

Projeto e execução de uma carga eletrolítica trifásica para ensaios em geradores

RESUMO

Daniel Marcos Dal Pozzo
danielpozzo@utfpr.edu.br
<http://orcid.org/0000-0002-0995-0614>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, Brasil.

Giovano Mayer
giovano@utfpr.edu.br
<http://orcid.org/0000-0003-0556-4502>
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, Brasil.

Este trabalho apresenta o projeto e a execução de uma bancada que opera como uma carga elétrica trifásica. Objetiva-se com tal bancada, a possibilidade de aplicação de diferentes cargas elétricas em ensaios de geradores. A bancada foi idealizada com flexibilidade no que diz respeito a ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica, pois possui como principais características construtivas a possibilidade do ajuste da potência nominal e a utilização da carga em diferentes níveis de tensão e corrente, o que aumenta sua possibilidade de aplicação, além de retratar uma carga elétrica de comportamento real. A bancada é composta por uma estrutura metálica, por uma solução eletrolítica acondicionada em um recipiente não condutor, por três eletrodos de cobre, um sistema de inserção dos eletrodos e um painel elétrico. A carga eletrolítica é de fácil operação, apresenta baixo custo de fabricação e manutenção. Resultados experimentais mostram que a carga eletrolítica trifásica comporta-se como uma carga resistiva trifásica e pode consumir valores consideráveis de potência elétrica, o que a torna muito útil em ensaios de geradores.

PALAVRAS-CHAVE: carga trifásica, carga eletrolítica, potência elétrica, ensaio de geradores.

INTRODUÇÃO

O uso de uma carga elétrica é imprescindível em ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica, servindo de suporte para o estudo do comportamento deste equipamento quando em operação. Fazendo uso de uma carga elétrica, é possível criar uma situação que se assemelha às condições operativas de um gerador que venha a ser ensaiado (DEL TORO, 1994). Todos os equipamentos elétricos são cargas elétricas, porém, cada qual com suas características intrínsecas (corrente, tensão e potência) o que muitas vezes torna inviável a utilização direta de equipamentos elétricos em ensaios de geradores. Existem vários modelos de cargas e bancos de cargas que podem ser obtidos comercialmente, no entanto, um dos principais inconvenientes em termos de carga elétrica que surge neste contexto é a dificuldade em se obter um dado valor específico de carga e característica elétrica, quando ensaios em geradores de diferentes potências são realizados (DAL POZZO, 2013).

Com o objetivo de atender a esta demanda, este trabalho apresenta inicialmente o projeto e a execução de uma bancada que opera como uma carga elétrica ajustável e, portanto, permite a realização de ensaios elétricos com geradores de diferentes potências. Posteriormente, por meio de alguns ensaios são analisadas as características que esta bancada apresenta. Os dados das grandezas elétricas envolvidas foram medidos com o auxílio de sensores e adquiridos com o sistema de aquisição de dados cDAQ-9178 da *National Instruments* em conjunto com a plataforma *LabVIEW*®.

A bancada desenvolvida e que simula uma carga elétrica trifásica, será denominada deste ponto em diante de carga eletrolítica trifásica. Tal carga é obtida por meio da eletrólise em solução aquosa eletrolítica, que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica. No sistema proposto, a solução aquosa encontra-se acondicionada em um recipiente não condutor e o eletrólito utilizado é o cloreto de sódio (NaCl).

Dependendo do gerador a ser ensaiado, a carga utilizada deve ser ajustável de modo que possa ser conectada ao mesmo e atenda a uma faixa de carga compreendida entre uma carga nula até uma sobrecarga. A carga eletrolítica oferece a possibilidade de ajuste da corrente e por consequência de sua potência nominal, por meio da alteração da área de contato dos eletrodos com a solução aquosa. Esta alteração é realizada inserindo ou retirando os eletrodos da solução aquosa de forma controlada.

A eletrólise é uma reação química não espontânea que é caracterizada pela ocorrência de reações de oxidação e redução em uma solução aquosa eletrolítica (RUSSELL, 2008). Apesar de não ser espontânea ao ser inserida uma corrente elétrica nesta solução a eletrólise pode ocorrer. A eletrólise é um processo eletroquímico de grande aplicação industrial (SILVEIRA, 1991), que é utilizado para a obtenção de uma série de compostos. Nesta reação, a energia elétrica aplicada é transformada em energia química e energia térmica (ATKINS; PAULA, 2012). Como resultado desta reação, é possível verificar a formação de diversos novos produtos de acordo com os reagentes utilizados.

As soluções eletrolíticas são soluções aquosas que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica (ATKINS; PAULA, 2012). Este tipo de solução é obtida através da dissolução de um eletrólito, normalmente um sal de grande

solubilidade, um ácido forte ou uma base forte. O eletrólito é um composto que quando dissolvido em água forma uma solução que tem a propriedade de conduzir corrente elétrica (RUSSELL, 2008). Quando um eletrólito é dissolvido, são formados íons livres que tornam a solução condutora de eletricidade (TICIANELLI; GONZALEZ, 2005). A carga eletrolítica desenvolvida neste trabalho utiliza como eletrólito o cloreto de sódio (NaCl), a reação química para a dissolução do NaCl pode ser observada na Equação 1.



Como pode ser observado na Equação 1, quando da dissolução do NaCl são formados íons na forma de cátions Na^+ e ânions Cl^- . Desse modo, quando os eletrodos de cobre submetidos a uma diferença de potencial elétrico são inseridos na solução, os íons transportam as cargas de um eletrodo a outro, fechando assim o circuito (RUSSELL, 2008).

2.1 FUNCIONAMENTO DA CARGA ELETROLÍTICA

Para a execução da carga eletrolítica trifásica foram utilizados três eletrodos de cobre (um para cada fase) de mesmo diâmetro (3/8") e comprimento (500mm), espaçados fisicamente entre si em 120° e presos a um suporte. A defasagem física de 120° garante que a corrente que irá circular pelas três fases é equilibrada. A corrente elétrica obtida é função dos seguintes fatores: nível de tensão elétrica aplicada (tensão proveniente da concessionária ou do gerador conectado à carga); temperatura em que a solução se encontra; tipo e concentração do eletrólito que está dissolvido na solução e também da área de contato dos eletrodos com a solução eletrolítica.

Com a inserção ou retirada dos eletrodos, altera-se a área de contato dos eletrodos com a solução eletrolítica, obtendo-se desta forma alterações específicas e intencionais do valor da corrente elétrica que circula pelo circuito. Na carga eletrolítica desenvolvida, a inserção ou retirada dos eletrodos pode ser feita com o circuito energizado, ou seja, com a carga em operação, o que a torna ainda mais flexível frente a diferentes situações de operação.

A corrente elétrica que circula na solução e que produz a carga elétrica, é proporcional à concentração de eletrólito devido à maior proporção de íons livres disponíveis (RUSSELL, 2008). Isso resulta em uma quantidade maior de elétrons envolvidos no processo o que conseqüentemente aumenta a corrente elétrica que circula pelo sistema (DAL POZZO, 2013).

MATERIAIS E MÉTODOS UTILIZADOS PARA A EXECUÇÃO DA CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

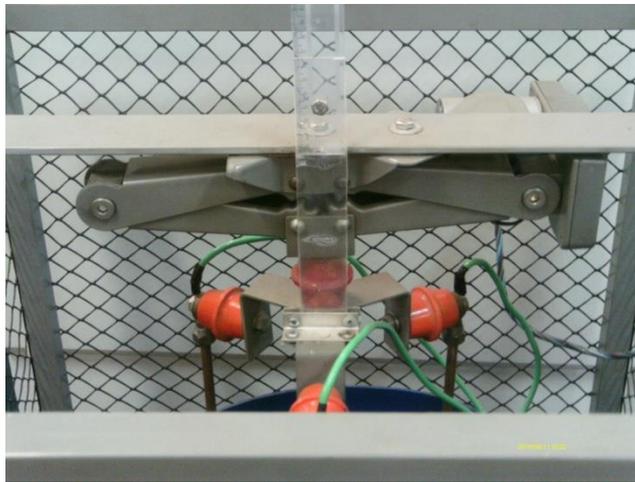
O projeto da estruturada de suporte da carga eletrolítica foi realizado com auxílio de software de desenho computacional, de forma a atender o tamanho necessário para o acondicionamento de um recipiente não condutor que possui um volume de aproximadamente 170L.

Para inserir ou retirar os eletrodos de cobre da solução aquosa e desta forma controlar o valor da corrente elétrica mesmo com o circuito energizado, foi

utilizado um conjunto com fuso central acionado por um motor de corrente contínua, que fica fixado na parte superior da estrutura. Junto ao conjunto foi acoplada uma escala que é utilizada para medição da profundidade em que os eletrodos são inseridos na solução quando a carga eletrolítica estiver sendo utilizada.

Junto à extremidade inferior do sistema de inserção dos eletrodos, foi fixado um suporte para os eletrodos e isoladores em epóxi, que além de isolar eletricamente, auxiliam na sustentação do conjunto. Através da Figura 1 é possível observar o sistema de inserção e retirada dos eletrodos.

Figura 1- Sistema de inserção e retirada dos eletrodos.



Fonte: O autor.

O acionamento do sistema de inserção e retirada dos eletrodos é realizado através do painel de comando e força da bancada que pode ser observado na Figura 2. O acionamento dos botões de impulso denominados na Figura 2 pelos números 4 e 5, fazem respectivamente a inserção e a retirada dos eletrodos. O disjuntor identificado pelo número 1 é responsável pelo acionamento do circuito de força (carga elétrica). O disjuntor identificado pelo número 2 é o disjuntor de proteção do circuito de comando (sistema de inserção); o número 3 mostra o posicionamento dos barramentos de força onde são conectadas as três fases da carga eletrolítica (tensão advinda do gerador a ser ensaiado ou da tensão da concessionária) e o número 6 refere-se a uma placa de acrílico para proteção.

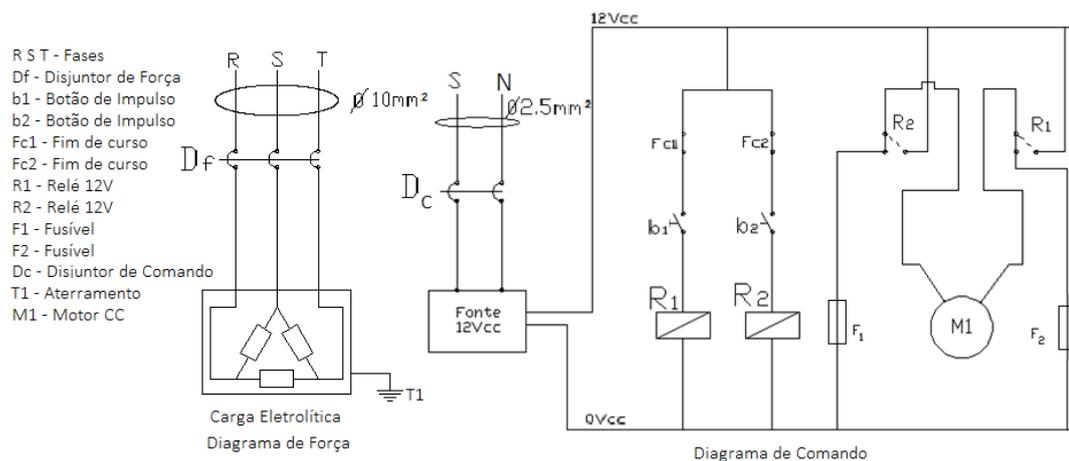
Figura 2- Painel de comando e força da carga eletrolítica.



Fonte: O autor.

O esquema de ligação elétrica da carga eletrolítica foi projetado e executado de tal forma que o circuito da carga e o circuito de inserção e retirada dos eletrodos são totalmente independentes. A principal vantagem de tal separação está relacionada com a segurança na operação da carga eletrolítica com o circuito energizado. O esquema elétrico de ligação da carga eletrolítica e as especificações técnicas podem ser verificados na Figura 3.

Figura 3- Diagramas de comando e força da carga eletrolítica.



Fonte: O autor.

É possível observar no diagrama de comando a direita da Figura 3, que a tensão de alimentação do motor de corrente contínua utilizado para a inserção e

retirada dos eletrodos é realizada por uma fonte de 12Vcc. Para a inversão do sentido de giro do motor, foram utilizados dois relés (R1 e R2) os quais estão ligados de forma a permitir a inversão do sentido de giro do motor através do acionamento dos botões de impulso (B1 e B2). Os fusíveis F1 e F1 protegem o circuito contra uma eventual sobrecarga. No lado esquerdo da Figura 3, é possível observar a representação elétrica em delta da carga eletrolítica trifásica e o ponto de conexão do aterramento de toda a estrutura metálica da bancada.

A fim de evitar contatos com os eletrodos de cobre, foi instalada uma tela de proteção ao redor da estrutura metálica. A disposição final da carga eletrolítica pode ser observada na Figura 4.

Figura 4- Configuração final da carga eletrolítica trifásica.



Fonte: O autor.

2.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA OS ENSAIOS DA CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

A fim de verificar o comportamento dos valores de tensão e corrente da carga eletrolítica trifásica, foram utilizados sensores dispostos de tal forma a medir a corrente em cada uma das três fases e a tensão de fase para uma das fases. Os sensores utilizados convertem os valores de corrente ou tensão em um sinal proporcional de corrente dentro de uma faixa de 0 a 20mA com *offset* de 10mA DC, ou seja, os sensores replicam exatamente a forma de onda do sinal a ser medido, desta forma o sinal senoidal de tensão ou corrente apresentará o seu valor mínimo em 0mA e o seu valor máximo em 20mA, excursionado em torno de 10mA. Os sinais provenientes de tais sensores são enviados a um sistema de aquisição que utiliza o *LabView*®.

O *LabView*® é um ambiente de programação utilizado em modernas aplicações de monitoramento, aquisição e controle (TRAVIS, 2007). Utiliza uma linguagem de programação gráfica, intuitiva e de fácil entendimento. Cada

programa é chamado de VI (*virtual instruments*) que é composto basicamente de um painel frontal onde está disposta a IHM (interface homem máquina) e do diagrama de blocos com o código gráfico desenvolvido (TRAVIS, 2007). Este *software* foi utilizado para o desenvolvimento de um programa que permite a aquisição de dados das grandezas elétricas medidas quase que em tempo real. Além disso, é possível visualizar na IHM as formas de onda da tensão e da corrente e gravar os dados em arquivos com extensão TDMS, próprio para a abertura em planilhas em formato *xlsx*.

O sistema de aquisição de dados utilizado é o NI cDAQ-9178 da National Instruments. Tal sistema de aquisição é modular e cada módulo é especificado de acordo com o tipo de sinal que se deseja medir. Para a aquisição e o monitoramento da tensão e da corrente, foi utilizado o módulo de entrada analógica NI 9203 que aquisita sinais analógicos de 0 a 20 mA, possui 16 bits de resolução, oito canais de entrada analógica e possui uma taxa de amostragem máxima por canal de 25k/s.

Com a utilização do VI e do sistema de aquisição de dados, é possível aquisitar o sinal de corrente e tensão enviado pelos sensores, bem como a conversão para valores RMS e a gravação do histórico dos valores em arquivo. Estas amplitudes são apresentadas em valores proporcionais de 0 a 20mA e para chegar ao valor real da grandeza elétrica medida, é necessário converter o valor proporcional utilizando a Equação 2.

$$((V2n - 0,01) * As) / 0,01 \quad (02)$$

Onde $V2n$ é o sinal proporcional do sinal medido e As refere-se a faixa de medição do sensor utilizado.

Alguns ensaios foram realizados para verificar o comportamento da carga eletrolítica e todos os dados provenientes de tais ensaios foram gravados em arquivos do tipo TDMS para posteriormente serem analisados.

2.3 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

A fim de verificar as características elétricas e o comportamento da carga eletrolítica, foram realizados alguns ensaios. O primeiro ensaio realizado foi para verificar o comportamento da corrente elétrica em função da profundidade dos eletrodos de cobre. Na sequência, em outro ensaio, foi aplicada uma tensão trifásica na carga eletrolítica que teve por objetivo verificar se a corrente nas três fases era de fato equilibrada e se a carga tinha componentes reativos ou de comportamento puramente resistivo.

Paralelamente a este ensaio, buscou-se analisar a influência que a temperatura da solução exerce sobre a corrente na carga, pois a temperatura da solução aquosa aumenta consideravelmente no decorrer do ensaio fazendo com que ocorra o aumento da corrente elétrica. Isso contribuiu na busca por valores de profundidade dos eletrodos em que a temperatura da solução exercesse menor influência sobre o valor nominal da corrente. Com isso é possível estabelecer pontos de operação onde a corrente na carga permanece constante por um período de tempo mais longo, o que permite o ensaio de geradores com uma carga de potência que pode ser considerada constante.

O volume de solução utilizado foi de 108L com concentração de $0,015\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ de NaCl. Os ensaios de aplicação de tensão trifásica foram divididos em duas etapas. Na primeira etapa a tensão aplicada foi de 220Vac obtida diretamente da rede da concessionária. Na segunda etapa a tensão aplicada foi de 380Vac obtida através de um transformador variador de tensão. Os diferentes valores de tensão foram aplicados para avaliar o comportamento da carga para diferentes níveis de tensão.

O monitoramento da temperatura da solução aquosa foi realizado através de um termômetro infravermelho com mira laser (Raytec RAYST6LXB), pois durante os ensaios a solução encontra-se eletrizada e este termômetro não requer contato físico com o que está sendo medido. O ponto de medição padrão para a medição da temperatura foi definido como o centro da superfície da solução e este mesmo ponto foi adotado para todos os ensaios realizados.

Para medir a profundidade dos eletrodos na solução, foi utilizada a escala graduada e para cada um dos ensaios realizados, foram aquiritados dados de temperatura, corrente, tensão e profundidade dos eletrodos.

ENSAIOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os ensaios permitem analisar o comportamento da carga eletrolítica e desta forma obter os pontos de operação em que o valor da potência elétrica permanece constante para o maior tempo possível. Auxiliam também no entendimento de como a temperatura influencia no aumento da corrente e, portanto da potência da carga elétrica.

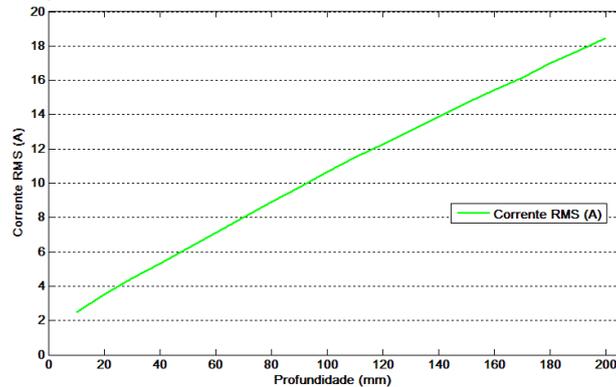
3.1-CORRENTE NA CARGA EM FUNÇÃO DA PROFUNDIDADE DOS ELETRODOS DE COBRE

Esse ensaio teve por objetivo mostrar que a corrente elétrica que circula na carga eletrolítica apresenta comportamento linear em função da profundidade e, portanto da área com que os eletrodos são imersos na solução aquosa. Como a corrente na carga também é influenciada pela temperatura da solução eletrolítica, para que fosse possível obter resultados satisfatórios na realização dos ensaios, a solução foi aquecida até aproximadamente 75oC. Este valor de temperatura foi verificado experimentalmente e segundo as observações e medições, é um dos pontos de temperatura que exerce a menor influência sobre o resultado final no valor da corrente elétrica da carga.

Para este ensaio os eletrodos foram inseridos gradativamente em intervalos de profundidade de 10 em 10mm e a temperatura da solução aquosa manteve-se constante em aproximadamente 75° C.

Durante a realização desse ensaio, a tensão aplicada permaneceu constante em 220Vac. A variação do valor da corrente em função do aumento da profundidade dos eletrodos pode ser observada no gráfico da Figura 5.

Figura 5- Corrente elétrica na carga em função da profundidade dos eletrodos e temperatura de 75°C.



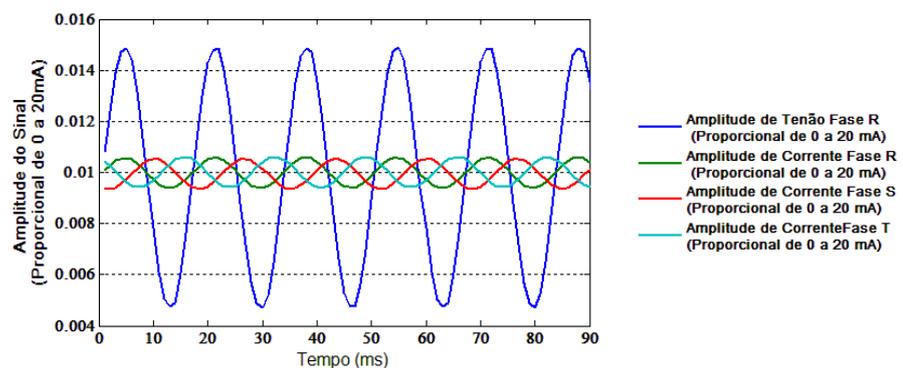
Fonte: O autor.

Através deste ensaio é possível verificar um comportamento bastante linear entre a variação da profundidade dos eletrodos e a corrente elétrica que circula pela carga eletrolítica trifásica. A linearidade verificada neste ensaio se deve ao fato de que para a mesma temperatura e tensão aplicada (220Vac), a velocidade na qual a eletrólise ocorre é proporcional à profundidade em que os eletrodos estão inseridos na solução eletrolítica.

3.2 EQUILÍBRIO DA CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

A carga eletrolítica trifásica desenvolvida foi projetada para ser equilibrada. Com o auxílio do sistema de aquisição de dados e da programação em LabView®, foram aquiritados dados da tensão na fase R e corrente nas três fases. O gráfico da Figura 6 possibilita observar estes valores proporcionais.

Figura 6 - Comportamento da corrente elétrica na carga eletrolítica trifásica.



Fonte: O autor.

Observa-se que a forma de onda da tensão na fase R (curva azul) está em fase em relação a corrente de sua respectiva fase (curva verde), mostrando que a carga obtida através da eletrólise do cloreto de sódio é de comportamento puramente

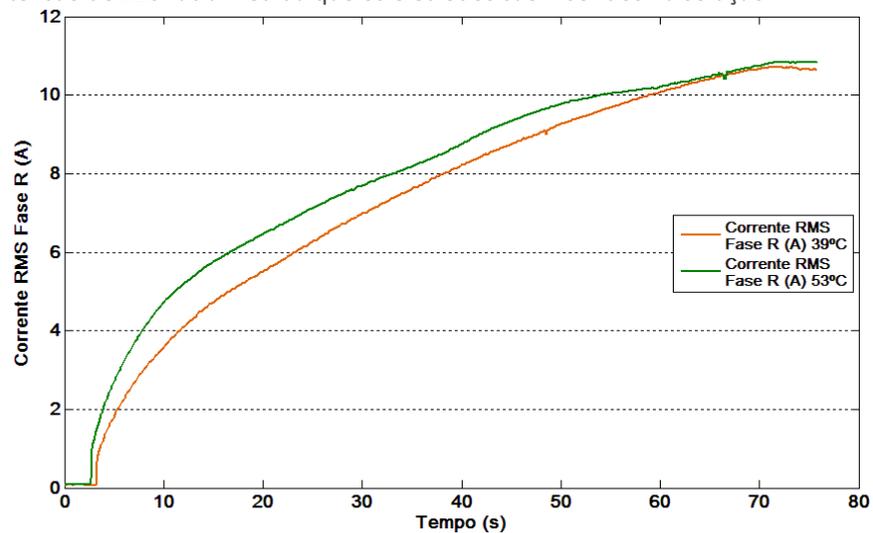
resistivo (FP=1.0). Outro fato a ser destacado é que o valor de pico da corrente para as três fases é o mesmo, o que mostra que a carga é equilibrada.

3.3 ENSAIO PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

O valor da corrente na carga sofre variação devido ao aumento da temperatura da solução e que por consequência aumenta a ocorrência da eletrólise. Este ensaio tem como principal objetivo analisar a influência que a temperatura da solução exerce sobre a corrente que circula na carga. Seu resultado mostra como a temperatura da solução influencia nos valores da corrente da carga para uma mesma profundidade dos eletrodos. Os dados obtidos foram adquiridos durante o processo de inserção dos eletrodos até a profundidade máxima, que foi de aproximadamente 195mm. Neste intervalo de tempo, foram adquiridos os valores de corrente RMS na fase R da carga. O mesmo procedimento foi repetido para duas temperaturas diferentes da solução, sendo elas de aproximadamente 39°C e 53°C, ambas as situações com tensão de 220Vca.

Conforme pode ser observado no gráfico da Figura 7, dentre as duas situações abordadas, para a situação em que a temperatura da solução é maior (53°C), a corrente na carga apresenta sempre um valor mais elevado quando comparada com a temperatura de 39°C. Como a velocidade de inserção dos eletrodos é praticamente igual, certo instante de tempo pode ser associado a uma dada profundidade, desse modo, é visível a influência que a temperatura exerce sobre a corrente na carga eletrolítica.

Figura 7 - Influência da temperatura sobre a corrente na carga eletrolítica trifásica para a tensão de 220Vac a medida que os eletrodos são inseridos na solução.



Fonte: O autor.

Ainda neste mesmo ensaio, foram adquiridos os valores da forma de onda da corrente para a fase R para os dois valores de temperatura. Tais resultados podem ser verificados nos gráficos das Figuras 8 e 9. Nestes gráficos é possível observar os valores da corrente (de pico a pico) aumentando no decorrer do tempo com a inserção dos eletrodos na solução. É possível observar também que o valor da

amplitude da corrente na fase R aumenta proporcionalmente em função da inserção dos eletrodos na solução eletrolítica e que quanto maior a temperatura, maior é o valor da corrente elétrica para o mesmo valor de profundidade dos eletrodos. Isso mostra a existência de uma forte dependência entre o valor da corrente na carga e o aumento da temperatura da solução aquosa.

Figura 8: Amplitude da corrente na fase R para temperatura de 39°C à medida que os eletrodos são inseridos na solução.

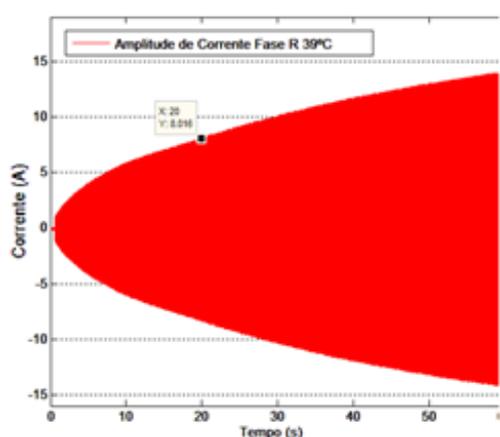
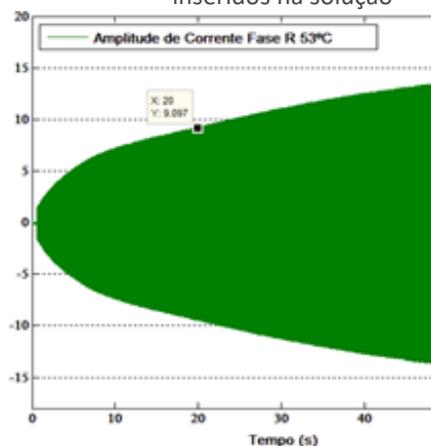


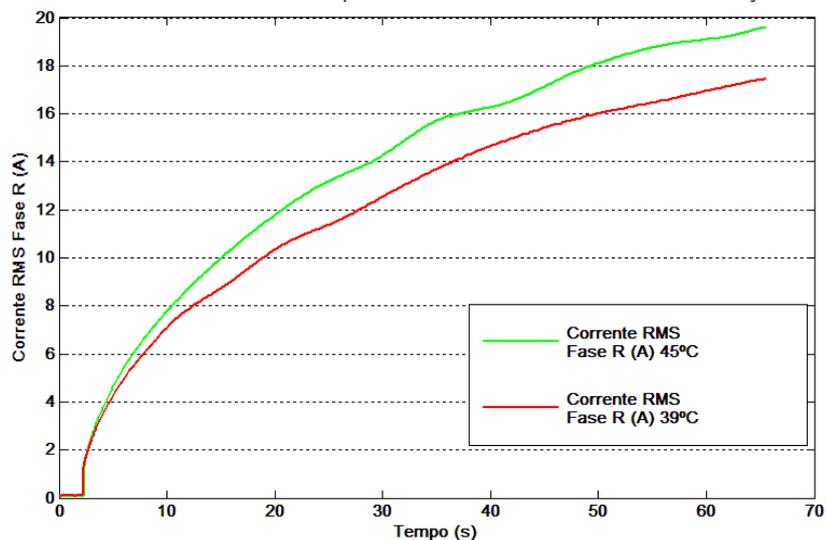
Figura 9: Amplitude da corrente na fase R para temperatura de 53°C à medida que os eletrodos são inseridos na solução.



Fonte: O autor.

Para verificar a dependência existente entre a corrente e a temperatura da solução em ensaios em que a tensão aplicada na carga eletrolítica trifásica é maior que 220Vac, foi realizado outro ensaio com uma tensão a de 380Vac, cujo resultado pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Influência da temperatura sobre a corrente na carga eletrolítica trifásica para a tensão de 380Vac a medida que os eletrodos são inseridos na solução.



Fonte: O autor.

Este ensaio tem por objetivo verificar o comportamento da carga frente à variação da temperatura em uma tensão maior, caso geradores com tensão nominal acima de 220Vac sejam ensaiados com a carga eletrolítica. Este ensaio segue o mesmo procedimento do ensaio anterior, ou seja, a temperatura foi homogeneizada (agitou-se a água antes do ensaio) a 39°C e na sequência a 45°C.

Pode ser observado no gráfico da Figura 10, que para a situação em que a temperatura é maior a corrente apresenta um valor final maior, deixando visivelmente clara a influência exercida pela temperatura no valor final da carga propriamente dita, quer seja para tensões menores ou tensões maiores.

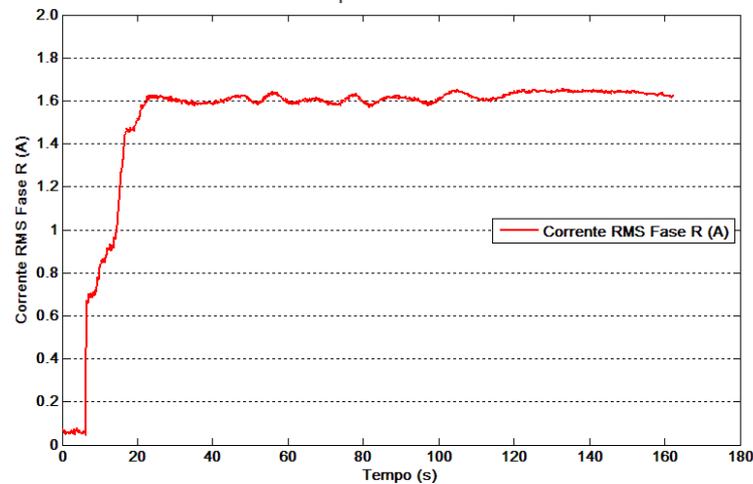
3.4 ENSAIO PARA ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A CARGA ELETROLÍTICA TRIFÁSICA

Como a corrente aumenta com a temperatura, os ensaios apresentados a seguir foram realizados com o objetivo de se obter experimentalmente uma determinada combinação entre a temperatura, a profundidade dos eletrodos, a tensão e a concentração de eletrólito, para que resultasse em valores constantes de corrente no decorrer do tempo. O propósito destes ensaios é mostrar que a carga eletrolítica trifásica pode ser usada como uma carga constante ao longo de determinados intervalos de tempo. Foram realizados três ensaios para mostrar isso.

3.4.1 Corrente de 1.6A

Para a realização deste ensaio a solução foi aquecida e homogeneizada a 40°C. Este é um valor de temperatura em que a solução tende a se estabilizar quando a carga é submetida a uma corrente de 1.6A em 220Vac por um longo período de tempo. Inicialmente os eletrodos foram posicionados de tal forma a não entrarem em contato com a solução. Em seguida os mesmos foram inseridos até chegar à profundidade de 26mm, o que resultou em um valor de corrente de aproximadamente 1.6A. Durante o intervalo de duração do ensaio (160s), foram adquiridos os valores da corrente RMS para a fase R. Os resultados podem ser observados no gráfico da Figura 11, onde é possível observar através que depois de alcançada a profundidade de 26mm, a corrente fica em torno de 1.6A RMS, apresentando apenas pequenas variações em torno deste valor. Durante a realização deste ensaio, a temperatura exerce baixa influência sobre a corrente na carga. Isso foi possível devido à combinação entre temperatura, profundidade dos eletrodos e concentração de eletrólito que resultou em uma carga que permaneceu constante (corrente constante) em torno de 160s.

Figura 11 - Comportamento da carga eletrolítica trifásica para uma temperatura de 40°C com os eletrodos a uma profundidade de 26mm e tensão de 220Vca.



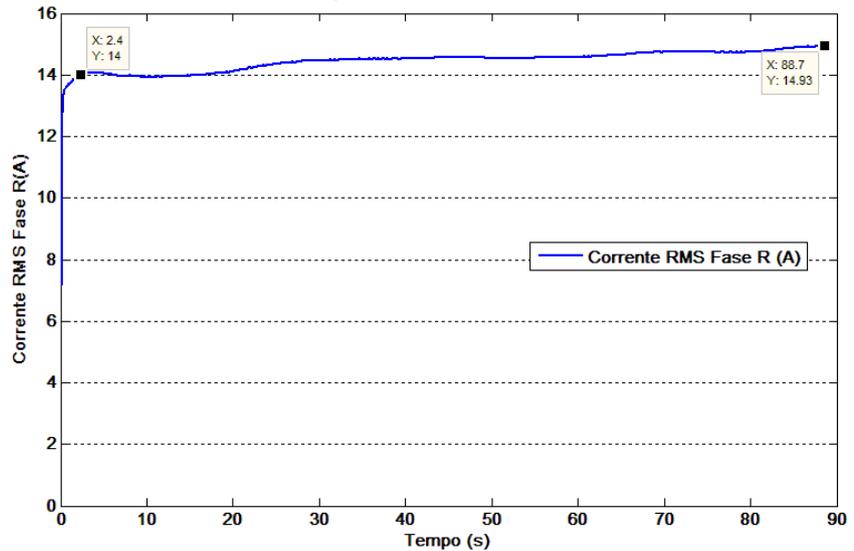
Fonte: O autor.

3.4.2 Corrente de 14A

Este ensaio é similar ao ensaio anterior e foi realizado com o objetivo de analisar o comportamento da carga eletrolítica para uma corrente nominal de 14A em 380Vac. O comportamento apresentado pela carga eletrolítica neste ensaio serve de base para ensaios em geradores que apresentam uma tensão nominal de 380Vac. Para este ensaio foi obtida de forma experimental uma combinação entre profundidade dos eletrodos e temperatura, que resultasse em uma corrente de aproximadamente 14A. O valor obtido para a temperatura da solução foi de 46°C e profundidade de 140mm.

Com os eletrodos posicionados a 140mm e a solução homogeneizada a 46°C, o disjuntor geral de força da carga foi acionado e os valores RMS de corrente na fase R foram adquiridos durante todo o intervalo um intervalo de 90s. Através do gráfico da Figura 12, é possível observar o valor RMS da corrente para a fase R.

Figura 12 - Comportamento da carga eletrolítica trifásica para uma temperatura inicial de 46°C com os eletrodos a uma profundidade de 140mm e tensão de 380Vca.



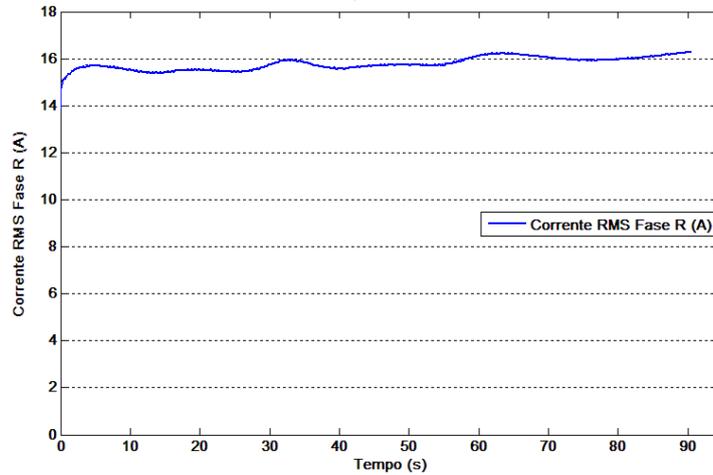
Verifica-se que ao longo dos 90s ocorreu um aumento de 1A no valor da corrente, tal aumento é devido à elevação da temperatura da solução que ao término do ensaio era de 48°C. Conforme pode ser observado no gráfico do ensaio, a corrente na carga permaneceu com valor praticamente constante em 14A por aproximadamente 20s, o que torna possível a aplicação da carga com tal configuração em ensaios que demandem duração de até 20s com corrente constante em torno de 14A.

3.4.4 Corrente de 16A

O objetivo deste ensaio é analisar o comportamento da carga caso seja necessário aumentar a carga em 10% durante o ensaio. Desta forma foi encontrado experimentalmente um ponto de operação que resultasse em 16A para um tempo de 90s (sobrecarga de 10% do valor de corrente utilizada no ensaio anterior).

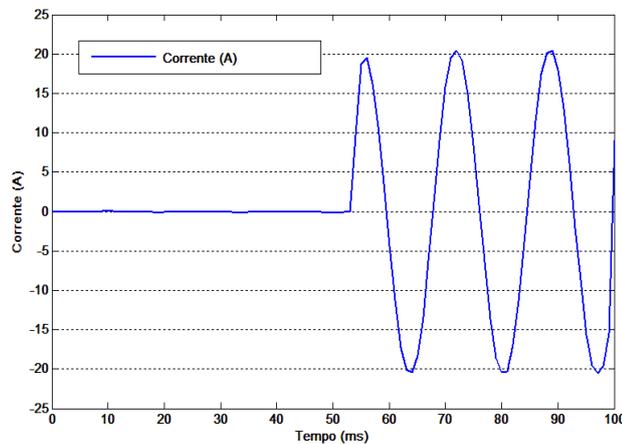
Neste ensaio a temperatura da solução foi homogeneizada em torno de 42°C e a profundidade necessária para obtenção da corrente de 16A foi de 195mm. Com os eletrodos posicionados a esta profundidade, o disjuntor geral de força foi acionado. O ensaio entendeu-se por um intervalo de 90s onde foram aquisitados os valores de corrente RMS para a fase R. Através do gráfico da figura 13 é possível observar o comportamento da corrente ao longo do tempo.

Figura 13 - Comportamento da carga eletrolítica trifásica para uma temperatura inicial de 42°C com os eletrodos a uma profundidade de 195mm e tensão de 380Vca.



Neste gráfico observa-se a variação da corrente na carga devido à elevação da temperatura da solução que finalizou em aproximadamente 50°C. Neste ensaio a potência dissipada na carga é mais elevada, fazendo com que a temperatura da solução aumente mais rápido do que quando comparada às situações em que a potência dissipada era menor. Para este mesmo ensaio foram aquisitados os valores da forma de onda da corrente que mostram o comportamento da carga eletrolítica trifásica durante o acionamento da mesma (fechamento do disjuntor de força), conforme pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Comportamento da forma de onda da corrente da carga eletrolítica trifásica para uma temperatura inicial de 42°C com os eletrodos a uma profundidade de 195mm e tensão de 380Vca.



Através do gráfico da Figura 14 é possível observar o momento em que a carga é acionada e já para o primeiro semi-ciclo a corrente quase alcança o seu valor nominal mostrando de fato que a carga comporta-se de forma resistiva uma vez que não apresenta dinâmica no acionamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste trabalho resultou na obtenção de uma carga eletrolítica trifásica que pode ser utilizada em ensaios de geração de energia elétrica para diferentes geradores que necessitem de uma carga acoplada.

Com a realização dos ensaios na carga eletrolítica, foi possível analisar o comportamento da mesma em operação e pode ser verificado que a carga eletrolítica é equilibrada e apresenta um comportamento ativo.

Uma das vantagens de se empregar este tipo de carga elétrica é que a mesma pode ser ajustada para diferentes valores de corrente elétrica e, portanto, de potência elétrica. O ajuste da corrente se dá pela inserção ou retirada dos eletrodos na solução aquosa. Os ensaios mostram que a variação da corrente em função da profundidade dos eletrodos na solução aquosa, apresenta um comportamento linear desde que a temperatura não aumente.

Em meio à execução dos ensaios com a carga eletrolítica, foi verificada a influência direta que a temperatura exerce sobre a corrente da carga, a qual se mostrou como um problema de destaque. Esta influência é maior quando é necessário manter uma alta potência na carga que seja constante por um período de tempo maior.

Quando for realizado um ensaio que necessite de corrente constante no decorrer do tempo, a influência da temperatura na carga pode ser compensada por meio de um constante monitoramento da corrente na carga seguida pela alteração da área de contato entre os eletrodos e a solução. Atualmente esta alteração pode ser realizada no próprio painel do protótipo, através de botões de impulso existentes, porém é necessário que alguém realize este monitoramento e ajuste constantemente, isso torna o uso deste sistema em seu estado atual um tanto quanto inviável, se forem realizados ensaios de longa duração.

Embora nos ensaios abordados, a máxima corrente na carga tenha sido de aproximadamente 16A, a empregabilidade da carga trifásica eletrolítica não se limita somente a tais situações. Para obtenção de valores mais elevados, é recomendado aumentar a concentração de eletrólito na solução.

Em termos de ensaios com equipamentos de geração de energia elétrica, a carga trifásica eletrolítica é uma opção interessante, levando-se em conta que este sistema pode trabalhar sendo submetido a diferentes níveis de tensão e corrente. Além disso, a carga desenvolvida é de fácil operação e apresenta um baixo custo de fabricação e manutenção.

Como proposta de melhoria para o sistema desenvolvido nesse projeto, sugere-se a criação de um sistema de controle que seja capaz de fazer o controle da corrente na carga eletrolítica, com base em um valor pré-definido de corrente imposta pelo usuário. Tal valor de corrente pode ser definido via LabView®, que com o auxílio do sistema de aquisição de dados, faz a constante leitura da corrente da carga eletrolítica, compara com o valor pré-definido pelo usuário e corrige a variação do valor da corrente que ocorre devido ao aumento da temperatura através da variação da área de contato entre os eletrodos e a solução, acionado o sistema de controle dos eletrodos, que posiciona os eletrodos de cobre de forma controlada.

Project and execution of a three-phase load electrolytic for tests on generators

ABSTRACT

This work presents the project and execution of a workbench that operates as a three-phase electrical load. Objective with this workbench, the possibility of applying different electrical loads on generators tests. The workbench was idealized with flexibility as regards the tests with power generation equipment; it has as main constructive features the possibility of adjustment of the nominal power, and the use of different levels of load, voltage and current, which increases their application possibilities, besides portray an electric load of actual behavior. The workbench is comprised of a metallic structure, of a solution electrolytic packaged in a non-conducting container, for three copper electrodes, one electrode insertion system and an electrical panel. The load electrolytic is easy to operate, has a low cost of manufacture and maintenance. Experimental results show that the three-phase load electrolytic behaves as a resistive load three phase and can consume considerable values of electrical power, which makes it very useful in generators tests.

KEYWORDS: three-phase load, load electrolytic, electric power, generator test.

REFERÊNCIAS

ATKINS, P. W., PAULA, J. de. **Físico-química**. 8 e 9. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2008. 2012. 2 v. ISBN 9788521616009 (v.1). Vol. 1 e 2. ISBN 9788521621058 (v.2).

DAL POZZO, D. M. **Projeto e Execução de uma Carga Trifásica Eletrolítica para Ensaio de Potência em Geradores**. 2013. 66f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2013.

DEL TORO, V. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Rio de Janeiro, RJ: Prentice Hall do Brasil: LTC, c1994. xiii, 550 p. ISBN 8570540531.

RUSSELL, J. B. **Química geral**. 2. ed. São Paulo, SP: Makron, 1994-2008. 2 v. Vol 1 e 2. ISBN 8534601925 (v. 1).

SILVEIRA, A. T. **Físico-química**. São Paulo: FTD, 1991. 263 p. ISBN 8532203655.

TICIANELLI, E. A., GONZALEZ, E. R. **Eletroquímica: Princípios e Aplicações** 2ª Ed. São Paulo; Editora da universidade de São Paulo, 2005. ISBN85-314-0424-x

TRAVIS, J., KRING, J. **LabVIEW for everyone: graphical programming made easy and fun**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2007. xl, 981 p. ISBN 9780131856721.

Recebido: 21/12/2016

Aprovado: 10/05/ 2018

DOI: 103895/recit.V9n23.5265

Como citar: DAL POZZO, D. M.; MAYER, G. Projeto e Execução de uma carga eletrolítica trifásica para ensaios em geradores.

R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira, v. 09, n. 23, p 60_p 78, set/dez 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Daniel Marcos Dal Pozzo

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Medianeira, Paraná, Brasil

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

