

IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DEDICADO A UM MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO

<ANDRÉ AMORIM DIAS DA SILVA>¹

<PAULO BRONIERA JUNIOR>²

<WESLEY CANDIDO DA SILVA>³

<KATIELLY TAVARES DOS SANTOS>⁴

Resumo

Energia elétrica desde sua descoberta até os dias atuais fornece uma infinidade de recursos e viabilidades para as indústrias, comércio e residências. Deste modo, a utilização desta energia deve ser feita de forma eficiente e sustentável. Assim, vários trabalhos têm apresentado estratégias para se obter uma alta eficiência de operação de equipamentos, bem como das instalações em que os mesmos estão conectados e instalações elétricas. Neste sentido, este trabalho aborda conceitos aplicados a eficiência de instalações por meio da correção do fator de potência. Mais especificadamente será apresentado um estudo dedicado a correção de FP (fator de potência) a uma máquina de indução trifásica de 0,5 CV operando em condições não nominais e conectada diretamente a rede elétrica. Resultados experimentais serão apresentados para validar a proposta.

Palavras-chave: Fator de Potência, Motor de Indução, Banco de capacitores

¹ Graduação – Tecnologia em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: andreamorim74.a@gmail.com

² Mestre, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: paulo.broniera@pr.senai.br

³ Especialista, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: wesley.candido@pr.senai.br

⁴ Mestre, Faculdade de Tecnologia Senai Londrina. e-mail: katielly.santos@pr.senai.br

1 INTRODUÇÃO

Energia elétrica desde sua descoberta até os dias atuais fornece uma infinidade de recursos e viabilidades para as indústrias, comércio e residências. Entretanto, devido à grande demanda de utilização e altos custos cobrados por seu consumo, tem agravado as preocupações relacionadas a eficiente utilização da energia por geradores, transmissores e principalmente consumidores finais.

Portanto, tal contexto promove duas importantes vertentes complementares: I) Qualidade da Energia elétrica, a qual, foca em mitigar todos os distúrbios que afetam negativamente o desempenho das máquinas e equipamentos elétricos, II) Eficiência da energia elétrica, a qual tem por objetivo garantir que a energia consumida está sendo efetivamente transformada em trabalho.

O motivo de baixa eficiência energética é caracterizado distintamente a cada equipamento, nos equipamentos vemos exemplos típicos; I) Para bombas (existência de ar nas tubulações), II) Compressores de ar (vazamentos nas linhas), III) Transformadores (operando a vazio), IV) Motores elétricos (superdimensionados) (MAMEDE FILHO, 2012). Sendo assim se um determinado equipamento sofre anomalias externas não apresentando o rendimento esperado para o qual foi projetado, isto é causas de uma baixa eficiência energética, pode-se relacionar e acrescentar cuidados com o fator de potência o qual causam problemas nas instalações elétricas entre os quais citar: sobrecarga nos cabos e transformadores, o aumento das quedas de tensão e aumento das contas a serem pagas pelo fornecimento da energia elétrica (CREDER, 2006).

O trabalho de Souza (2000) apresenta um estudo de correção de fator de potência para instalações de baixa potência empregando filtros ativos onde destaca soluções como a utilização de equipamentos que apresentam característica resistiva e baixa distorção harmônica de corrente. Já o trabalho de Pomilio (2007) propõe pré-reguladores de fator de potência que descreve as desvantagens do baixo fator de potência e apresenta alguns reguladores em modo contínuo e descontínuo.

Entre os equipamentos os quais são estudadas soluções para obter alta eficiência energética destacam-se os motores de indução trifásicos. Estes por sua vez, são responsáveis por 75% do consumo da energia demandada para a indústria (MAMEDE FILHO, 2012), diante desta realidade de tão grande emprego de motores de indução trifásico, é que se caracteriza à importância de um estudo que mostre os resultados de uma solução aplicada ao referido motor (MIT), caso o rendimento energético na transformação da energia elétrica em real trabalho mecânico, não seja satisfatório. Sendo assim, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso sobre um dos recursos mais tradicionais e utilizados nos ambientes industriais, a correção do fator de potência no respectivo MIT, com a aplicação do método capacitivo, cálculos analíticos e aquisição de dados com a utilização de analisador de energia, voltímetro, amperímetro, entre outros equipamentos. Onde Santos (2001), caracteriza tais práticas de aquisição de dados como métodos expedidos, método este de fácil execução em campo ou laboratório, e sob tais dados adquiridos mostrar os resultados e comprovar os benefícios de tal aplicação.

As próximas seções deste artigo irão expor definições e conceitos que servirão de base para a melhor compreensão do trabalho realizado e resultados obtidos.

2 FATOR DE POTÊNCIA

A maioria das cargas das unidades consumidoras consome energia reativa, tais como: motores, transformadores, reatores, entre outros. As cargas indutivas necessitam de campo eletromagnético para seu funcionamento, por isso sua operação requer dois tipos de potência:

Potência ativa, grandeza que efetivamente realiza trabalho gerando calor, luz, movimento, etc. são medida em W [watts].

Potência reativa, usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, sua unidade de medida é o Var [volt-ampere reativo].

Segundo Boylestad (2004), enquanto a potência ativa é sempre consumida na execução de trabalho, a potência reativa, além de não produzir trabalho, circula entre a carga e a fonte de alimentação, ocupando um espaço no sistema elétrico que poderia ser utilizado para fornecer mais energia ativa, a soma vetorial quadrática da potência ativa e reativa, temos origem a potência aparente cuja, sua unidade de medida é o Va [volt-ampere].

O fator de potência “FP” expressa o percentual de potência ativa transformada em trabalho de um total de potência aparente drenada da rede elétrica por uma determinada carga, o qual pode ser expresso pela equação 1, de acordo com resolução normativa ANEEL 2012, o fator de potência deve

ser mantido mais próximo da unidade 1, mas permite um valor mínimo de 0,92.

$$Fp = \frac{P}{S} \quad 1)$$

Onde:

Fp = Fator de potência

P = Potência ativa

S = Potência aparente

A relação entre as três potências citadas pode ser expressa pela equação 2.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad 2)$$

Onde:

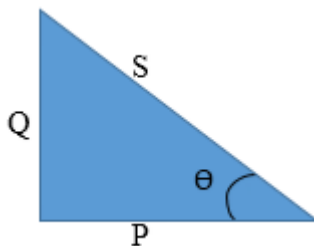
S = Potência aparente

P = Potência ativa

Q = Potência reativa

Assim a relação entre as potências aparente, ativa e reativa podem ser demonstradas graficamente pelo triângulo retângulo da Figura 1.

Figura 1: Triângulo das potências



Fonte: Elaborado pelo autor

A partir da Figura 1 observa-se que o fator de potência também pode ser expresso como uma relação angular entre o eixo da potência ativa e a potência aparente, podendo ser achada matematicamente pelo cosseno do ângulo de defasagem entre a potência aparente “S” e a potência ativa “P” conforme ilustra a equação 3.

$$F_p = \cos \theta \quad 3)$$

Onde:

F_p = Fator de potência

$\cos \theta$ = Cosseno do ângulo de defasagem

De acordo com a Figura 1, é observado que o ângulo de defasagem θ aumenta com a quantidade de potência reativa demandada pela carga. A potência reativa é destinada a manutenção de campos elétricos e magnéticos, os quais encontrados em cargas com características indutivas e capacitivas. Considerando o comportamento de CA, as cargas consumidoras de energia reativa indutiva ou capacitiva, por sua vez são encontradas em diferentes aplicações e equipamentos, exemplos;

I) Reativas Indutivas: Motores de indução trifásico (MIT), enrolamento de transformadores, fornos de indução, reatores, etc. II) Reativas Capacitivas: Motores síncronos superexcitados (compensadores síncronos) ou capacitores (ASHFAQ, 2004).

Na sequência a próxima sessão definirá conceitos básicos relacionados a tais cargas.

2.1 Conceito de cargas capacitivas e indutivas.

Para realizar um trabalho de pesquisa ou aplicação prática com relação a correção de fator de potência, faz-se necessário distinguir determinadas cargas para que se direcione o foco de cálculos procedimentos corretos para análise do circuito em questão. Estas cargas a serem compreendidas são as indutivas, capacitivas e as cargas não lineares. E através destas cargas também pode-se obter as características entre corrente e tensão, isto é se a corrente está atrasada em relação a tensão ou vice versa, para que este tipo de distinção auxilie na aplicação correta relacionada ao tipo de equipamento ou circuito.

Cargas indutivas: esta carga tem por característica a autoindução, que é provocada com a circulação da corrente alternada por uma determinada bobina, na energização desta bobina é induzida uma tensão em si mesma e está tensão por sua vez retarda a circulação da corrente elétrica (BARROS, 2014).

Este retardo da corrente elétrica é devido à resistência da circulação desta corrente que constitui o fenômeno denominado de reatância indutiva, designado por X_L , cuja unidade de medida é o ohm (Ω), e sua equação é:

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

4)

X_L = reatância indutiva

f = frequência em hertz (Hz)

L = indutância da bobina ou condutor em henry (H)

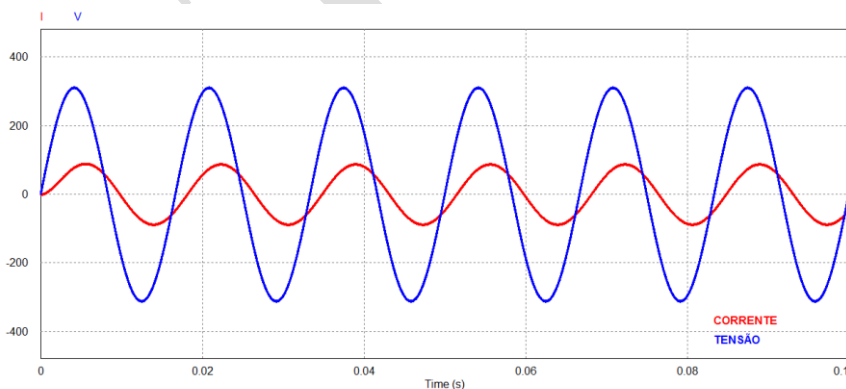
$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ = frequência angular em [rad /s]

Ainda em cargas indutivas ocorre uma defasagem entre o sinal senoidal da tensão e da corrente, onde a corrente está atrasada ou defasada em relação a tensão (BARROS, 2014).

Em concordância com a definição descrita anteriormente, um exemplo de carga indutiva de grande aplicação na indústria, é o motor de indução, que absorvem uma determinada quantidade de energia ativa para produzir trabalho e precisa também de energia reativa para ativação do campo indutor ou campo girante através da magnetização (MAMEDE FILHO, 2012).

A figura 2 apresenta o comportamento defasado da corrente (I) em relação a tensão (V) que é característico nas cargas indutivas (BARROS, 2014).

Figura 2: Circuito indutivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a figura 2:

TENSÃO – Representa forma de onda tensão total (V) adiantada em relação à corrente total (I);

CORRENTE – Representa forma de onda corrente total (I) atrasada em relação à tensão total (V).

Cargas capacitivas: capacitores acumulam a cargas elétricas ao longo do tempo, também apresentam uma resistência à circulação da corrente alternada denominando, denominada de reatância capacitiva, designada por X_C , que é medida em $[\Omega]$ (BARROS, 2014).

A equação aplicada aos circuitos capacitivos consiste em:

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad 5)$$

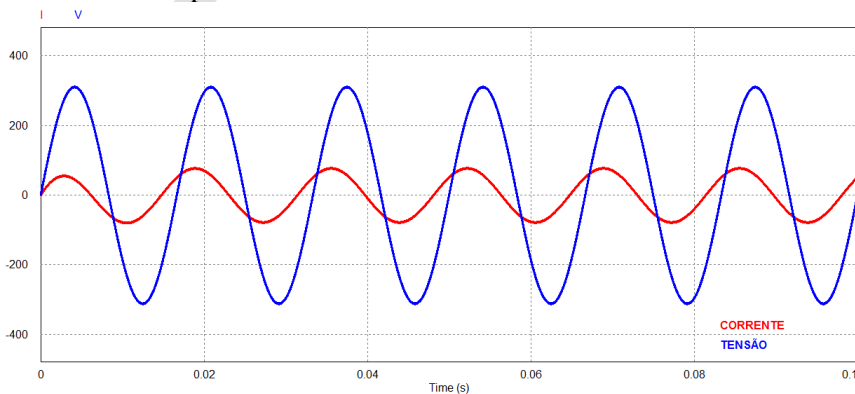
C = capacitância em farad[F]

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ = frequência angular em [rad /s]

f = frequência angular em hertz [Hz]

Na figura 3 apresenta o comportamento defasado da tensão (V) em relação a corrente (I).

Figura 3: Circuito capacitivo



Fonte: Elaborado pelo autor

Conforme a figura 3:

TENSÃO - Representa forma de onda tensão total (V) atrasada em relação à corrente total (I);

CORRENTE - Representa forma de onda corrente total (I) adiantada em relação à tensão total (V).

2.2 Cargas ou situações que causam um baixo fator de potência

Considerando-se conceitos, definições e princípios básicos descritos anteriormente pode-se definir também que cargas capacitivas têm por característica o campo elétrico e as cargas indutivas têm por característica o campo magnético, sendo assim as cargas indutivas são muitas vezes as responsáveis pelo baixo fator de potência.

Segundo Mamede Filho (2012), segue exemplos relacionados ao baixo fator de potência:

- Motores superdimensionados para máquinas interligadas ou acopladas aos mesmos que não se utilizarão de toda capacidade potencial;
- Suprimento de lâmpadas de descarga gasosa associadas a reatores de baixo fator de potência;
- Transformadores operando com cargas extremamente baixas ou até ligados em vazio sem carga alguma;
- Fornos a arco; Fornos de indução eletromagnética, denominado sob esta característica de carga indutiva;
- Máquina de solda a transformador;
- Retificadores AC/DC;
- Alta quantidade de motores de pequena potência em operação.

Estas cargas características de baixo fator de potência tem contribuído enormemente para o aumento de consumo de potência reativa, devido ao fato

de terem características não lineares, provocando muitas vezes alterações nos padrões de fornecimento de tensão e corrente no sistema elétrico.

2.3 Consequências de um baixo fator de potência.

Devido ao excesso de energia reativa as consequências surgem em um efeito cascata, nas instalações com um baixo fator de potência onde as perdas de energia elétrica partem de uma elevação da corrente provocando o aquecimento de condutores e equipamentos, ou seja as percas por efeito joule (BIM, 2009).

Com a elevação da corrente, podem ocorrer as quedas de tensão provocando até a interrupção do fornecimento de energia elétrica e a sobrecarga em componentes da rede de fornecimento desta energia, essas quedas de tensão podem agravar-se quando a rede estiver sob maior exigência de fornecimento. Com isso podem provocar a diminuição da intensidade luminosa de lâmpadas e a elevação da corrente dos motores (CREDER, 2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Referente à metodologia utilizada, para atender os pré-requisitos, serão utilizados os parâmetros estabelecidos pelo PRODIST (Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional), o qual é o órgão responsável pela regulamentação. Note que, embora possam existir problemas na sua estrutura é nele em que as leis e resolução se baseiam, logo é o documento a ser utilizado (o que não impede uma análise mais crítica

também do próprio PRODIST). Além disso, haverá um embasamento nas resoluções normativas 414, 479 e 418 que definem os parâmetros referentes às medições do fator de potência bem como seu limite no valor de 0,92. A resolução 418 indica que quando é feita a medição toda, e qualquer instalação elétrica está sujeita a cobrança de excedentes de reativos, logo, para qualquer valor no fator de potência que viole o limite acima identificado haverá cobrança.

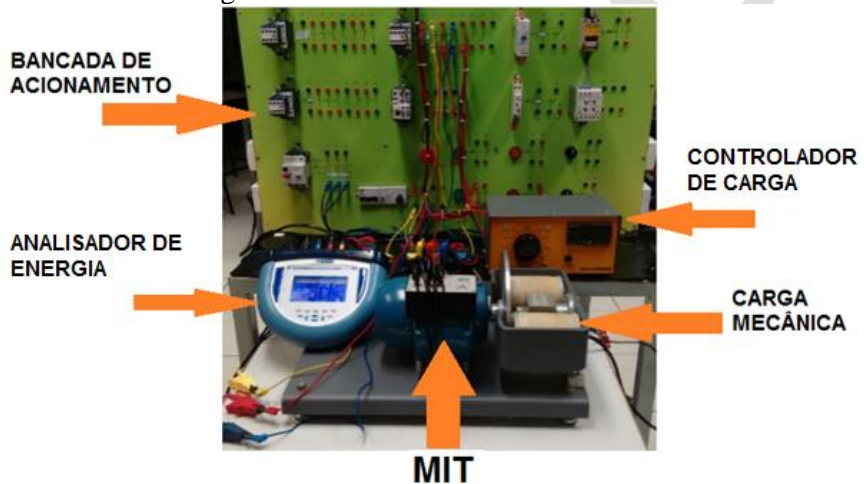
Foi realizado um estudo de caso que especifica a aquisição de dados retirada de um motor de indução trifásico com baixo fator de potência, para posterior correção do mesmo adequando o valor de 0.48 para 0,92 FP. Para tal estudo foi projetado um diagrama multifilar com analisador conectado a sua potência, onde se obteve a aquisição de dados sem a correção para posteriormente calcular o valor correto do banco de capacitores que foi aplicado e retirados os dados para discussão dos resultados.

Para medições e análise utilizou-se o equipamento Analisador de Energia: equipamento capaz este de realizar medições com várias grandezas como tensão, corrente (na frequência fundamental e suas harmônicas), potência aparente, potência ativa, potência reativa, fator de potência, entre outros. O Analisador de energia, é de modelo RE 6000 da marca EMBRASUL. Este modelo encontra-se dentro dos pré-requisitos da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) e do PRODIST. O motor de indução trifásico utilizado foi o modelo W22, ½CV da marca Weg. Para simular a carga acoplada ao motor utilizou-se um controlador de carga marca De Lorenzo. Estrutura de comando e potência instalada em bancada didática do laboratório Senai Londrina. Banco de capacitores com valor corrigido.

4. IDENTIFICAÇÃO E CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Este trabalho no que diz respeito aos aspectos metodológicos utiliza-se de um analisador de energia para a identificação do fator de potência em um motor de indução trifásico. O motor foi fechado em triângulo e conectado diretamente a rede elétrica em um sistema 127/220V. A Figura 4 apresenta a estrutura utilizada nos ensaios.

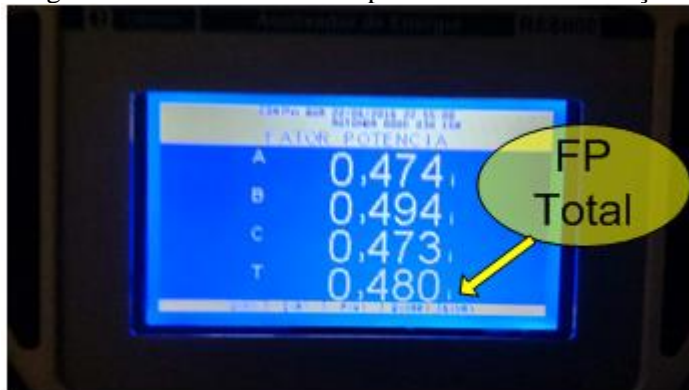
Figura 4: Estrutura utilizada no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor

O motor foi monitorado operando com tensões nominais e com carga mecânica de 1Nm. Neste caso o motor drenou uma potência aparente da rede elétrica de 257VA, uma potência ativa de 120W, uma potência reativa de 226VAR e apresentou um fator de potência de total de 0,48. A Figura 5 apresenta o fator de potência medido por meio do analisador de energia.

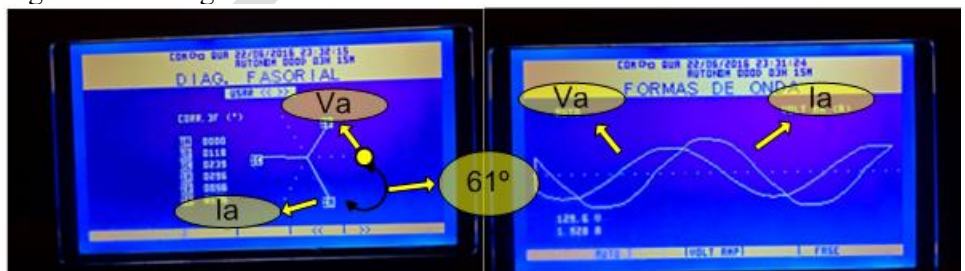
Figura 5: Medida do fator de potência antes da correção



Fonte: Elaborado pelo autor

Por se tratar de uma carga predominante indutiva o fator de potência medido de 0,48 representa um atraso da corrente da fase “a” em relação a tensão da fase “a” de aproximadamente 61° . A figura 6 apresenta o diagrama de fases do circuito, bem como as formas de onda da tensão e da corrente plotadas em tela pelo analisador de energia.

Figura 6: Defasagem entre a tensão e corrente da fase “a”



Fonte: do autor

De posse das informações retiradas por meio do analisador de energia foram aplicados os cálculos do banco de capacitores para a elevação do fator de potência de 0,48 para 0,92. As equações (6) e (7) apresentam os cálculos

das novas potências aparente e reativa desejadas para o FP de 0,92 respectivamente.

$$S = \frac{P}{fp} = \frac{120W}{0,92} = 130,4VA$$

6)

Onde:

S: potência aparente (VA);

P: potência ativa watts (W);

fp: fator de potência

Com o dado do valor de potência aparente, foi possível calcular o valor da potência reativa, tendo em vista que o valor de potência ativa já foi adquirido com o equipamento de análise:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{130,4^2 - 120^2} = 51,03VAR$$

Onde:

Q: potência reativa (VAR);

S: potência aparente (VA);

P: potência em watts (W).

Para verificar qual a potência reativa do banco de capacitores deve-se encontrar a diferença entre a potência reativa medida e a potência reativa desejada:

$$Q_c = VAR \text{ Sem correção} - VAR \text{ desejado} = 226 - 51,03 = 174,97VAR$$

Com os valores já conhecidos foi calculado a corrente do capacitor (I_c) sobre a tensão de fase:

$$I_c = \frac{P_{\text{reat.corrigida}}}{V_c} = \frac{174,97\text{VAR}}{127\text{V}} = 1,38\text{A}$$

A reatância capacitiva (X_c), resultou da tensão fase sobre a corrente capacitiva:

$$X_c = \frac{V_c}{I_c} = \frac{127\text{V}}{1,38\text{A}} = 94,18\Omega$$

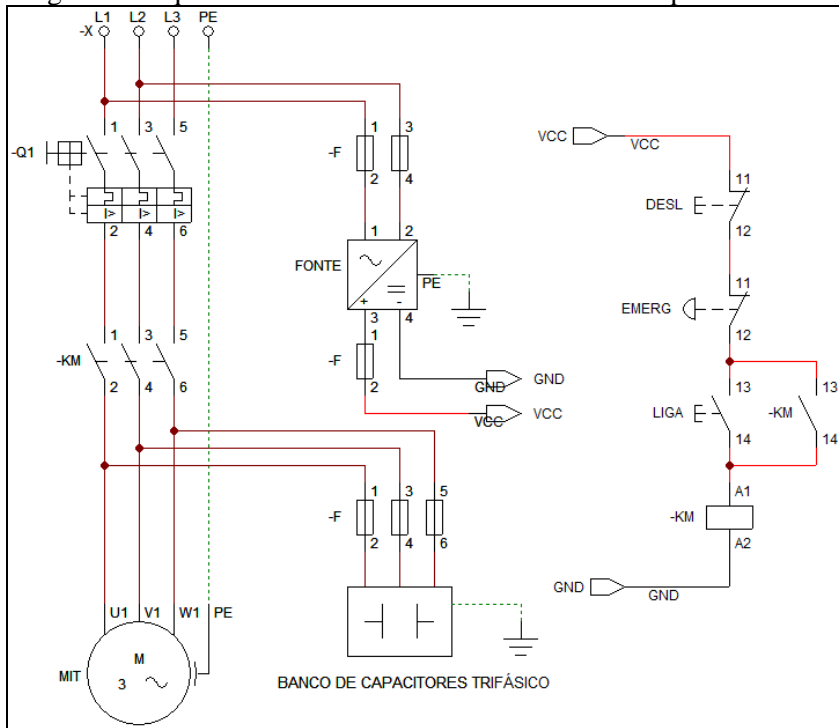
O valor do capacitor para a correção de potência no circuito ser:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_c} = C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 60 \cdot 94,18} X_c = 28,8 \times 10^{-6} \text{F ou } 28,8 \mu\text{F}$$

O capacitor calculado foi de 28,8 μ F. Entretanto, foi adotado a utilização de valores comerciais de 30 μ F para os capacitores. Assim, os referidos capacitores foram conectados em paralelo com a máquina seguindo o esquema representado pela figura 7.

Figura 7: Esquema de fechamento Motor e banco de capacitores



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a implementação do banco de capacitores o fator de potência medido subiu para 0,94, o que resultou em uma potência aparente por fase de 127,65VA e uma potência reativa de 43,55Var. A Figura 8 apresenta o fator de potência medido após a implementação do banco de capacitores.

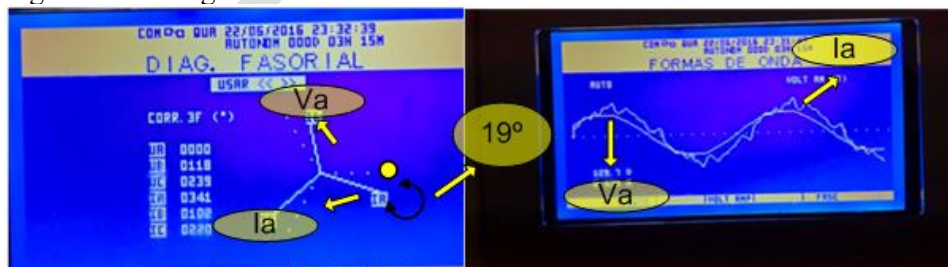
Figura 8: Fator de potência após correção



Fonte: Elaborado pelo autor

Devido ao aumento do fator de potência o ângulo entre as tensões e correntes do circuito também diminuíram de forma significativa. O novo ângulo medido entre a tensão da fase “a” e a corrente também da fase “a” foi de aproximadamente 19° . A Figura 8 apresenta o diagrama de fases do circuito, bem como as formas de onda da tensão e da corrente plotadas em tela pelo analisador de energia.

Figura 9: Defasagem entre a tensão e corrente da fase “a”



Fonte: Elaborado pelo autor

Sob a metodologia proposta obteve-se em primeira etapa de aquisição de dados identificadores as potências e fator de potência do respectivo MIT em operação como apresenta a Quadro 1.

Quadro 1: Dados de identificação de fator de potência

CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT	POTÊNCIA APARENTE (S)	POTÊNCIA ATIVA (P)	POTENCIA REATIVA (Q)	FATOR DE POTÊNCIA $\text{COS } \theta = \text{FP}$
1Nm (Newtom /m)	257VA	120W	226VAR	$\text{COS } 61^\circ = 0.48$

Fonte: Elaborado pelo autor

Perante tais resultados observou-se que à máquina (MIT), operava em regime de fator de potência inferior ao objetivado por regulamentos e condições que proporcionam à operações dentro de uma eficiência energética satisfatória. Isto é, para que em ocasião pudesse produzir um trabalho mecânico no eixo do motor requerido por um conjugado de 1Nm, absorvia-se da rede uma energia classificada em potência aparente no valor de 257VA e com um ângulo de defasagem da corrente em relação a tensão (atraso) de 61° , resultando assim em uma fator de potência de 0,48 de característica predominante indutiva.

E sob tal experimento foram alcançados os objetivos energéticos satisfatórios como apresenta a quadro 3 comparada a quadro2 com resultados de identificação.

Quadro 2: Sem correção do fator de potência.

CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT	POTÊNCIA APARENTE (S)	POTÊNCIA ATIVA (P)	POTENCIA REATIVA (Q)	FATOR DE POTÊNCIA $\text{COS } \theta = \text{FP}$
1Nm	257VA	120W	226VAR	$\text{COS } 61^\circ = 0.48$

Fonte: Elaborado pelo autor

Quadro 3: Após a correção do fator de potência no valor desejado de 0,92.

CARGA APLICADA AO CONJUGADO DO MIT	POTÊNCIA APARENTE (S)	POTÊNCIA ATIVA (P)	POTENCIA REATIVA (Q)	FATOR DE POTÊNCIA $\text{COS } \theta = \text{FP}$
1Nm	127,65VA	120W	43,55VAR	$\text{COS } 19^\circ = 0.94$

Fonte: Elaborado pelo autor

Outro aspecto relevante a se considerar em tal aplicação é o da corrente, em que na primeira situação sem a aplicação do respectivo banco de capacitores, toda corrente absorvida tinha origem na fonte de fornecimento, isto é, o motor consumia com a carga aplicada de 1Nm, uma corrente aproximada de 3 amperes fornecida integralmente pela rede elétrica. Após a correção do fator de potência sob à aplicação de capacitores, onde os mesmos por suas características de armazenamento de energia tornam-se parte do fornecimento da energia conseqüentemente parte da corrente necessária para o funcionamento do motor de indução.

5 CONCLUSÃO

Este artigo analisa e comprova através do experimento que embora determinadas aplicações sejam consideradas simples trazem por real característica não a simplicidade mas sim uma tradicional e clássica aplicação que beneficia aspectos fundamentais relacionados ao fator de potência, onde neste exemplo o benefício direto foi proporcionar eficiência de transformação da energia elétrica absorvida da rede em real trabalho mecânico, e o benefício indireto pode proporcionar a diminuição no

carregamento de transformadores e infraestrutura de condutores respectivo a cada instalação onde tal correção for implementada. Espera-se ainda a reversão do efeito de perdas de energia elétrica proveniente da elevação da corrente seguido do aquecimento de condutores (efeito Joule), consequências essas do excesso de energia reativa nas instalações.

Tal estudo não só permitiu que obtivesse resultados relacionados a eficiência energética, entretanto revela características implícitas nesta aplicação que propõem também estudos relacionados a qualidade de energia, pelo fato de apresentar distorções harmônicas após a implementação de capacitores. Bem por contribuições para futuros estudos relacionados a cargas não lineares, carregamento de transformadores, aplicação do método a outros tipos de equipamentos, cargas não fixas, implementação a projetos, aplicação de bancos automáticos etc.

IDENTIFICATION AND POWER FACTOR CORRECTION DEDICATED TO A THREE PHASE INDUCTION MOTOR

Abstract

Electric power from his/her discovery to the current days supplies an infinity of resources and viabilities for the industries, trade and residences. This way, the use of this energy should be made in an efficient and maintainable way. Like this, several works have been presenting strategies to obtain a high efficiency of operation of equipment's, well of the facilities in that the same ones are connected and electric facilities. In this sense, this work approaches applied concepts the efficiency of facilities through the correction of the potency factor. More specifically, a study will be presented dedicated to the correction of PF (power factor) to a three-phase induction machine of 0.5 CV operating in non-nominal conditions and connected directly to the power grid. Experimental results will be presented to validate the proposal.

Key-words: Factor of Potency, Motor of Induction, Bank of capacitors.

REFERÊNCIAS

BARROS, Benjamim Ferreira de. **Gerenciamento de energia:** ações administrativas e técnicas de uso adequado da energia elétrica. São Paulo: Érica, 2014.

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas.** 14.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MAMEDE FILHO, João. **Instalações elétricas industriais.** 8.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

POMILIO, J. A. **PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA.** 200. 226 f. Trabalho submetido a Pós-Graduação em Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas. 2007.

SANTOS, Afonso Henriques Moreira; [ET AL.]. **Conservação de energia:** eficiência energética de instalações e equipamentos. 2. ed. Itajubá: Nova Fronteira, 2001.

SOUZA, F. P. **CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA ARA INSTALAÇÕES DE BAIXA POTÊNCIA EMPREGANDO FILTROS ATIVOS.** 2000. 226 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2000.

BOYLESTAD, Robert L. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS.** 8ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

ASHFAQ, A. **Eletrônica de Potência.** 1ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2000.

BIM, Edson. **MAQUINAS ELÉTRICA E ACIONAMENTOS.** 1ª Edição. São Paulo: Elsevier Ltda, 2009.

ANEEL. **Regulamenta a definição, os valores de referência e a abrangência na aplicação do Fator de Potência para faturamento do**

excedente de reativos de unidades consumidoras. Resolução Normativa nº. 414, de 9 de setembro de 2012, Brasília.

SIEMENS; **Manual de motores elétricos.** São Paulo: Siemens do Brasil, 2008. Disponível em: <<http://www.siemens.com.br>>. Acesso em: 12 de março 2016.

RAMPAZZO, Lino. **Metodologia científica: para alunos dos cursos de graduação e pós-graduação.** São Paulo: Stiliano, 1998.

e-TEC