-vapor (CV). Utiliza-se dois capacitores durante o período de partida e aceita a inversão do sentido de rotação, porém, inversões frequentes podem levá-lo a redução de sua vida útil (FRANCHI, 2008).

O motor síncrono recebe essa nomenclatura porque seu rotor é sincronizado com o campo girante que é estabelecido no estator. Sua velocidade é considerada como constante e requer a aplicação de uma tensão alternada no estator do motor. A possibilidade de variação de excitação do campo faz com que ele possua um diferencial em relação a outros tipos de motores, que é sua possibilidade de variação do fator de potência (FRANCHI, 2008).

2.2 Partida de Motores

Motor de Indução do tipo Gaiola esquilo, tem sido mais utilizado em indústrias de pequeno e grande porte. Nesse caso, é um tipo de motor composto por barras de alumínio, núcleo de chapas de ferro magnéticas isoladas entre si. Há união entre esses componentes de forma que eles provoquem um curto-circuito nos seus condutores.

As vantagens desse tipo de motor é que o tempo de construção do induzido é mais

rápida, possuindo um custo benefício melhor, tendo também fácil ligação em rede. Mas também apresentam como desvantagem, o torque de partida que é reduzido, em relação à corrente absorvida pelo estator.

Os motores de Partida Indireta apresentam um alto valor da corrente elétrica no ato da partida e por isso apresentam como desvantagem o consumo excessivo de energia. Há de se considerar a existência de vários tipos de partida indireta, para a relação de corrente de um motor trifásico. Já que vamos utilizar uma partida indireta com acionamento feito pelo um circuito eletrônico, onde há algum tipo de porta lógica que será explicada seguidamente.

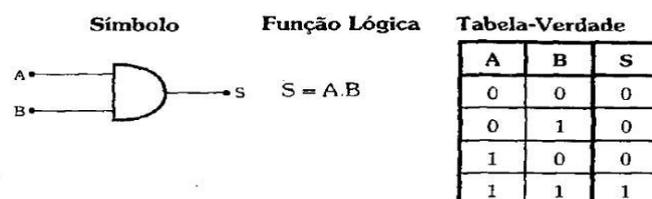
2.3 Portas Lógicas

As portas lógicas são dispositivos presentes nos circuitos digitais cujo objetivo é promover a implantação de funções lógicas (LOURENÇO et al, 1996). Essa função lógica é um tipo de operação que envolve álgebra booleana e que pode ser aplicada a uma ou mais variáveis lógicas. Lourenço et al (1996) destaca a existência de três funções básicas que são o AND, OR e NOT e as derivadas dessas funções, NAND, NOR, XOR e XNOR. Cada uma das funções lógicas está ligada as portas lógicas correspondentes.

2.3.1 Porta Lógica AND (E)

A porta lógica AND (E) assume a função AND quando todas suas variáveis lógicas de entrada também tiverem valor 1. Ela é escrita a partir de duas variáveis de entrada, A e B, da seguinte forma: $S = A.B$. Utiliza-se ainda o símbolo (.) para representar essa operação. O circuito elétrico que utiliza a porta lógica com função AND é representado na figura 2:

FIGURA 2: Símbolo, Função Lógica e Tabela-verdade da Porta AND.



Fonte: Lourenço, 1996

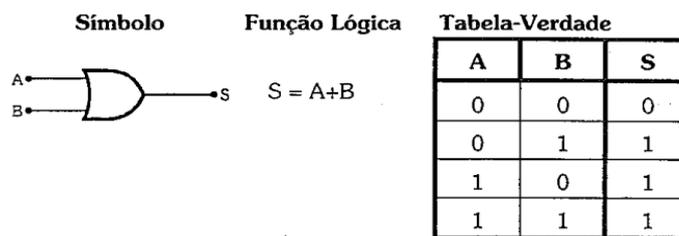
Autores consideram que há algumas dificuldades em um esquema elétrico de um

projeto que possui várias portas lógicas como representado na figura 2, por isto usa-se a simbologia que gera uma representação mais simples e clara dos diferentes circuitos lógicos existentes e de suas funções específicas.

2.3.2 Porta lógica OR (OU)

A porta lógica OR (OU) executa a função lógica OR (OU) e de acordo com Lourenço (1996), a função OR assume o valor 1 quando pelo menos uma das variáveis de entrada também tiver o valor 1, formando a seguinte lógica: $S = A + B$, onde o símbolo (+) é utilizado para representar a operação OR. Observa-se a figura (3).

FIGURA 3: Símbolo, Função Lógica e Tabela-verdade da Porta OR.

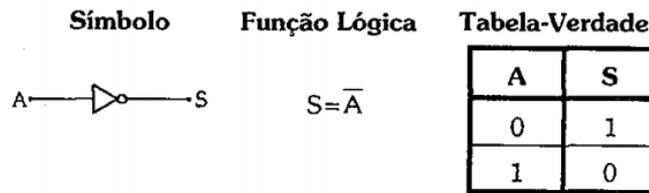


Fonte: Lourenço, 1996

2.3.3 Porta Lógica NOT (NÃO)

Já a porta lógica NOT (NÃO) que também recebe o nome de porta Inversora ou Inversor executa a função lógica NOT (NÃO). De acordo com Lourenço (1996) essa é considerada como uma operação de inversão, responsável por converter o estado ou o valor de uma função variável lógica em seu complemento. Assim quando é realizada a operação NOT em uma função ou em uma variável de valor 1, a consequência é um valor 0 ou vice-versa. São utilizadas nessa operação diferentes simbologias como o apóstrofo, asterisco, entre outras, mas o mais utilizável é uma barra sobre a função ou variável. Observar-se a figura (4).

FIGURA 4: Símbolo, Função lógica e Tabela-verdade da porta NOT

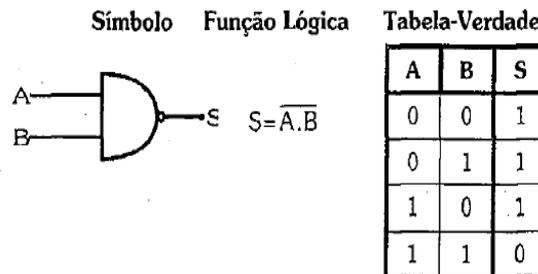


Fonte: Lourenço, 1996.

2.3.4 Porta Lógica NAND (NE)

A Porta Lógica NAND (NE) tem função inversa a função lógica AND (E), ou seja, a saída apresenta nível lógico 1, se pelo menos uma de suas variáveis de entrada tiver valor 0. Tal característica fez com que ela ficasse conhecida como porta lógica NOT-AND (NÃO-E). A figura (5) apresenta o símbolo dessa operação na tabela-verdade:

FIGURA 5: Símbolo, Função Lógica e Tabela Verdade da Porta Lógica NAND.

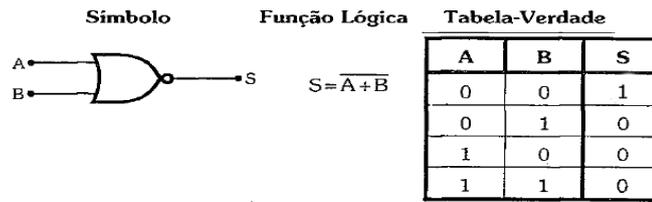


Fonte: Lourenço, 1996, p.52.

2.3.5 Porta Lógica NOR (NOU)

No caso da Porta Lógica NOR (NOU), é um tipo de circuito lógico que executa a função inversa da função lógica OR (OU). Para ocorrer precisa é necessário que a saída apresente nível lógico 1 e que todas as variáveis de entrada tenham valor 0, ficando conhecida assim como NOT-OR (NÃO-OU). Sua representação na tabela-verdade pode ser visualizada na figura (6):

FIGURA 6: Símbolo, Função Lógica e Tabela-verdade da Porta NOR

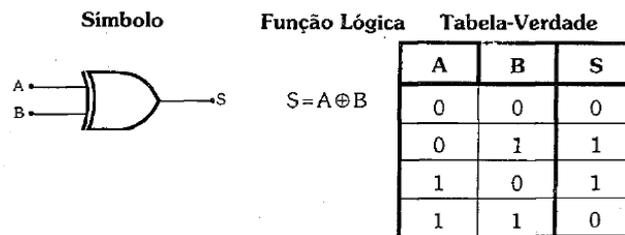


Fonte: Lourenço, 1996, p.52.

2.3.6 Porta Lógica XOR (OU-EXCLUSIVO)

A Porta Lógica XOR (OU-EXCLUSIVO) tem como resultado nível lógico 1 e para isto deve sempre existir um número ímpar de níveis lógicos 1 nas entradas, como afirma Lourenço (1996), como observa-se na tabela-verdade contida na figura 7:

FIGURA 7: Símbolo, Função Lógica e Tabela-verdade da Porta XOR

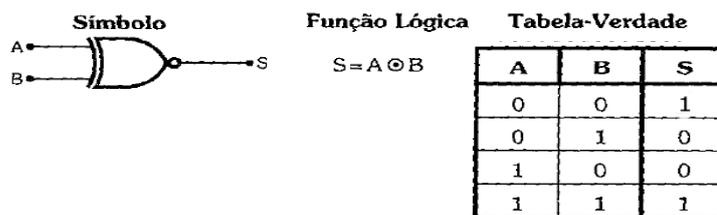


Fonte: Lourenço, 1996, p.52.

2.3.7 Porta lógica XNOR (COINCIDÊNCIA)

A última das portas lógicas é a XNOR (COINCIDÊNCIA) que de acordo com Lourenço (1996) trabalha em contraposição à XOR, uma vez que o resultado nível lógico 1, sempre acontece se existir em suas variáveis de entrada um número par de níveis lógicos 0 ou 1. a figura 8 apresenta o símbolo, a função e a tabela-verdade da porta lógica XNOR e de suas entradas:

FIGURA 8: Símbolo, Função Lógica e Tabela-verdade da Porta XNOR



Fonte: Lourenço, 1996, p.56.

As portas lógicas são muito usadas em aparelhos eletrônicos, como por exemplo em portões, esteiras, ar-condicionado, motores elétricos e entre outros, estas portas lógicas tem uma função de mandar um ou mais sinais lógicos para um determinado componente, mais com apenas uma saída lógica, podendo assim ter várias funções para determinados usos.

2.4 Componentes para Partidas de Motores

2.4.1 Temporizador

O temporizador (figura 9) é um relé de tempo, que tem a função de retardar na energização e na desenergização. De acordo com Franchi (2008) esse dispositivo de automação de partidas dobradas é muito comum em motores elétricos pesados, com mais de 5CV e sua lógica funciona através do funcionamento dos contadores Y e Delta, tendo ainda um intervalo entre eles, de forma a evitar curtos entre suas fases. O autor cita ainda que ele é específico para ser utilizado em controle de partida de motores elétricos trifásicos, especificamente aqueles que utilizam chaves automáticas estrela-triângulo, que exigem um controle de tempo preciso e também a redução do espaço físico.

FIGURA 9: Temporizador



Fonte: Catálogo WEG, 2017.

2.4.2 Fusível Niederspannungs Hochleistungs (NH)

É um corpo retangular de porcelana com extremidade metálicas em forma de faca. No seu interior é possível encontrar um fusível e o elo indicador de queima. O Contator é

considerado como elemento fundamental para os comandos eletro metálicos, pois é ele quem permite o controle de elevadas correntes por meio de um circuito de baixa corrente. Sua constituição se dá por uma bobina que pode ser de 24 V a 660 V dependendo da tensão local. Observa-se a figura 10.

FIGURA 10: fusíveis NH



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

A sigla NH indica “Niederspannungs Hochleistungs”, que advém do alemão e significa “baixa tensão e alta capacidade de interrupção”. Eles utilizam duas letras, sendo que a primeira denomina a “faixa de interrupção” que é o tipo de sobrecorrente, sobre a qual o fusível irá atuar e a segunda “categoria de utilização”, que é o tipo de equipamento que o fusível irá proteger.

2.4.3 Disjuntor Motor

Os disjuntores motores são dispositivos de proteção de manobra por sobre corrente e curtos, podendo ser ajustado a corrente no seu dispositivo para determinada carga que será utilizada. Observa-se na figura 11.

FIGURA 11: Disjuntor Motor



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

Este dispositivo tem como função promover a proteção contra curto-circuito e sobrecarga. Um de seus componentes é o “knob” que promove o ajuste da proteção da intensidade de corrente (ajuste da proteção térmica), como afirma Matsumi (2017).

2.4.4 Contactor

O contactor é um comando eletromecânico que tem um controle de corrente alta por um circuito de corrente baixa, ele é constituído por uma bobina que normalmente é alimentada pelos contatos A1 e A2, quando alimentada ele cria um campo magnético fixo que atrai seu núcleo móvel que fecha seus contatos.

FIGURA 12: Contactor



Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

2.4.5 Relés térmico de Sobrecarga

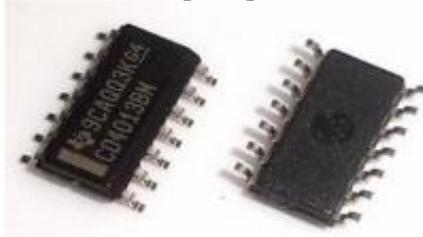
A função do relé de sobrecarga é proteger as cargas contra o aquecimento indevido, seja ele causado pela sobrecarga seja pela falta de fase, o que acontece pelo aumento na corrente do motor. A elevação da corrente faz com que haja o acionamento do mecanismo de disparo que atua sobre os contatos auxiliares, que desligam a carga por meio de um contador.

FIGURA 13: Relés Térmicos

Fonte: Arquivo Pessoal, 2017.

2.4.6 Flip – Flop

É um bloco primário utilizado na construção de unidades de armazenamento, sendo o componente principal da memória mais rápida. De acordo com Lourenço (1996, p.199) esse circuito sequencial também é conhecido como biestável uma vez que “possui dois estados lógicos estáveis 0 e 1, circuito este muito importante por ser o elemento básico dos circuitos registradores e contadores”. Sua função básica é armazenar níveis lógicos de forma temporária, é, portanto, um elemento de memória e mesmo tendo diferentes configurações, todos eles apresentam duas saídas complementares chamadas Q e \bar{Q} .

FIGURA 14: Flip-flop

Fonte: FRANCHI, 2008.

Assim, o flip-flop segundo Lourenço (1996) é um circuito sequencial, que pode ser classificado como assíncrono e síncrono. No primeiro caso, o flip-flop tem duas entradas que recebem o nome de reset (R) e set (S) e é considerado como assíncrono porque o tempo que é necessário para que haja a atualização das saídas Q e \bar{Q} , dependerá do atraso (Δt) das portas lógicas que fazem parte desse circuito. Já o modelo síncrono apresenta além das entradas reset (R) e set (S), uma terceira entrada que recebe o nome de CK, que é responsável por determinar o instante de atualização das saídas.

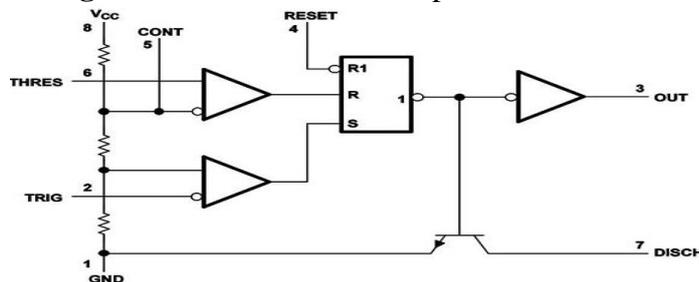
2.4.7 CI 555

De acordo com Campos (2011) o CI 555 é um circuito integrado com vasta aplicação relacionadas ao tempo considerado como circuito induzível e ela pode ser operada em 4,5 a 18 V. com suas principais aplicações como: a temporização de precisão, ser gerador de atraso e de pulso, assim como modulador por largura de Pulso.

O fato de que o CI 555 opera em uma faixa de tensão de alimentação variável faz com que ele possa ser utilizado em diferentes circuitos industriais, sendo uma boa opção em níveis TTL e alimentação por baterias. Sua alta corrente de saída deste CI, em torno de 200 mA, é considerada como uma vantagem. É um tipo de corrente que pode acionar diretamente relés, lâmpadas, entre outros componentes que tem demanda por potência elevadas, tendo como capacidade de operar com frequência máxima de trabalho de até 1 MHz.

A figura 15 demonstra um modelo do CI 555 e seus componentes:

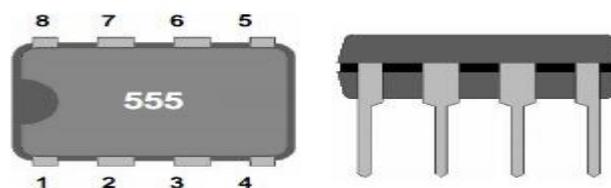
Figura 15: CI555 e seus componentes



Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/592-o-circuito-integrado-555-art011>, acesso 2017.

Na figura o CI é composto por um flip-flop tipo RS, dois comparadores de tensão, um transmissor de carga, três resistores de $5k \Omega$ e um buffer de corrente que é responsável por fornecer a este componente elevadas correntes.

Figura 16: CI555



Fonte: <https://www.electronica-pt.com/555>, acesso 2017

Assim, busca-se compreender de que forma funciona a estrela triângulo e porque ela tem se tornado cada vez mais utilizada em motores elétricos.

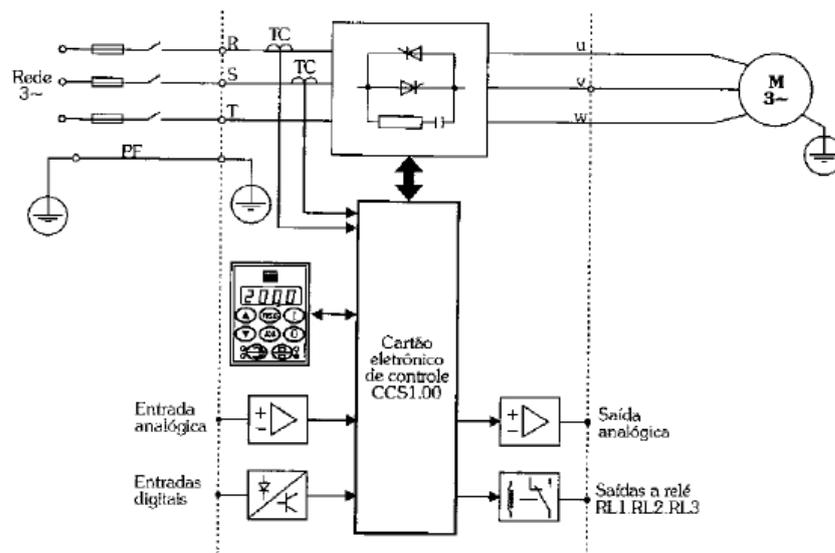
2.5 Chaves de Partidas

2.5.1 Soft – Starter

As chaves de partida “soft-starters” são chaves com funções programáveis que tem a função de acionamento de acordo com as necessidades do usuário. Possibilita ainda o controle das rampas de aceleração e desaceleração, promove a limitação de corrente ajustável, proteção do acionamento por sobrecarga (FRANCHI, 2008).

É o soft-starter que permite o controle das características de funcionamento, principalmente durante os períodos de partida e de parada, a proteção térmica do motor e do controlador e a proteção mecânica da máquina movimentada por supressão dos golpes e redução da corrente de partida. Seu funcionamento ocorre a partir do uso de SCRs (tiristores), que são comandados por uma placa eletrônica de controle e que tem como objetivo ajustar a tensão de saída. Esse funcionamento pode ser visualizado na figura (17) abaixo:

FIGURA 17: Diagrama de Blocos Simplificados do Soft-starter



Fonte: FRANCHI, 2008.

2.5.4 Chave Compensadora

O objetivo da partida compensadora (figura 18) é reduzir a elevada corrente de partida em um motor de indução. Seu uso é sugerido para motores elevados começando com a carga mínima, até sua plena carga. De acordo com Souza (2017) este é um dos métodos mais utilizados para reduzir a corrente de partida de motores trifásicos.

FIGURA 18: Trafo - Partida Compensadora



Fonte: <http://www.rasatronic.com.br/produtos/industrial>, acesso 2017.

É um tipo de chave que tem como objetivo alimentar o motor com tensão reduzida em suas bobinas de partida. Para que isto seja possível é feita uma ligação de um autotransformador em série com as bobinas do motor, estas que após a aceleração do motor voltam a receber tensão nominal.

2.5.3 Chave Estrela Triângulo

De acordo com Franchi (2008), uma das áreas que mais tem causado problemas dentro dos motores elétricos é a de partida. Existem dois tipos de partida, a direta e a indireta. A partida direta segundo Franchi (2008) é a forma mais simples de partir um motor elétrico. Nesse modelo as três fases são ligadas diretamente ao motor, o que gera um pico de corrente. As próprias concessionárias impõe que só sejam partidos motores abaixo de 5 cv em partidas diretas e abaixo de 10 cv em instalações industriais. Esse método deve ser colocado em prática quando houver: Baixa potência do motor de modo que tem como objetivo limitar as perturbações originadas pelo pico de corrente; A máquina movimentada não necessita de uma aceleração progressiva e possui um dispositivo mecânico (reductor) que tem como objetivo

evitar uma partida muito rápida, fazendo com que o conjugado de partida seja elevado.

Através da chave de partida direta é possível ter equipamentos simples e de fácil construção e projeto, partida rápida e baixo custo, assim como conjugado de partida elevado,. São essas partidas indiretas de motores elétricos que permitem a redução da corrente nominal no momento da partida de motores. De acordo com Moraes (2006) sabe-se que o motor trifásico tem como característica o aumento de sua corrente nominal no momento em que ocorre sua partida.

A chave estrela-triângulo é “uma chave manual com três posições: desligado, estrela e triângulo. No caso do motor que utiliza esse tipo de partida, ele é alimentado com a redução de tensão nas bobinas durante esse processo de partida quando o motor recebe 58% da tensão que deveria receber. Através da chave estrela-triângulo as três fases do motor são ligadas durante a partida, até uma rotação próxima da nominal (90%). Quando atinge 90% da velocidade nominal forma-se a ligação para triângulo, as bobinas recebem 100% da tensão nominal e o motor também atinge essa velocidade. Cita-se a necessidade de que o motor utilize dupla tensão, seja 220/380V, 380/660V, 440/760V, tendo também o motor com no mínimo 6 terminais.

Para Moraes (2016) as maiores vantagens da estrela-triângulo é que possui um custo reduzido, não tendo limites para o número de manobras, seus componentes ocupam pouco espaço e há a redução da corrente de partida (aproximadamente 1/3 da nominal). O autor considera que:

A grande vantagem na utilização deste sistema de partida é que neste caso o circuito empregado irá permitir a redução da corrente de partida do motor elétrico trifásico fazendo uso da redução da tensão de fase (A tensão em cada uma das bobinas que compõe o motor) (MORAES, 2016, p.14).

É preciso assim que haja pelo menos um motor de seis terminais e que haja o fechamento de suas bobinas para que seja possível a redução de sua tensão de fase, fazendo com que assim haja a redução da corrente de partida do motor elétrico trifásico.

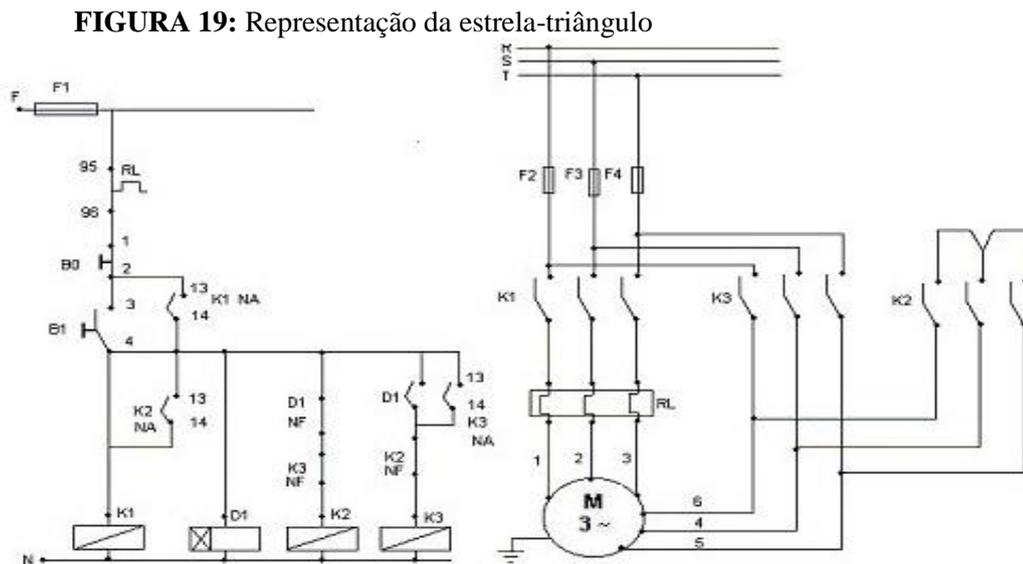
Moraes (2016) lembra que esse sistema de partida apenas é utilizado para que haja o acionamento do motor e após o tempo definido pelo temporizador, o motor passa a ser alimentado normalmente, onde o sistema realiza seu fechamento em triângulo.

É um modelo que, porém, também encontra desvantagens como só funciona em um motor com no mínimo 6 terminais, onde a tensão da linha de rede deve ser igual a tensão da ligação triângulo do motor, o momento de partida é reduzido em 1/3. A sequência de

operação da estrela-triângulo é a seguinte:

Contator K1 → Força Contator K2 → Triângulo contator K3 → Estrela

No início do processo aciona-se o K3 (estrela) e posteriormente o K1 (força). Após o tempo configurado (temporizador) cai o K# e entra o K2 (Triângulo). Observe a representação figura 19 da estrela-triângulo abaixo:

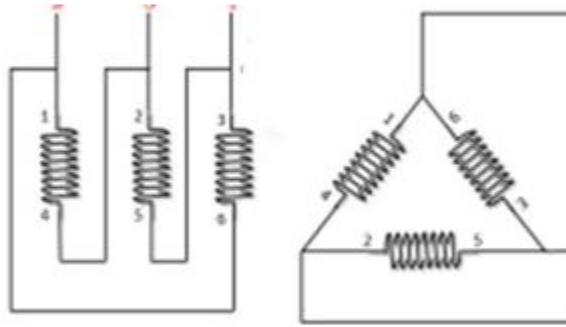


Fonte: <https://automacoes.net/2008/12/01/historico-da-automacao-industrial/>, acesso 2017.

Este é o diagrama de potência partida estrela triângulo:

Nota-se através do diagrama que os contadores K1 e K2 são os responsáveis por acionar o motor no fechamento em estrela. É o K1 que irá alimentar com o sistema trifásico os terminais 1, 2 e 3 do motor e o contator K2 é responsável pela realização do circuito. É essa configuração que dá origem ao fechamento do motor em estrela, como observa-se na figura (20) abaixo:

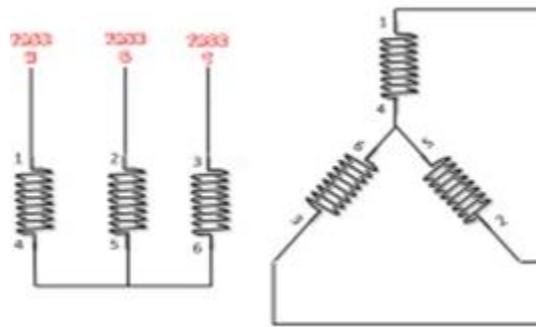
FIGURA 20: Fechamento em estrela de MIT



Fonte: Saber elétrica, 2017.

De acordo com esse diagrama de potência, o contador K3 é aquele que tem a responsabilidade de, junto ao K1 fazer o fechamento do motor em triângulo. Na figura 21, observa-se como os terminais 1-6, 2-4 e 3-5 estão unidos e recebendo a alimentação. Observe:

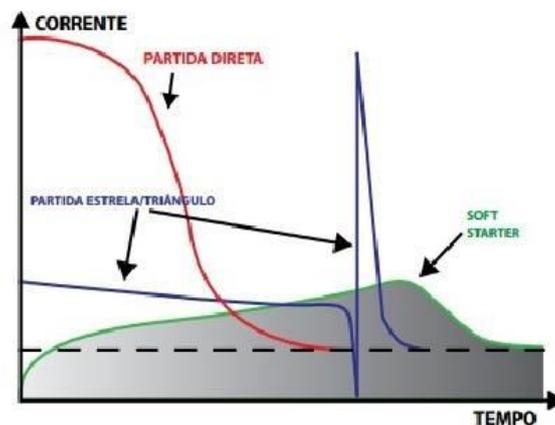
FIGURA 21: Fechamento de motor trifásico em estrela



Fonte: Saber elétrica, 2017.

A imagem 23 abaixo é um gráfico de corrente da partida direta, estrela-triângulo, Sofstart.

FIGURA 23: gráfico de corrente de partida direta – estrela-triângulo, sofstart



Fonte: Mundo da elétrica, 2017.

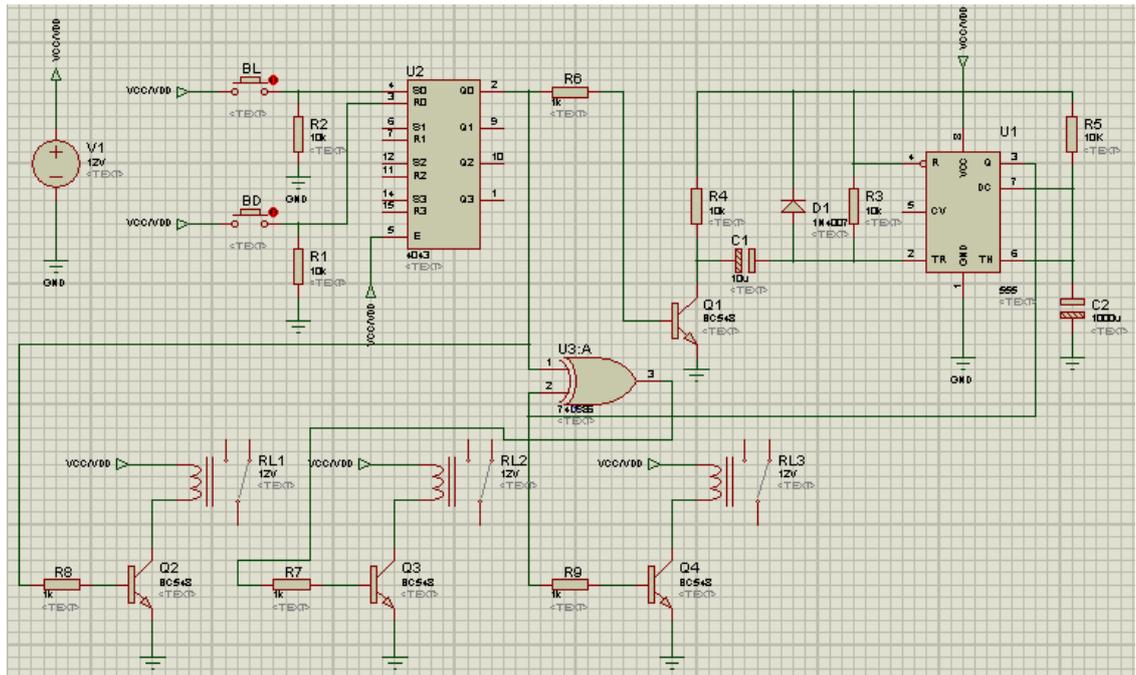
A figura 23 apresenta pico de corrente de cada partida, sendo ela direta e indireta, mostra-se que a partida direta tem um pico altíssimo até estabilizar na sua corrente nominal para o funcionamento do motor, mais observando a linha da partida Soft starter, onde seu usuário determina com qual percentual de corrente começará, para dar partida no motor, sendo assim em rampa. Já a estrela triângulo, como foi dito anteriormente, ela começa com meio termo e com o tempo já voltando pra nominal até que a outra contatora se acione e o pico se eleve rapidamente voltando para sua corrente nominal.

MATERIAIS E MÉTODOS

A intenção deste projeto é a adequação e comodidade para se obter um acionamento em estrela-triângulo, onde se usa componentes eletrônicos para acionamento do comando do mesmo, tendo assim como vantagens, o espaço para os componentes, então o painel será menor e mais prático para uso, seu custo será menor, pois os componentes eletrônicos são mais baratos. Assim, foi utilizado um simulador para fazer uma projeção de como funciona esse tipo de partida e o funcionamento de seus componentes elétricos e eletrônicos.

Este projeto mostra também a importância de uma partida com a chave estrela – triângulo para motores acima de 10CV, aonde o principal objetivo é mostrar que pode acionar um motor com a partida estrela- triângulo com acionamento eletrônico, tendo assim mais espaço no painel e menos custo em alguns componentes, com isso pode ser um produto viável para indústrias de pequeno, médio e grande porte, pois pode ser um produto para comercialização. Na figura 24 mostra um esquema eletrônico de um comando proposto para comutação dos contadores de uma partida estrela – triângulo.

FIGURA 24: Esquema eletrônico de um comando – partida estrela

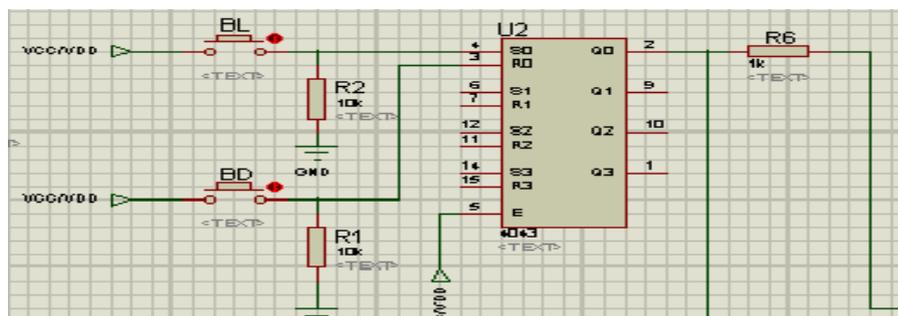


Fonte: Proteus 7,8 ISIS

O circuito eletrônico apresentado pela figura (24) pode ser dividido em algumas etapas:

Etapa 1: O Flip-flop é acionado quando pressionado o botão BL (liga) do esquema, com isso há um resistor usado em modo Pull-down, de modo que com a chave aberta este resistor fixa o nível lógico 0 e se fechada o nível lógico 1. Neste caso optou-se por utilizar um Flip-flop tipo RS na forma de circuito integrado especificado por CD4043, onde o mesmo conta com três saídas como pode ser visto através da figura (25) abaixo.

FIGURA 25: Simulação da partida estrela-triângulo.



Fonte: Proteus 7,8 ISIS

Ainda na figura (25) acima, é possível notar a presença de um resistor de denominado (R6), cuja função é limitar a corrente no pino 2 (saída Q0) do flip-flop sendo está conectada na etapa seguinte.

Etapa 2: Esta etapa possui um circuito integrado 555, que atua como um temporizador responsável pelo tempo de permanência do contator K3 pertencente ao

fechamento em estrela do motor. Na figura (25), o CI 555 se encontra na configuração monoestável, ou seja, sua saída (Q) presente no pino 3 possui um só estado estável que para o caso é o nível lógico 0. Quando o pino 2 (trigger) é aterrado, a saída (Q) passa de seu estado estável para um próximo estado não estável (nível lógico 1) permanecendo neste por um tempo que pode ser calculado através da equação a seguir:

$$T = 1,1 \times R \times C$$

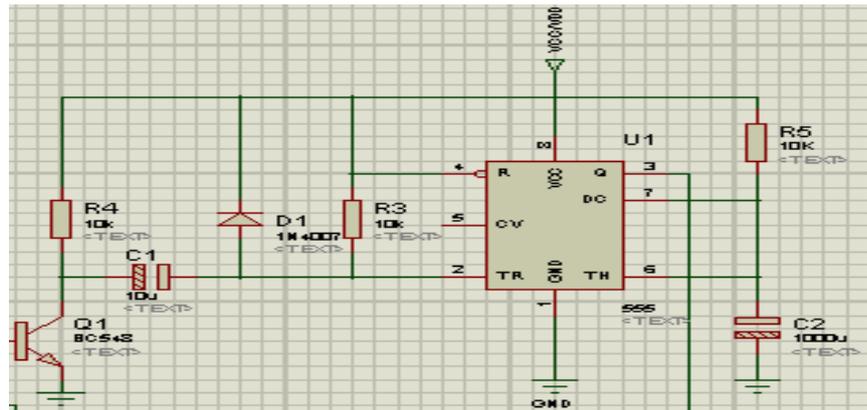
Onde T é o tempo em segundos que a saída permanece em nível lógico 1, R a resistência conectada ao comparador Threshold (pino 6) que é equivalente a resistência R5 do circuito e C é o capacitor que compõe uma rede RC de temporização juntamente com o resistor anterior sendo correspondente ao capacitor C2 do circuito. Desta forma, com os valores utilizados pelo circuito da figura (25), o tempo é calculado como:

$$T = 1,1 \times R 5 \times C 2$$

Convertendo a resistência R5 para Homs (Ω) e o C2 para Faraday (F) e substituindo na equação, tem-se um tempo aproximado de 11 segundos. Este valor foi escolhido por estar situado na faixa convencional de tempos de partida de motores.

Uma outra característica importante à ser comentado na etapa de temporização, é que o sinal de saída do flip-flop presente na etapa anterior, é retentiva, ou seja, o estado se mantém fixado em nível lógico 1, sendo assim, o transistor Q1 estará constantemente saturado aterrando o pino 2 do CI555 como consequência, o que inibirá a temporização de sua saída (pino 3) mantendo-a sempre em nível lógico 1. De forma a solucionar o problema descrito, o capacitor (C1) e o diodo (D1) foram inseridos na entrada do CI555, para o funcionamento correto da CI555 foram utilizados alguns componentes para energização do mesmo, após recebido o sinal no transistor, ele mandara o terra para o pino 2 do CI555 que automaticamente acionara a resistência R3 que carregara o capacitor C1 com 5V. O diodo D1 tem como função proteger o CI555 contra sobretensão no pino 2. Esta etapa foi ilustrada na figura 26.

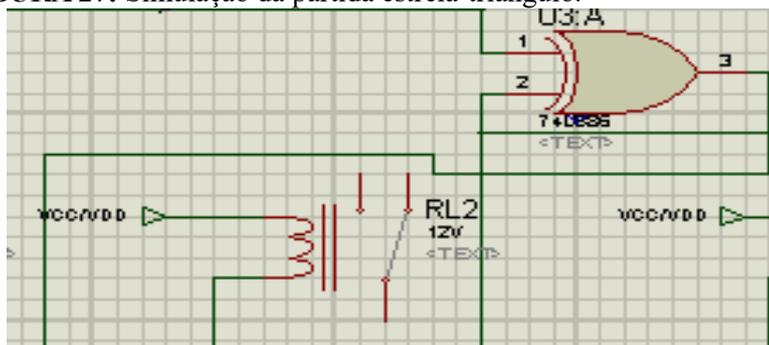
FIGURA 26: Simulação da partida estrela-triângulo.



Fonte: Proteus 7,8 ISIS

Etapa 3: Nesta etapa está sendo utilizado a porta lógica XOR, onde o pino 3 do CI555 esta conectado no pino 2 do circuito integrado 74LS86 que abriga 4 portas lógicas do tipo XOR. Onde das 4 portas lógicas utilizou-se uma somente, tendo uma entrada (pino 1) conectada na saída do flip-flop e a outra (pino 2) conectada na saída do CI555. A porta XOR possui a função de levar sua saída à nível lógico 1 sempre que em suas entradas existir um número ímpar de níveis lógicos, desta forma, quando o sistema é iniciado a saída do flip-flop mantém seu sinal em nível 1 assim como a saída do temporizador (CI555), como consequência a saída da porta lógica XOR resulta em nível 0. Após o término da temporização o CI555 eleva seu (pino 3) fazendo que sua combinação fique ímpar deixando assim a saída da XOR em nível logico 1, acionando assim o rele RL2 em triângulo.

FIGURA 27: Simulação da partida estrela-triângulo.

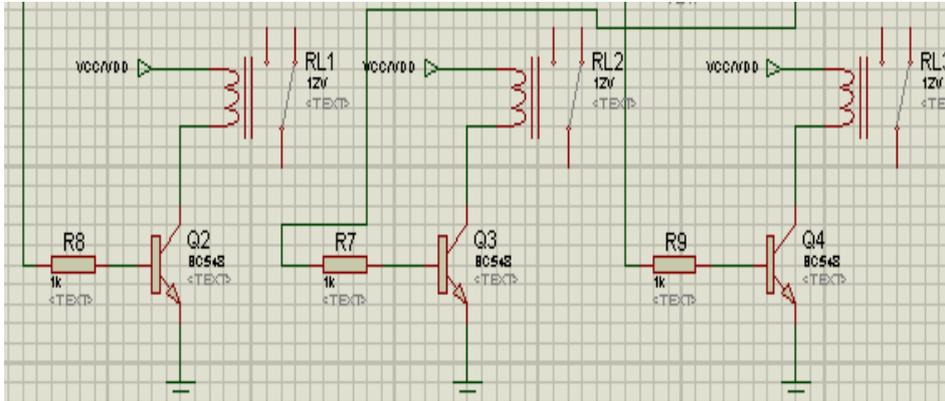


Fonte: Proteus 7,8 ISIS

Etapa 4: Esta etapa é responsável pela parte de potência onde serão acionados os relés e contadores, já os relés usados neste simulador são equipamentos eletrônicos de 12v, contendo nela um contato interno e uma bobina, sendo assim parecido com um contadora. Neste caso o relé exige uma etapa amplificadora para seu acionamento, como pode se ver notar que está sendo usado transistores BC548 para amplificação do mesmo, os relés são acionados por um polo positivo e um negativo passando pelos transistores, após acionados

mandam os sinais para os contatos A1 e A2 da contatora selando assim seus contatos, passando assim a força para o funcionamento do motor em partida estrela-triângulo.

FIGURA 28: Simulação da partida estrela-triângulo.



Fonte: Proteus 7,8 ISIS

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração desta pesquisa apresentou alguns resultados relevantes. A princípio, observou-se que o acionamento com comando utilizando circuito eletrônico para a estrela-triângulo tem sido bem vantajoso, pois houve uma redução de gastos com fios e principalmente com espaço no quadro de montagem, para o acionamento do motor, já que a manutenção futura pode ser mais fácil caso haja um eventual problema.

Conclui-se também que o acionamento eletrônico para esta partida estrela – triângulo está sendo utilizados alguns componentes eletrônicos sensíveis, pois são pequenos, mais essenciais para um melhor acionamento do mesmo. Conclui-se que há uma eficiência com este acionamento eletrônico, pois ele pode ser bem prático e acessível para uma indústria, devido a essa melhoria o profissional habilitado para o acionamento desta partida, poderá futuramente executar fazer manutenções mais rápida e precisa para uma eventual parada de um motor.

Portanto a partida estrela- triângulo é uma partida muito utilizada para motores acima de 10CV, pela vantagem de possibilitar uma partida mais suave do motor e ainda com uma redução de 1/3 da corrente nominal e recebendo menor nível de tensão de alimentação no motor. O uso desse tipo de ligação exige conhecimento do mesmo, para a aplicação de conceitos que tornem seu uso mais seguro possível, evitando acidentes elétricos.

REFERÊNCIAS:

CAMPOS, Fabrício. **Prática 2 – Aplicações do CI 555**. Disponível em <http://www.ufjf.br/fabricio_campos/files/2011/08/pratica_2_aplicacoes_555.pdf>. Acesso em 12 de maio de 2017.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. 4 ed. São Paulo: Érica LTDA, 2008.

FRANCISCO, Antônio M. S. **Motores Elétricos**. 2 ed. São Paulo: ETEP – Edições Técnicas Profissionais, 2014

LOURENÇO, Antônio C de; CRUZ, Eduardo C. Alves; FERREIRA, Sabrina R.; SALOMÃO C. JUNIOR. **Circuitos Digitais**. São Paulo: Érica, 1996.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais**. 6 ed. São Paulo: LTC, 2001.

MATSUMI, Carlos T. **Comandos Elétricos**. Disponível em <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~matsumi/geral/Comandos_Eletricos/Aula_Comandos_Eletricos_Industriais.pdf>. Acesso em 26 de maio de 2017.

MORAES, Everton. **Partida Estrela Triângulo do zero ao dimensionamento**. Disponível em <<http://cursodecomandoseletricos.com.br/wp-content/uploads/2016/02/Partida-Estrela-Tri%C3%A2ngulo-do-Zero-ao-Dimensionamento-versao1.0.pdf>>. Acesso em 11 de maio de 2017.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores Elétricos e acionamentos**. São Paulo: AMGH Editora LTDA, 2010.

SOUZA, Giovani Batista de. **A partida compensadora**. Disponível em <https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/c/c7/Laboratorio_4_Compensadora.pdf>. Acesso em 27 de maio de 2017.