



Análise da Qualidade de Energia de Geradores de Indução Trifásicos

Anderson Rodrigo Piccini¹ – anderson.piccini@ifpr.edu.br

Aurasil Ferreira Garcia Junior¹ – aurasil.junior@ifpr.edu.br

Eber de Santi Gouvêa¹ – eber.gouvea@ifpr.edu.br

Gustavo Henrique Bazan¹ – gustavo.bazan@ifpr.edu.br

Ricardo Toshiyuki Kato¹ – ricardo.kato@ifpr.edu.br

Brenner Bressan de Lima¹ – brennerbres@hotmail.com

Juliana Pitta¹ – julianalupitta@hotmail.com

Marcus Vinícios Siqueira da Silva Rosa¹ – markinho_vinicius_siqueira@hotmail.com

Pedro Henrique de Souza Marques¹ – marquesph99@gmail.com

Julio Estefano Augusto Rosa Filho¹ (orientador) – julio.estefano@ifpr.edu.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

Resumo: Atualmente o uso de energia elétrica proveniente de micro e minigeração, está sendo muito utilizado para suprir a necessidade de geração. No entanto, a qualidade de energia que é gerada deve seguir alguns critérios e parâmetros de qualidade estabelecidos pelas agências reguladoras de energia.

A maior parte da energia gerada é fornecida por máquinas síncronas, que são caras e tem um custo de manutenção elevado devido suas partes construtivas. Uma das formas de reduzir o custo de produção de energia elétrica é utilizar um motor de indução como um gerador assíncrono podendo ser feito pelo acoplamento de banco de capacitores que fornecerão a energia reativa necessária para o funcionamento como gerador. Pretende-se dessa forma, apresentar uma contribuição a esta área a partir de análises e ensaios em laboratório de uma pequena unidade geradora viabilizando o uso dessa energia em um sistema isolado, contribuindo assim, para a universalização da energia elétrica.

Através do uso de um medidor de qualidade de energia será verificada a viabilidade da produção dessa energia. Os dados obtidos serão analisados no software PQLogView, possibilitando assim uma ampla análise técnica dos dados obtidos.

Palavras-chave: Gerador assíncrono; motor de indução; sistema elétricos.

1. Introdução

O gerador assíncrono é uma alternativa viável para geração de energia elétrica em mini e microaproveitamentos hidroenergéticos, principalmente devido ao seu baixo custo, que é de aproximadamente 40% inferior em relação ao gerador síncrono. Possui simplicidade construtiva, baixa manutenção e robustez quando comparado ao gerador síncrono.

Quase toda a energia gerada, é fornecida por máquinas síncronas, que são caras e têm um custo de manutenção elevado devido suas partes construtivas, pois possuem conjunto de escovas, anéis deslizantes e rotores bobinados.

Para uma máquina assíncrona atuar como gerador, faz-se necessário dimensionar o banco de capacitores a ser instado em paralelo com a máquina de indução e encontrar o valor correto da capacitância. Existem algumas metodologias de dimensionamentos difundidas na literatura, como apresentado em Devabhaktuni e Kumar (2011) e Boora (2009), que apresentam algumas dessas formas.

Uma das dificuldades do projeto é manter a máquina magnetizada quando ocorre um aumento de carga sobre o gerador, pois sua tensão e frequência começam a cair até perder sua

capacidade de gerar energia, precisando dessa forma, realizar algum tipo de controle de velocidade ou no envio de amperes reativos à máquina. No entanto, essa condição de desmagnetização também funciona como uma proteção para a máquina, pois em caso de curto circuito, a mesma será desmagnetizada perdendo a capacidade de geração.

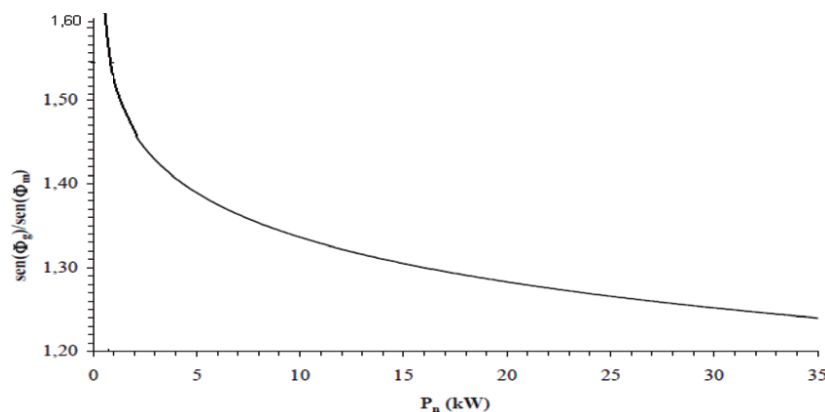
2. Materiais e Métodos

Para o desenvolvimento do projeto, foi necessário dimensionar o valor dos capacitores a serem colocados em paralelo com o motor. Após a montagem do sistema de geração, foi possível iniciar a etapa de coletas de dados do sistema, obtendo assim os gráficos que relacionam tensão e velocidade angular. Através do instrumento ET-5060 C da minipa foi possível realizar a aquisição de dados e analisar a qualidade da energia gerada pelo gerador assíncrono.

O dimensionamento da autoexcitação a partir de um banco de capacitores, é realizado através do método de Chapallaz et al.,(1990), e também com base em curvas obtidas experimentalmente conforme Figura 2.1, e equacionamento analítico apropriado. Neste trabalho será utilizado um motor de indução trifásico de baixa potência.

Inicialmente, para obter o valor correto da capacitância é necessário encontrar a relação entre $\text{sen}(\Phi_g)$ e $\text{sen}(\Phi_m)$ através da curva da Figura 2.1.

Figura 2.1- relação experimental $\text{sen}(\Phi_g)$ entre o gerador e $\text{sen}(\Phi_m)$ do motor em função da potência nominal



Fonte: Adaptado de Chapallaz et al., (1990)

Através dessa relação é possível encontrar a energia reativa necessária para o motor operar como um gerador através da seguinte equação:

$$Q_g = \frac{\text{sen}(\Phi_g)}{\text{sen}(\Phi_m)} \cdot Q_m, \quad (1)$$

onde a energia reativa do motor de indução é expressa por (2):

$$Q_m = P_{el} \text{tg}(\Phi_m) \quad (2)$$

O fator P_{el} é a potência elétrica do motor de indução, e Φ_m o ângulo determinado pelo fator de potência do motor.

Assim a capacitância por fase necessária para fornecer a energia reativa para a máquina é dada por:

$$C = \frac{Q_g}{3V^2 2\pi f} 10^3 \quad (3)$$

Segundo Fonseca et al., (2013), o início do processo de autoexcitação do gerador exige um magnetismo residual, presente no núcleo de ferro da máquina.

Para iniciar o processo de geração, é necessário que a máquina seja energizada a fim de criar um magnetismo residual. Assim quando seu rotor girar, uma tensão residual no estator aparecerá. Esta por sua vez, é aplicada aos terminais do banco de capacitores aumentando a intensidade do campo magnético e induzindo uma tensão maior no gerador. Esta tensão é aplicada novamente nos terminais do banco de capacitores de forma que a tensão cresça gradativamente até a magnetização completa da máquina.

3. Resultados e discussões

Para o experimento foi utilizado um motor de indução com as especificações da Tabela 1.

Tabela 1 – Dados de placa do motor de indução

Modelo	Potência (W)	Rotação (rpm)	Número de Pólos (P)	Rendimento (%)	Tensão (V)	Fator de Potência
Nova	370	1750	4	70,3	220/380	0,72

Fonte: Próprio autor, (2016)

De acordo com a equação (3) o valor da capacitância é dado por:

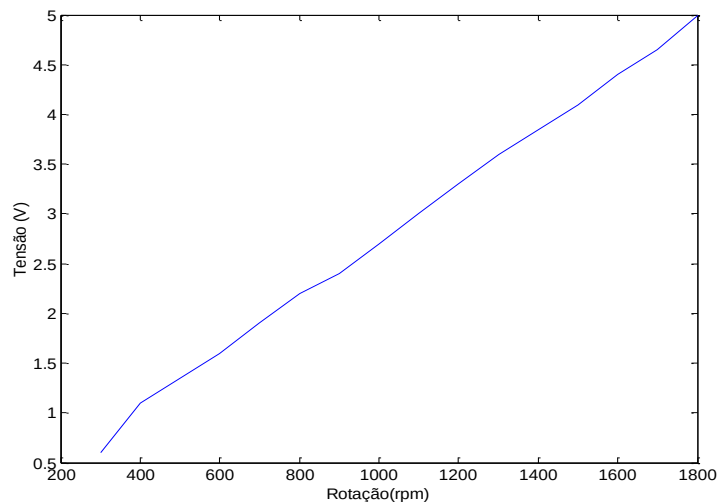
$$C = \frac{788,8}{3(127)^2 2\pi 50} = 51,8 \mu F \quad (4)$$

Fazendo a conversão para a frequência de 60Hz, tem-se:

$$C_{60} = 51,8 \times 10^{-6} \left(\frac{50}{60} \right)^2 = 36 \mu F \quad (5)$$

3.1. Ensaio de magnetização do gerador sem capacitores com fechamento em delta

Figura 3.1- Curva de magnetização do gerador sem capacitores



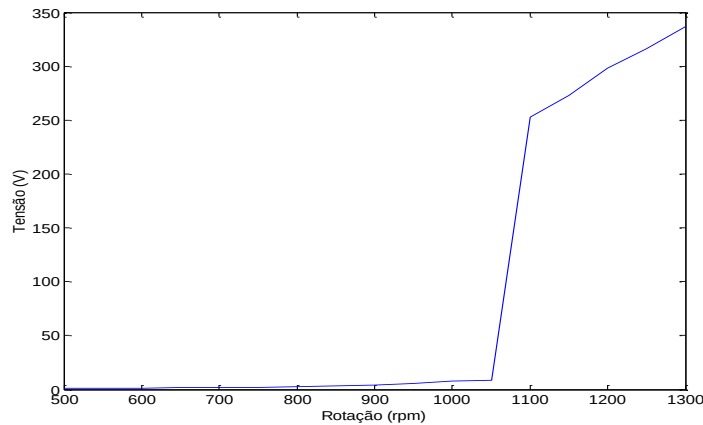
Fonte: Próprio autor, (2016)

Verifica-se pela Figura 3.1 que a magnetização residual fornecida pela máquina fornece aproximadamente 5V nos terminais do estator quando a rotação do eixo atinge a velocidade síncrona, tensão esta necessária para dar início ao processo de magnetização quando o banco de capacitores é inserido no sistema.

3.2. Ensaio de magnetização do gerador com capacitores e fechamento em delta

Esse ensaio tem por objetivo levantar a curva da tensão gerada a vazio em função da rotação do eixo da máquina conforme a Figura 3.2. Para esse levantamento, foi utilizado o valor de capacitor de $30\mu F$.

Figura 3.2- Curva de magnetização do gerador assíncrono



Fonte: Próprio autor, (2016)

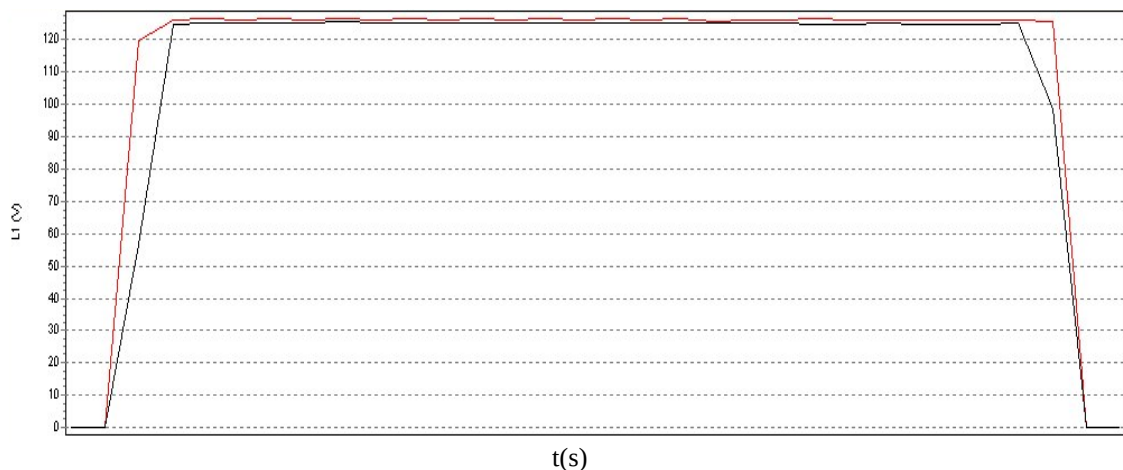
Os ensaios mostraram que para diferentes valores de capacitores, a magnetização completa da máquina ocorre a partir 1000rpm, e após ser magnetizada, o valor da tensão gerada cresce linearmente em relação à rotação do rotor. Observa-se ainda que para valores de rotação próxima da velocidade síncrona, a tensão gerada atinge valores de tensão elevados decorrente da ausência de carga.

3.3. Ensaio do gerador com carga

Para validação do experimento foram utilizadas três cargas resistivas com potência de 60watts com tensão nominal de 127V e ligação em delta. O gráfico da Figura 3.3 ilustra o comportamento da tensão na carga mostrando ainda o instante em que a carga é ligada e desligada do sistema. A curva em vermelho indica o valor máximo da tensão e a de preto o valor médio da tensão.

A coleta dos dados foi realizada por aproximadamente 5 minutos pelo analisador de qualidade, apresentando um valor de tensão constante de 127 V conforme Figura 3.3.

Figura 3.3- Análise da tensão gerada na carga

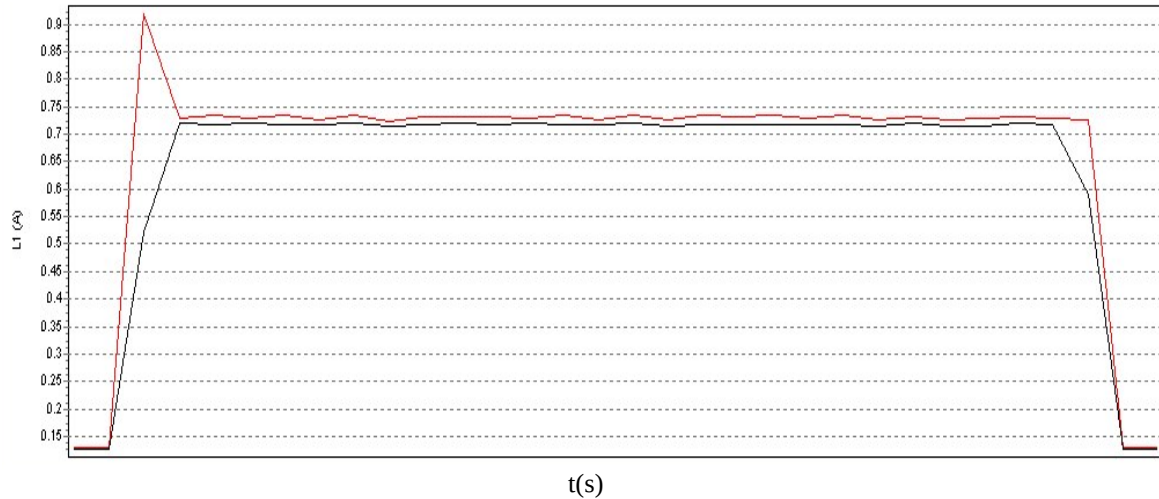


Fonte: Próprio autor, (2016)

De forma semelhante, foi realizada a leitura da corrente na carga conforme pode ser visto na Figura 3.4. Verifica-se que o valor da corrente máxima indicada em vermelho,

permanece constante em relação ao valor médio indicado em preto durante todo o intervalo de leitura, diferenciando apenas nos períodos transitórios da inserção e desligamento das cargas no sistema.

Figura 3.4 – Análise da corrente na carga



Fonte: Próprio autor, (2016)

Uma das vantagens do gerador assíncrono é seu baixo custo, robustez e proteção contra curto circuito e possibilidade de trabalhar com frequência diferente de 60Hz quando utilizado em sistemas isolados de pequena geração. Outra vantagem é a possibilidade de ser ligada a um sistema elétrico de grande porte, visto que nesse caso, o próprio sistema fornecerá os reativos ao gerador não precisando assim de capacitores. Nesta condição, a frequência do gerador permaneceria com valor nominal de 60Hz da rede elétrica.

Uma das dificuldades desse tipo de geração é a regulação de tensão, visto que o mesmo sofre queda de tensão quando cargas são inseridas no sistema, podendo inclusive perder sua magnetização e a capacidade de gerar. Outra característica do gerador assíncrono é a capacidade de ser ligado a um barramento sem a necessidade de estar exatamente em sincronismo, pois o mesmo trabalha adequadamente para diferentes valores de escorregamento.

4. Conclusões

Com a realização do trabalho, foi possível comprovar que um motor de indução pode atuar satisfatoriamente como um gerador, mantendo uma tensão adequada em seus terminais quando cargas resistivas são ligadas ao sistema. Através do analisador de qualidade de energia foi possível identificar com precisão qualquer tipo de distúrbio que podem afetar um sistema de geração.

REFERÊNCIAS

BOORA, S. On-Set Theory of Self-Excitation in Induction Generation. International Journal of Recent Trends in Engineering, v.2, 2009, p.325-330.

CHAPALLAZ, J.M. et al. Manual On Induction Motors Used As Generators. Braunschweig: Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-Gate, 1992. (Mhp series harnessing water power on a small scale; v.10).

DEVABHATUNIS, S.; KUMAR, S. V.J. Design of Excitation Capacitance for Self-Excited Induction Generator Science and Communication Network, v.1, 2001, p. 264-269.