

Qualidade de Energia Elétrica

Impacto da partida direta de motores na rede

1st Hiago O. B. Batista

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
hiago.batista@ufv.br

2nd Werikson F. O. Alves

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
werikson.alves@ufv.br
0000-0002-3444-2849

3rd Celso O. Barcelos

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
celso.barcelos@ufv.br
0000-0002-5044-5556

4th Mateus F. Souza

Departamento de Engenharia Elétrica
Universidade Federal de Viçosa
Viçosa, Brasil
mateus.f.souza@ufv.br

Resumo—Este trabalho trata de um problema muito recorrente no mundo industrial que afeta diretamente a área de Qualidade de Energia. Tal problema a ser estudado ocorre principalmente em indústrias que necessitam realizar a partida de muitos motores, e verifica-se que durante esse procedimento, são causados vários distúrbios na rede de energia, os quais geram problemas de qualidade de energia elétrica. Assim, este trabalho tem por objetivo a análise destes problemas e desenvolvimento de uma possível solução para o problema em questão, traçando uma estimativa do custo envolvido.

Index Terms—Qualidade de energia elétrica, Partidas de Motores, Chave compensadora, Partida estrela-triângulo.

I. INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica no Brasil vem aumentando ao longo dos anos, segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) o consumo de energia elétrica no Brasil dobrou do ano de 2004 para 2020. Isto revela que cada vez mais o Brasil está expandindo tecnologicamente. Posto isto, esse crescimento é em razão, principalmente, da região sudeste, pois de acordo com a EPE, esta região é a que mais consome energia no Brasil.

Este grande consumo de energia elétrica no Brasil pela região sudeste é resultado do processo de industrialização que ocorreu prematuramente nesta região (MAMIGONIAN, 1976) o que implica nesta forte dependência de energia elétrica.

Sobretudo, o setor industrial é o maior consumista de energia elétrica na região sudeste. Consoante com a EPE o setor industrial brasileiro responde por mais de 30% do consumo final de energia e quase 40% da eletricidade consumida. Isto é devido, em grande parte, as máquinas elétricas, especialmente ao motor de indução trifásico, pois de acordo com Guedes (1994) o motor de indução trifásico é de funcionamento simples, com uma construção robusta, pequena manutenção e que devido à automação de seu processo de fabricação

tem preço pouco elevado. Portanto essas características são atraentes ao setor industrial e impulsionam a automação de processos, desenvolvimento de tecnologias e por conseguinte o consumo de eletricidade.

Entretanto, dependendo da potência do motor surge problemas ao partir e controlar. Existem muitos trabalhos acerca deste temática, como o de Oliveira (2021) que faz o controle e partida do motor com partida suave (do inglês, *soft-starter*), Souza (2013) na partida pela chave estrela triângulo com PIC e de Júnior (2021) que analisa a qualidade de energia durante a partida do motor de indução.

Neste trabalho será abordado o problema de qualidade de energia elétrica quando se faz a partida de motores diretamente na rede e propor duas soluções afim de mitigar os problemas gerados na partida com o intuito de cumprir os requisitos do módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (Prodist)

A relevância deste trabalho é propor métodos que seja de simples implementação prática e que resulte em bons resultados, além de exibir o orçamento e um comparativo entre os métodos explorados.

II. PROBLEMAS CAUSADOS PELA PARTIDA DIRETA

A qualidade da energia elétrica é de suma importância no dia a dia, tanto residencial quanto industrial, para alcançar o bem-estar dos consumidores. E como mencionado acima, os motores de indução são responsáveis pela maior parte do consumo de energia nos países industrializados (EMPRESA, 2019).

A partida direta do motor é a maneira mais fácil e rápida de dar partida nos motores e esse tipo de acionamento é a causa de vários problemas causados na rede elétrica à qual está conectado. A partir disso, uma propriedade extremamente

importante dos motores é sua corrente de partida, que é de grande importância para a qualidade da energia elétrica.

Os principais problemas de qualidade de energia são: quedas de tensões, interrupções curtas, interrupções longas, picos de tensão, transientes de tensão, distorção harmônica, flutuações de tensão, ruído e desequilíbrio de tensão (ALMEIDA; MOREIRA; DELGADO, 2003). Dentre estes problemas, no ramo industrial, os que estão diretamente associados com a partida de motores são: afundamento de tensão, distorção harmônica, flutuações de tensão e desequilíbrio de tensão.

A. Oscilação de Tensão

Ao realizar a partida direta, a corrente de partida dos motores alcança picos entre cinco e oito vezes a corrente nominal, sendo os afundamentos de tensão produzidos pelas correntes de partida uma das principais causas do mau funcionamento de cargas sensíveis e também podendo causar problemas na operação de diversos tipos de equipamentos (CLP's, lâmpadas, contadores, etc.), devido a sensibilidade das cargas a flutuações de tensão (MAIA, 2008). Na Figura 1 é apresentado um exemplo da oscilação da tensão causado pela partida direta de um motor trifásico.

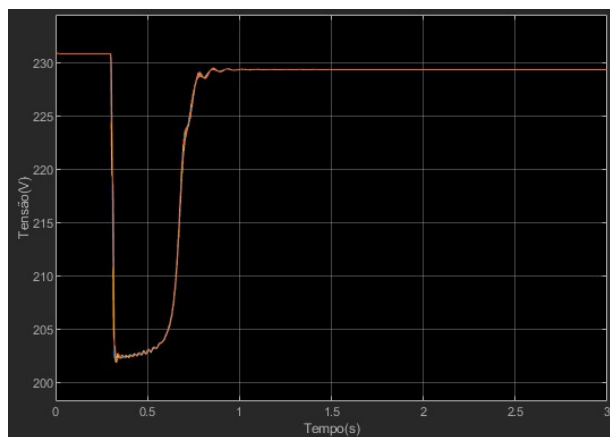


Figura 1. Queda de tensão causada na partida de um motor com 100 HP, 400 V, 50 Hz e 1484 RPM.

B. Oscilação na Corrente

De forma análoga ao item anterior, durante a partida direta de um motor de grande porte existe um grande aumento da corrente na rede, devido ao pico de corrente, o qual pode acabar danificando outros componentes da linha ou causando algum problema de qualidade de energia no restante do sistema.

Assim, nota-se a necessidade de métodos de partida os quais possibilitaram uma partida mais suave e evitará este tipo de problema, exigindo menos da rede e evitando causar outros problemas de qualidade de energia. Um exemplo de variação na corrente pode ser visto na Figura 2

C. Harmônicas

As harmônicas são tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental na

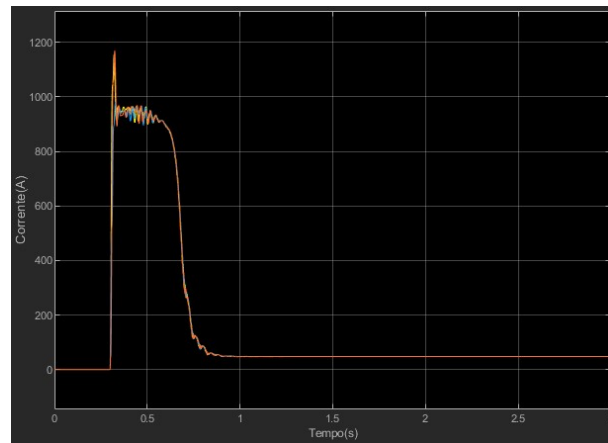


Figura 2. Corrente de partida de um motor com 100 HP, 400 V, 50 Hz e 1484 RPM.

qual opera o sistema de energia elétrica. Assim, uma senoide que possui frequência fundamental de 60Hz, se obter formas distorcidas ou atípica, há possibilidades de possuir componentes harmônicas.

As fontes que geram harmônicas no sistema de energia são muito variadas, levando em conta a quantidade de equipamentos não somente de concessionárias, como também dos consumidores, especialmente os industriais, que formam uma parcela significativa da carga fornecida.

Os dispositivos que geram as harmônicas são encontrados em qualquer parte do setor industrial, comercial ou doméstico, sendo isto causado Atualmente, o principal motivo para o aumento deste tipo de problema é o aumento das cargas não lineares, tanto redes domésticas e industriais (MOURA, 2018). Na Figura 3 é mostrado um exemplo de uma onda senoidal a qual contém harmônicas e sua decomposição.

D. Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio em um sistema elétrico trifásico é a condição em que às três fases apresentam valores de tensão diferentes em módulo ou diferença de fase angular entre fases diferentes de 120° elétrico, ou em ambas as condições simultaneamente. Como resultado, alguns dispositivos trifásicos operando em tensões desequilibradas podem apresentar mal funcionamento e sofrer danos e ter sua vida útil reduzida.

A ligação de cargas monofásicas, como, por exemplo, sistemas de iluminação e motores monofásicos, criam um desequilíbrio de tensão entre as fases. Esta alimentação desequilibrada possibilita que sejam geradas correntes excessivas que circulem pelo motor, resultando em perdas, aumento de temperatura e consequente redução da vida útil (REZENDE; SAMESIMA, 2012). A seguir, é apresentado na Figura 4 um exemplo de um sistema trifásico desequilibrado, mostrando suas devidas componentes também.

Assim, a oscilação da tensão e da corrente durante a partida direta do motor torna-se um fator muito importante a ser analisado. Isso, porque está relacionado ao interesse da concessionária local em tentar limitar a queda de tensão no ponto

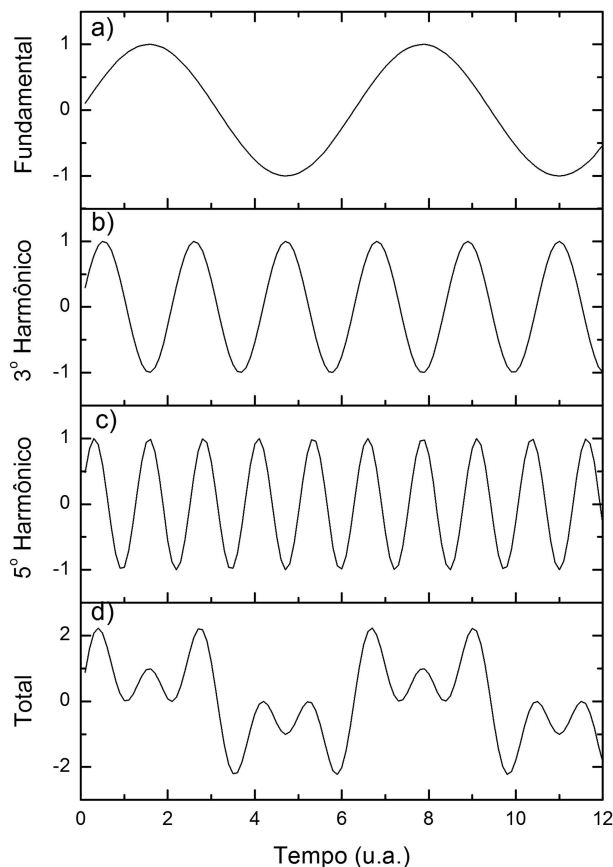


Figura 3. Decomposição de um sinal com distorção harmônica.

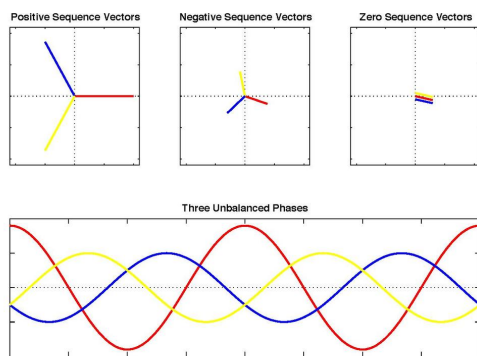


Figura 4. Exemplo de desequilíbrio entre as tensões.

de transferência do sistema de distribuição (FILHO, 2007), ao interesse de que as tensões de outros consumidores fora do ramal não sejam afetadas e ao interesse da própria indústria, que diz respeito à funcionalidade de outros dispositivos que se conectam à rede, principalmente os eletrônicos.

III. POSSÍVEIS SOLUÇÕES

A partir desta seção, será apresentado ao leitor algumas possíveis soluções para atuar no lugar da partida e assim atenuar seus impactos negativos.

A. Chave compensadora

Na partida com chave compensadora é utilizado um auto-transformador para fornecer uma tensão reduzida nas bobinas do motor. Conhecendo a primeira Lei de Ohm, sabemos que ao diminuir o valor de tensão em um circuito, o valor de corrente também será diminuído, e com base neste princípio, fundamenta-se a lógica operacional da Partida pela Chave Compensadora.

Depois que o motor alcança a sua velocidade nominal, as bobinas começam a receber a tensão nominal da rede e o motor trabalha com toda a sua capacidade. Além do mais, na partida com chave compensadora são utilizados dois contadores a mais do que seria utilizado em uma partida direta. O segundo contator liga as fases da rede nos terminais do autotransformador. Enquanto isso, os terminais do autotransformador são chamados de TAPs, e cada conjunto de três TAPs indica uma porcentagem de tensão que será entregue ao motor.

- TAP de 65% – Redução para 42% do seu valor de partida direta;
- TAP de 80% – Redução para 64% do seu valor de partida direta.

Um terceiro contator liga as fases que saem do auto transformador ao motor. Quando o operador do circuito aperta o botão para colocar o circuito em funcionamento, a bobina do segundo e do terceiro contator são energizadas.

A partir destas condições, o motor parte com a tensão reduzida, que sai do autotransformador! Neste momento, um relé temporizador começa a contar e quando chega no tempo pré-determinado, este temporizador desativa o segundo e o terceiro contator, ativando o primeiro que faz com que o motor receba a tensão da rede, como em uma partida direta.

O tempo que o relé temporizador leva para desativar os dois contadores é justamente o tempo que o motor leva para alcançar a sua velocidade nominal.

Os auto transformadores utilizados na chave compensadora geralmente possuem TAPs de 65%, 80% e 90%.

Na partida compensadora, o auto transformador trabalha em um curto espaço de tempo, e por isso deve-se escolher um auto transformador de acordo com o máximo de partidas por hora.

Vale destacar que a partida compensadora é utilizada em motores mais potentes, acima de 50 CV. Por isso, o autotransformador utilizado na partida compensada possui um termostato, responsável por assegurar a temperatura ideal do auto transformador. Algumas das vantagens e desvantagens são:

1) Vantagens da Partida pela Chave Compensadora:

- Compatível com qualquer motor trifásico
- Utiliza somente três fios do motor;
- O motor permanece energizado em todo o momento;
- Redução na corrente de partida;
- A partida do motor pode ser com carga.

2) Desvantagens da Partida pela Chave Compensadora:

- Custo mais caro devido à utilização do auto transformador;

- Ocupa um espaço maior devido à utilização do auto transformador;
- Baixo número de partidas devido à utilização do auto transformador.

B. Partida estrela triângulo

A partida estrela triângulo é um método de partida usado em motores elétricos trifásicos. Ela utiliza uma chave com o mesmo nome, manual ou automática, e é interligada aos enrolamentos do motor, devendo estar acessíveis em seis terminais. Utilizando a partida estrela triângulo, o motor parte em configuração estrela, proporcionando maior impedância e menor tensão nas bobinas. Assim, a corrente de partida é diminuída, ocasionando em uma perda perceptível do torque de partida.

Com a partida estrela triângulo, o motor realiza uma partida mais suave, diminuindo sua corrente de partida a aproximadamente 1/3 do que seria, caso acionado em partida direta.

A partida estrela triângulo não pode ser utilizada em qualquer situação. O motor precisa ter pelo menos seis terminais dos enrolamentos disponíveis, e **a tensão nominal deve ser igual à tensão de triângulo do motor**. Um detalhe crucial na partida estrela triângulo em motores elétricos trifásicos é que o fechamento para triângulo só deverá ser feito quando o motor atingir ao menos 90% da rotação nominal. Então, o ajuste de tempo da mudança estrela-triângulo deve ser baseado neste fato, sendo necessário o uso de um tacômetro na primeira vez que testar o sistema com carga.

Resumindo todo o processo, com a partida estrela triângulo, o motor parte em configuração estrela, de maneira mais suave e com uso de menos corrente na partida. Quando o motor atinge pelo menos 90% de rotação nominal, é feito o fechamento para triângulo e o motor opera em plena carga a partir de então.

C. Soft-Starter

Outra solução a ser mencionada é a partida de motor com *soft starter* é realizada utilizando-se um equipamento eletrônico chamado *soft starter*, que controla a potência do motor no instante em que é dada a partida. Essa tipologia de partida tem a função de proporcionar uma “partida suave”, como é indicado pelo nome do equipamento (em inglês, *soft start*), evitando quedas de tensão elétrica bruscas, como podem ocorrer em partidas diretas. Além do mais, o *soft starter* também controla a potência do motor no momento da frenagem. Diferentemente de outros métodos, como a partida com autotransformador ou estrela-triângulo: a partida de motor com *soft starter* funciona baseada em componentes estáticos chamados tiristores.

Esse tipo de partida é acionada por uma placa eletrônica que controla a tensão de partida do motor. Normalmente é utilizada em motores de indução corrente alternada, como bombas centrífugas, *coolers* e motores de potência elevada, e não ocorrem trancos no sistema, limitando a corrente de partida e evitando picos de corrente.

D. Inversor de Frequência

Outra possível solução seria através dos inversores de frequência. Um inversor de frequência é um equipamento eletrônico capaz de variar a velocidade de rotação de motores elétricos trifásicos. O nome “inversor de frequência” é dado pela sua forma de atuação, ele tem como principal função alterar a frequência da rede que alimenta o motor, fazendo com que o campo girante do motor siga frequências diferentes das fornecidas pela rede, que é sempre constante. Desta forma podemos facilmente alterar a velocidade de rotação do motor de modo muito eficiente. O uso de inversores de frequência é responsável por uma série de vantagens, dependendo dos modelos oferecidos pelos fabricantes, são unidas a capacidade de variar a velocidade com controles especiais já implantados no equipamento. Esses controles proporcionam além da total flexibilidade de controle de velocidade sem grande perda de torque do motor, aceleração suave através de programação, frenagem direta no motor sem a necessidade de freios mecânicos além de diversas formas de controles preferenciais e controles externos que podem ser até por meio de redes de comunicação. Tudo isso com excelente precisão de movimentos.

IV. SOLUÇÃO

Os resultados do problema de oscilação de tensão e corrente expostos nas figuras 1 e 2, foram obtidos a partir da simulação do diagrama elétrico da partida direta, descrito na Figura 5. Na situação descrita, foi observada uma tensão de 0,88 pu por um período maior que 1 ciclo, caracterizando uma variação momentânea de tensão denominado segundo o módulo 8 do *Prodist* de Afundamento Momentâneo de Tensão - AMT.

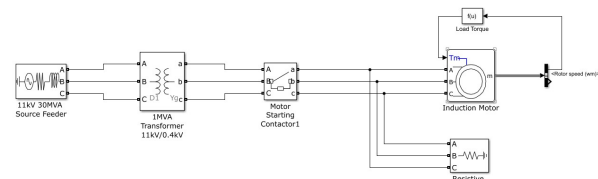


Figura 5. Diagrama elétrico da partida direta no *simulink*.

Para solucionar o problema de oscilação de tensão e corrente após a partida direta de um motor de 100 HP, 400 V, 50 Hz e 1484 RPM expostos nas Figuras 1 e 2 é proposto neste trabalho duas das possíveis soluções citadas anteriormente, a partida estrela triângulo e a partida com chave compensadora. As simulações são realizadas no software *simulink* e os resultados discutidos neste trabalho.

A. Simulação Partida Estrela-Triângulo

Na Figura 6, é possível observar o diagrama elétrico utilizado na simulação. Na simulação, é utilizada um fonte trifásica de 11 KV, um transformador de 11 KV/400 V, chaves para realizar as comutações, um transformador 400 V/(133,33) V, além do motor proposto.

O bloco *Induction Motor*, possui bobinas ligadas internamente em estrela, porém ao partir um motor em estrela-triângulo a tensão da partida é reduzida em um terço da tensão nominal do motor, dessa forma, como temos acesso a apenas 3 terminais do motor é utilizado um transformador para abaixar a tensão a um terço da tensão nominal.

Além disso, deve-se estar atento ao intervalo de tempo entre a partida e a comutação do motor, pois caso a comutação para estrela seja realizada sem que o motor atinja a velocidade nominal a corrente após a comutação terá magnitude próxima a corrente de partida direta. Na simulação a comutação é feita 2,5 s após a partida do motor. Nas Figuras 7 e 8 é exposto

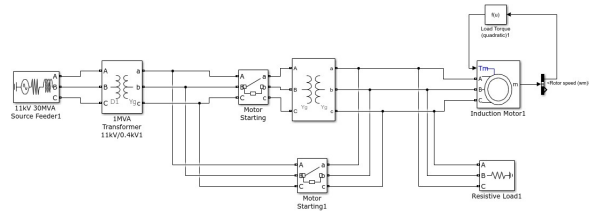


Figura 6. Diagrama elétrico da partida estrela-triângulo no simulink.

o comportamento da corrente e tensão, respectivamente. Na Figura 7 é possível observar um pico de corrente na partida de aproximadamente 100 A, quando o motor se aproxima da velocidade nominal a comutação é realizada e como resultado há novamente um pico de corrente porém de aproximadamente 800 A, ou seja, aproximadamente 66% da corrente obtida na partida direta, logo ouve uma redução significativa da corrente de pico em relação a partida direta.

Na Figura 8, é exibida a variação da tensão durante a partida do motor. Durante a partida há uma queda de tensão de aproximadamente 3 V, já na comutação há uma queda de tensão de aproximadamente 15 V, ou seja com a partida em estrela-triângulo houve uma redução da queda máxima de tensão em relação a partida direta de aproximadamente 40%. Além disso, foi eliminado o problema de Afundamento Momentâneo de Tensão- AMT.

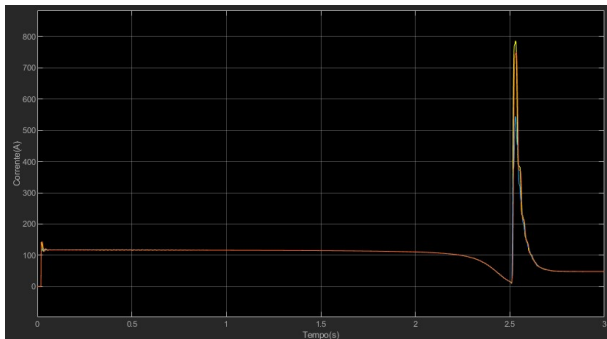


Figura 7. Comportamento da corrente na partida estrela-triângulo.

Além das informações de variação de tensão e corrente descritas anteriormente, na Figura 9, é exibido a variação da velocidade do motor em relação ao tempo. Na imagem, é

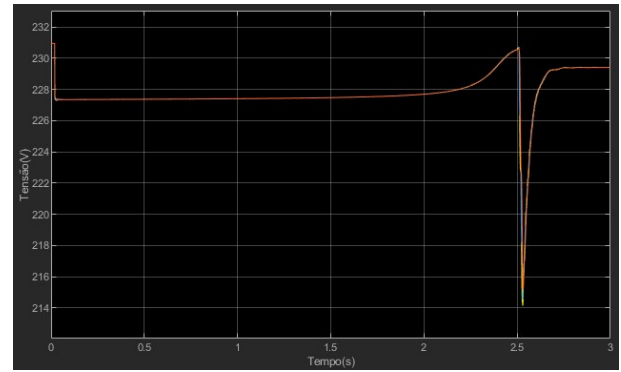


Figura 8. Comportamento da tensão na partida estrela-triângulo.

possível analisar que no instante 2,5 s o motor atinge a velocidade nominal e então é realizada a comutação, ação essa que causa um pequeno distúrbio na velocidade, que rapidamente é normalizado. Logo, observa-se que foi respeitado o tempo necessário para que seja realizada a comutação.

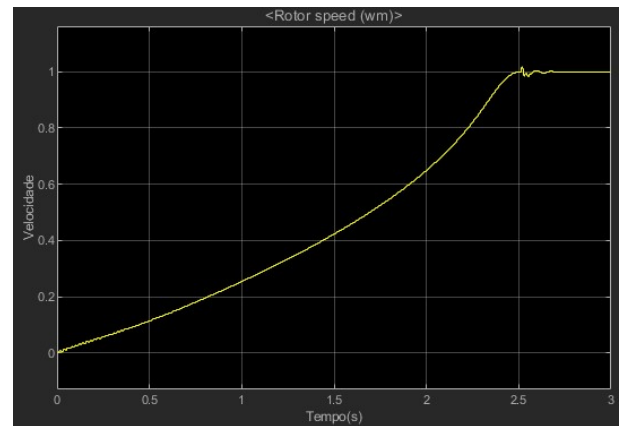


Figura 9. Comportamento da velocidade do motor durante a partida.

B. Simulação chave compensadora

Na Figura 10, é possível observar o diagrama elétrico utilizado na simulação. Na simulação, é utilizada um fonte trifásica de 11 KV, um transformador de 11 KV/400 V, chaves para realizar as comutações, um transformador 400V/(200) V, um transformador 400 V/(200) V, um transformador 400 V/(260) V, um transformador 400 V/(320) V, além do motor proposto.

Na simulação, para obter taps de 50%, 65% e 80% é utilizado transformadores ligados em estrela, sem o aterramento do neutro em substituição do autotransformador.

Além disso, assim como na partida estrela-triângulo deve-se estar atento ao intervalo de tempo entre a partida e a comutação do motor, pois caso a comutação para outros taps ou para tensão nominal seja realizada sem que o motor atinja a velocidade nominal ou acima de 90% da velocidade nominal a corrente após a comutação assumirá valores tão alto quanto a partida direta a rede.

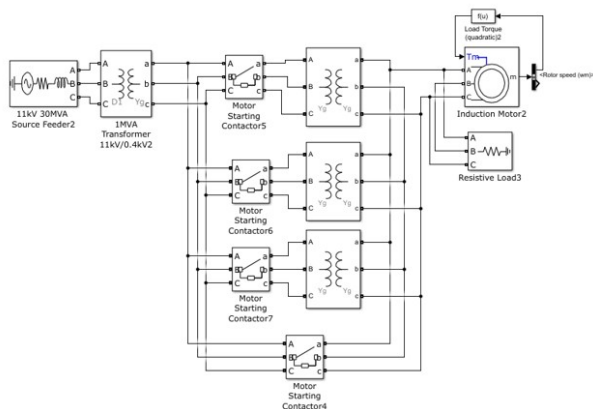


Figura 10. Diagrama elétrico da partida com chave compensadora no *simulink*.

Nas Figuras 11 e 12 observamos o comportamento da corrente e tensão, respectivamente. Analisando os gráficos gerados, notamos que ao partir o motor a 50% da tensão nominal é obtida uma corrente de pico de aproximadamente 300 A, 25% da corrente de pico da partida direta. Assim como na partida estrela-triângulo espera-se o motor chegar a velocidade nominal e então é realizada a comutação, nesta situação 1,3 s após a partida do motor.

Nota-se que ao comutar para taps de maior tensão a corrente não ultrapassa a corrente de pico gerada durante a partida estrela-triângulo. Além disso na Figura 12, é notável uma queda tensão durante a partida pouco maior que a queda de tensão durante a partida estrela-triângulo, porém em nenhum instante a queda de tensão utilizando a chave compensadora é maior que a queda de tensão durante a comutação para triângulo da partida estrela-triângulo.

Logo, a chave compensadora assim como a partida Estrela-Triângulo elimina o problema de Afundamento Momentânea de Tensão - AMT e apresenta melhores resultados em relação a diminuição da queda tensão da rede, e a partida estrela-triângulo apresenta resultados satisfatórios, corrigindo boa parte da queda de tensão apresentada na partida direta.

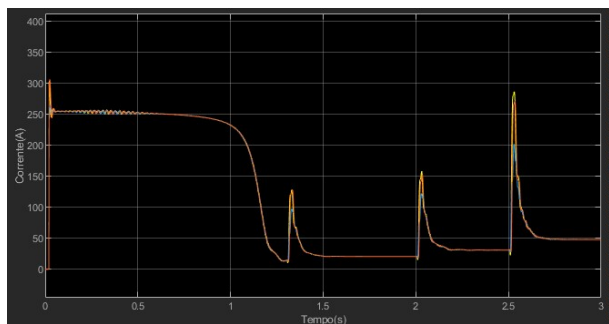


Figura 11. Comportamento da corrente com chave compensadora.

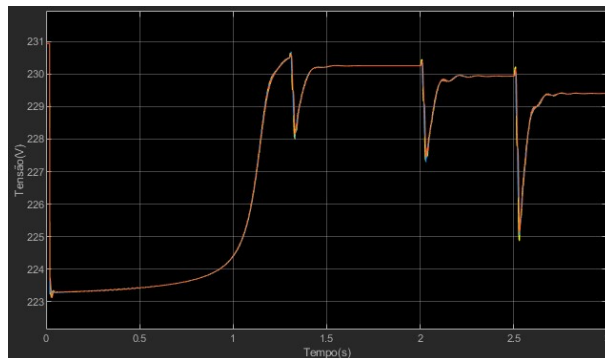


Figura 12. Comportamento da Tensão com chave compensadora.

V. COMPONENTE E ORÇAMENTO

A. Estrela-Triângulo

Os componentes utilizados para a montagem do painel da Figura 13, são descritos a seguir:

- 01 Painel elétrico caixa de montagem 700 mm X 600 mm X 200 mm;
- 01 Voltímetro digital
- 01 Disjuntor bipolar proteção de comando 6 A
- 01 Botão de emergência
- 01 Sinaleiro indicação falha/sobrecarga
- 01 Rele térmico proteção do motor
- 01 Rele falta de fase r.s.t
- 03 Bases NH entrada r.s.t
- 03 Fusíveis nh 03 -400 A
- 02 Contatores Siemens 3TF/B 50
- 01 Contator Siemens 3TF/B 48
- 01 Temporizador 0 - 15 segundos
- 02 Botões liga/desliga
- 01 Tc 400/5 A
- 01 Amperímetro 400/5A

O valor do conjunto de componentes descritos para a partida estrela-triângulo totaliza 6540,00 reais.

B. Chave compensadora

Os componentes utilizados para a montagem do painel da Figura 14, são descritos a seguir:

- 01 Painel elétrico caixa de montagem 1200 mm X 800 mm X 300 mm
- 01 Auto transformador partida pesada em cobre 100 CV
- 01 Sinaleiro indicação falha/sobrecarga
- 01 Botão de emergência
- 01 Rele de proteção de falta de fase r.s.t
- 01 Amperímetro
- 01 Tc janela
- 03 Bases de fusíveis nh entrada r.s.t
- 01 Contator siemens 3TB/F 54
- 01 Contator siemens 3TB/F 52
- 01 Contator siemens 3TB/F 50
- 01 Rele térmico proteção motor 200 A - 320 A
- 01 Contator auxiliar siemens 3TB/F 40

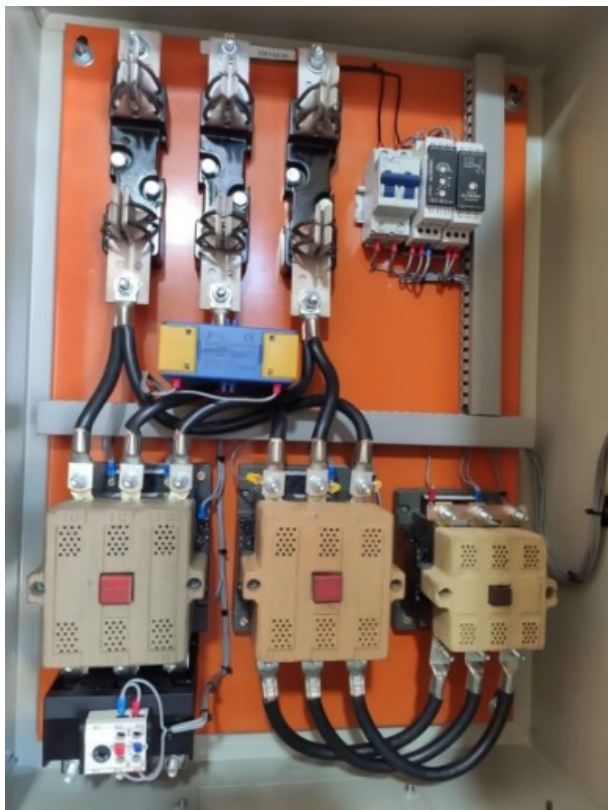


Figura 13. Pannel partida Estrela-Triângulo.

- 01 Temporizador 0 - 15 segundos
- 02 Botões liga/ desliga
- Fios, cabos, terminais de compressão, canaletas etc



Figura 14. Pannel chave compensadora.

O valor do conjunto de componentes descritos para a partida estrela-triângulo totaliza 16.900,00 reais.

VI. CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho é levantar métodos de implementação prática simples que evitem os problemas de qualidade de energia durante a partida direta de motores. Partir o motor diretamente na rede se mostrou ruim, pois a tensão de fase reduz para 0,88 pu. Entretanto o método proposto pela chave compensadora se mostrou bastante eficaz, uma vez que

a tensão de fase na partida foi para 0,96 pu. Por outro lado, o método da chave estrela triângulo também se mostrou efetivo, dado que a tensão neste caso durante a partida foi de 0,92 pu.

Percebe-se, portanto, que ambos métodos foram eficientes ao evitar o problema de afundamento de tensão momentânea, pois a tensão durante a partida se manteve acima de 0,9 pu. Embora os dois métodos consigam alcançar o objetivo, a chave compensadora se mostrou melhor, pois manteve em 0,96 pu. Todavia, a chave compensadora tem um maior custo para ser implementado. De outra perspectiva, a chave estrela triângulo se mostra como melhor custo benefício pois eliminou o problema de qualidade de energia com menor custo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. D.; MOREIRA, L.; DELGADO, J. Power quality problems and new solutions. In: *International conference on renewable energies and power quality*. [S.l.: s.n.], 2003. v. 3, p. 1–45.
- EMPRESA, D. P. E. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energiaeletrica>. Acesso em, v. 12, 2019.
- FILHO, J. M. *Instalações elétricas industriais*. [S.l.]: Livros Tecnicos e Científicos, 2007.
- GUEDES, M. V. O motor de indução trifásico. *Porto: DEEC*, p. 1–104, 1994.
- JÚNIOR, M. d. P. M. Análise de qualidade de energia em partida de motores elétricos de indução trifásicos: comparação dos métodos de partidas. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2021.
- MAIA, R. M. Estudo de caso de afundamentos de tensão nos componentes do sistema elétrico industrial da moinhos vera cruz. *Monografia apresentada em el curso de Especialización en Automatización Industrial de La Universidad Federal de Minas Gerais*, 2008.
- MAMIGONIAN, A. O processo de industrialização em são paulo. *Boletim Paulista de Geografia*, n. 50, p. 83–102, 1976.
- MOURA, M. C. d. P. Qualidade de energia durante partidas de motores de indução trifásicos: análise de distorções harmônicas. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas, 2018.
- OLIVEIRA, W. D. S. Controle de partida de um motor de indução trifásico a vazio por soft-starter. Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2021.
- REZENDE, P. H. O.; SAMESIMA, M. I. Efeitos do desequilíbrio de tensões de suprimentos nos motores de indução trifásico. *Horizonte Científico*, v. 6, n. 2, 2012.
- SOUZA, V. A. *Partida De Motor Estrela-triângulo Com Pic*. [S.l.]: Clube de Autores, 2013.