

Projeto de Controladores Robustos para Motor de Indução Trifásico Com Carga Variável

Flávio Vitorino Queiroz¹, Hécio Henrique Gonçalves da Silva¹, Matheus Rodrigues Marangon¹, Marcel Chuma Cerbantes², José Henrique Galeti¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Três Lagoas – MS

²China Three Gorges Corp – Ilha Solteira – SP

flavio.vitorino.queiroz@gmail.com, jose.galeti@ifms.edu.br

Resumo

O motor de indução trifásico (MIT) tem inúmeras aplicações nos processos industriais, dentre elas, esteiras de carga, moendas de cana e outros. Portanto, em função da sua alta utilização é de grande interesse o estudo de sua eficiência no sentido de otimizar seu consumo energético em função da carga. Este trabalho faz parte de um projeto que visa desenvolver controladores para MIT com carga e velocidade variáveis para que operem sempre em máxima eficiência, cujo foco é o desenvolvimento da instrumentação para medições elétricas do MIT. Para tal, propõe-se a utilização do software LabView para análise dos sinais, do Arduino para a aquisição de amostras e do sensor ACS712 para medição da corrente e filtros passivos. Os resultados de aquisição dos sinais de corrente e tensão de entrada do MIT se mostram satisfatórios como base para desenvolvimento do controlador.

Palavras-chave: Arduino, Motor, Controlador, Eficiência.

Introdução

Em função das inúmeras aplicações do MIT em processos industriais sua utilização tem aumentado exponencialmente e, já que eles representam 55% do consumo geral da indústria, que por sua vez demandam 44% da matriz energética nacional [1], é fato que os MIT's consomem cerca de 30% do total de energia gerada pelas usinas. Tendo estes conceitos em mente seria interessante um estudo voltado para o consumo de energia do motor por dois principais aspectos: i) o ecológico, pois quanto menos energia for produzida menor é o impacto ambiental; e ii) o econômico, pois logicamente se for possível realizar a mesma ação consumindo menos energia a conta resultante será menor. O grande desafio consiste na elevada gama de aplicações que exigem diferentes formas de funcionamento do MIT, como exemplo:

- Aplicações onde a carga é fixa e sensível, portanto, a velocidade não pode variar;
- Aplicações onde a carga é fixa, mas aceita variações de velocidade;
- Aplicações onde ambas carga e velocidade podem variar.

Com isso, subentende-se que, em teoria, um tipo de controle específico deveria ser proposto para cada processo industrial, sabendo que existem muitas técnicas de controle aplicáveis, o desafio é entender onde o controle deverá agir para buscar a otimização desejada.

Fundamentação Teórica

O MIT é um tipo de equipamento elétrico que funciona a partir de dois campos magnéticos girantes. Trata-se de um dispositivo amplamente utilizado em atividades industriais, especialmente as que envolvem a geração de energia elétrica [2]. Se for necessária a aplicação de alguma técnica de controle para otimizar seu funcionamento algumas diretrizes são essenciais:

- Os parâmetros de entrada definem o funcionamento da saída do MIT, portanto os sinais de tensão e corrente deverão ser analisados buscando a otimização [2];
- Os valores medidos deverão ter uma alta exatidão para com os valores reais, assim o controle atuará de forma precisa;
- Como há ruídos e distorções em praticamente qualquer sistema os sinais deverão ser filtrados e amplificados;

Filtros passivos são circuitos eletrônicos que tem o intuito de filtrar uma determinada frequência de sistema eletrônico (através da associação de resistores, capacitores e Indutores). Um filtro é denominado passivo por ser constituído de componentes passivos. Além de ser um circuito atenuador, ou seja, tem o módulo da relação entre os sinais de saída e de entrada, denominado ganho, menor que 1. Esses filtros podem ter diferentes atribuições e por isso são divididos nas seguintes categorias: Filtro passa-baixa, Filtro passa-alta, Filtro rejeita-faixa e Filtro passa-faixa. Por serem tão variados, esses filtros possuem diversas aplicações em corrente alternada, tais como filtrar sinais de imagens, sons, ruídos elétricos em transmissões de dados. Já em corrente contínua estes atuam apenas em regimes transitórios do circuito, pois os componentes passivos atuam exclusivamente nas variações dos sinais elétricos, não operando no período de regime contínuo [3]. Inversores de frequência são equipamentos que permitem transformar a tensão da rede, de amplitude e frequência fixas, em uma tensão de amplitude e frequência controláveis. Essa característica é muito interessante do ponto de vista do controle do motor AC, pois permite variar a velocidade da máquina por várias estratégias diferentes. O termo “inversor de frequência” é comumente utilizado para designar um equipamento que é composto por quatro blocos funcionais básicos, a saber: um retificador, um link DC, um inversor e um módulo controlador [4][5].

Na terminologia elétrica, um harmônico é definido como uma grandeza senoidal cuja frequência é um múltiplo da frequência fundamental do sistema de potência. Considerando que, idealmente, o sistema de potência em corrente alternada deve operar com tensões e correntes puramente senoidais, os principais efeitos resultantes da presença de componentes harmônicos de tensão e corrente ao longo dos sistemas elétricos são: a redução da eficiência operativa de transformadores, geradores, linhas de transmissão e equipamentos elétricos em geral, a possível redução acelerada da vida útil do isolamento do tipo não regenerativo utilizado em geradores, transformadores, etc., a possível má operação dos sistemas de proteção e sistemas de controle presentes nas usinas e subestações, a possibilidade de amplificação de uma ou mais componentes harmônicas de tensão, por ressonância série ou paralelo e, ainda, a excessiva solitação e possível dano dos capacitores usados para correção de fator de potência ao longo dos sistemas elétricos [6].

Metodologia e desenvolvimento

Em função dos conceitos abordados anteriormente faz-se necessário o desenvolvimento de um sistema de aquisição para os sinais de tensão e corrente elétrica de entrada, visando através das medidas encontrar o ponto de otimização onde deverá ser aplicado o controle na superfície de “*torque x tensão x corrente*”. Essa instrumentação depende de algumas ferramentas base, são elas:

- Plataforma de aquisição de sinais: Arduino Uno;
- Leitura da Tensão de entrada (fase-fase) do MIT: Arduino Uno;
- Leitura da Corrente de fase do MIT: Sensor ACS712 (5A);
- Software para análise dos sinais: LabView.

As primeiras análises foram em relação a tensão fase-terra (127V), onde um primeiro divisor resistivo foi desenvolvido para reduzir a tensão de entrada a níveis que o Arduino pudesse medir (entre 0 e 5V por porta analógica), onde uma relação entre $V_{entrada}$ e V_{saida} foi estabelecida e trabalhada posteriormente no LabView sendo uma múltipla da outra. Nessa configuração surgiram três principais problemáticas, um grau elevado de distorção por harmônicas ímpares, sinais ruidosos da rede e as modulações AM e PWM decorrentes do controle feito pelo próprio inversor.



Figura 1. Leitura do picoscópio da Tensão fase-terra com harmônicas ímpares, ruídos e modulações AM e PWM.

Para melhorar a aquisição e a leitura desse sinal foi proposto um filtro passa-baixa de 1º ordem que eliminou uma grande parcela dos ruídos e modulações, já para as harmônicas foi proposta a medida de tensão fase-fase (220V) através de um amplificador diferencial pós-filtro (Figura 2), assim o sinal resultante após o primeiro estágio de filtragem garante uma maior exatidão na medida de tensão (Figura 3).

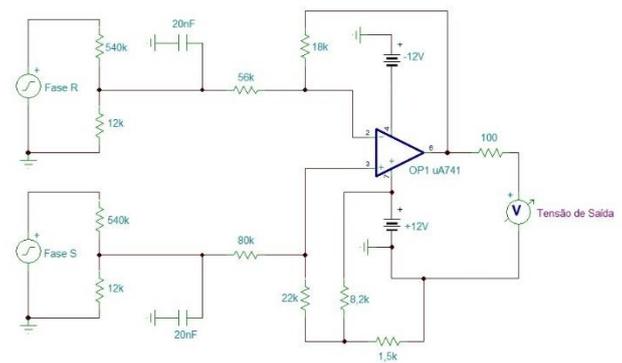


Figura 2. Filtro de 1º ordem proposto com divisor resistivo e amplificador diferencial feito no TINA-TI.

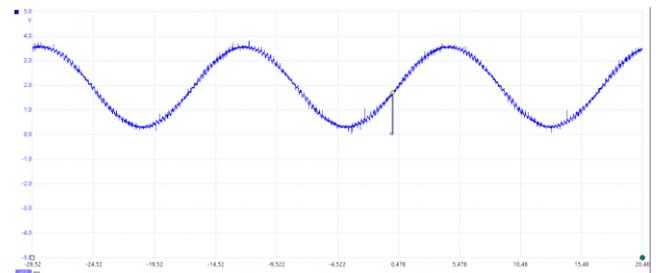


Figura 3. Leitura do picoscópio da onda de tensão fase-fase após o primeiro estágio de filtragem.

Por fim, um último estágio de filtragem foi proposto com um filtro passa-baixa de 3º ordem (Figura 4) aumentando a qualidade das amostras e garantindo posteriormente uma maior exatidão na leitura e interpretação dos sinais de tensão (Figura 5), chegando então à um sistema geral de aquisição de tensão (Figura 6).

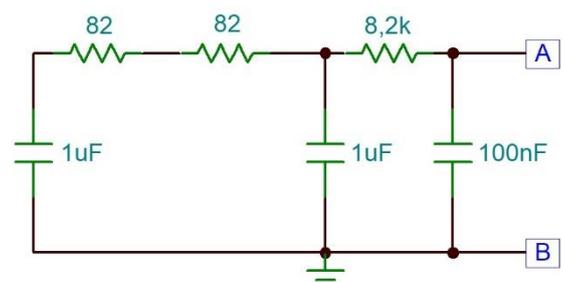


Figura 4. Filtro de 3º ordem proposto feito no TINA-TI.

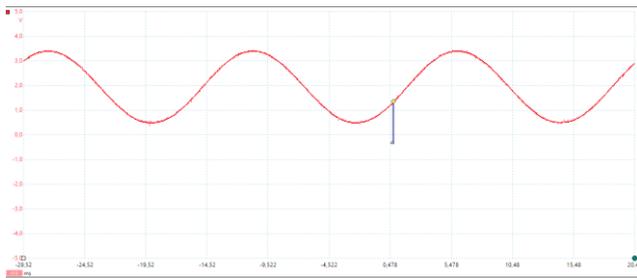


Figura 5. Leitura do picoscópio da onda de tensão fase-fase após o segundo estágio de filtragem.

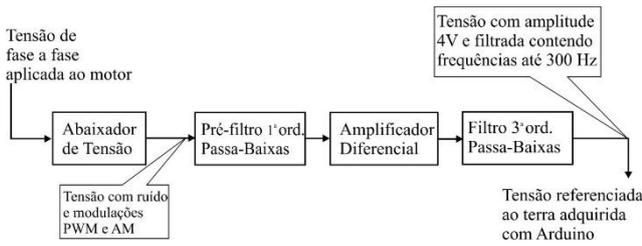


Figura 6. Fluxograma representativo do sistema geral de aquisição de tensão fase-fase.

A análise seguinte foi feita para a aquisição do sinal de corrente utilizando sensor ACS712, vale ressaltar que o MIT é uma indutância muito grande e já filtra sozinho parte do sinal, contudo ainda há grande quantidade de ruídos e harmônicas ímpares no sinal, necessitando de uma filtragem assim como a tensão (Figura 7). Um filtro de 3º ordem idêntico ao anterior foi proposto para essa aplicação, resolvendo a problemática da exatidão (Figura 8).

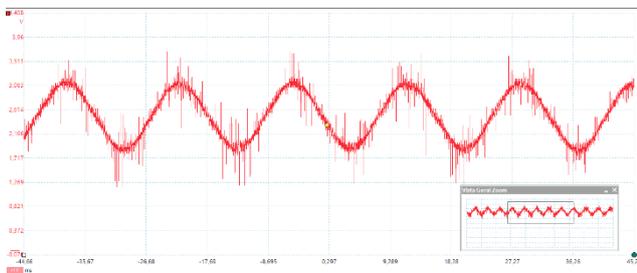


Figura 7. Sinal do sensor de corrente lido no picoscópio.

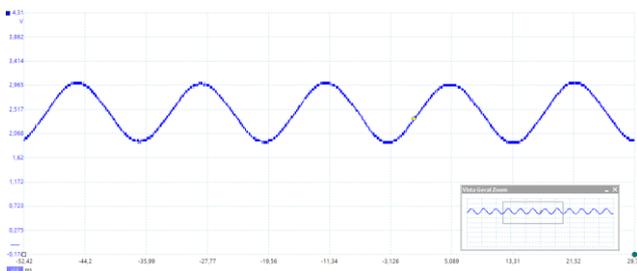


Figura 8. Sinal do sensor de corrente lido no picoscópio após a filtragem.

Entretanto como consequência do ganho do filtro ser diferente de um fez-se necessária uma calibração do sensor (Figura 9), medindo a tensão de saída do filtro e a corrente do circuito, que contém um reostato trifásico e um resistor

relativamente baixo, e assim após a aquisição de várias medidas um gráfico foi plotado identificando um comportamento linear de funcionamento, então para corrigir a medida após o filtro foi inserido no LabView um fator de correção extraído da reta de linearidade encontrada.



Figura 9. Calibração do sensor de corrente com um reostato, multímetros true rms, uma resistência de chuveiro e osciloscópio.

Resultados e Considerações Finais

Com o sistema físico de medidas pronto e calibrado, e os sinais devidamente filtrados a aquisição simultânea com o LabView foi feita com uma boa taxa de amostragem e exatidão, em relação ao sinal de tensão foi necessário um ajuste para concertar a defasagem natural causada pelo tempo de aquisição do próprio Arduino, foi feita então a aquisição do mesmo sinal simultaneamente em dois canais analógicos (no caso da imagem em três só para teste), já que, a resultante entre essas duas ondas é a real tensão desejada (Figura 10).

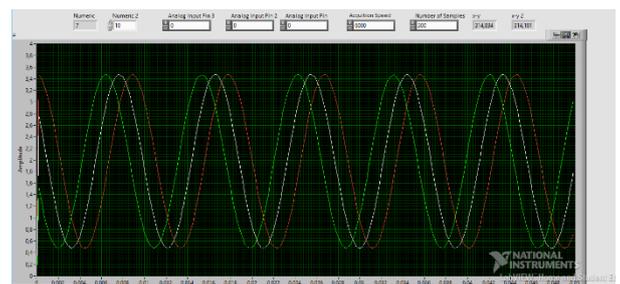


Figura 10. Aquisição da onda de tensão fase-fase lida diretamente no LabView.

Para a onda de corrente o funcionamento é o mesmo, e não necessita de correção, portanto a aquisição é feita em somente um canal analógico do Arduino (Figura 11), as outras duas ondas são representações do mesmo canal feitas somente para teste.

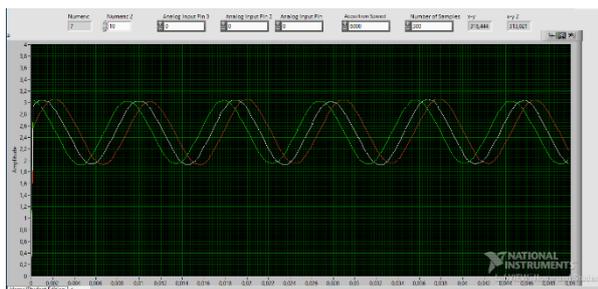


Figura 11. Aquisição do sinal de corrente lida diretamente no LabView.

Enfim, a aquisição de ambos os sinais foi feita (Figura 12) possibilitando a coleta de amostras suficientes para uma análise mais profunda do comportamento do MIT em função de seus parâmetros elétricos de entrada, e decorrente disso o ponto de otimização será encontrado e o controlador desenvolvido.

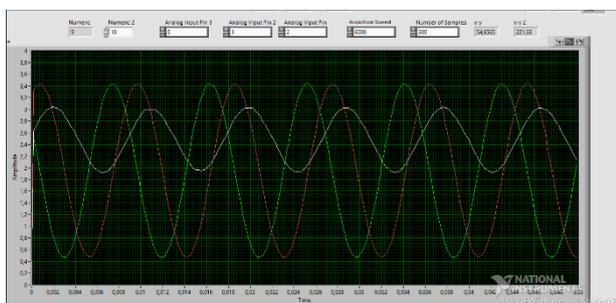


Figura 12. Aquisição simultânea de ambos os sinais com dois canais lendo a tensão e um lendo a corrente.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela oportunidade e pelos recursos disponibilizados.

Referências

- [1] REZENDE, Paulo Henrique Oliveira; BISPO, Décio. Análise Econômica em Motores de Indução Trifásicos. Horizonte Científico, v. 9, n. 1, 2015.
- [2] BOSE, B. K. Modern Power electronics and ac drives. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.
- [3] da Silva, M. M. (2007). Análise de filtros passivos de harmônicos de conversor CA/CC de seis pulsos. Dissertação de Mestrado.
- [4] Oliveira, Wesley Rodrigues de. "Uma análise sobre inversores de frequência e distorções harmônicas e inter-harmônicas." (2014).
- [5] Furtunato, A. F., Salazar, A. O., & Araújo, O. S. (2001). Controlador de velocidade usando modos deslizantes suaves para um motor de indução trifásico. Controle & Automação, 12, 148-155.
- [6] da Silva, M. M. (2007). Análise de filtros passivos de harmônicos de conversor CA/CC de seis pulsos. Dissertação de Mestrado.