

SEL0423 - LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

Conexão da máquina de indução como gerador

João Victor Barbosa Fernandes	NºUSP: 8659329
Josias Blos	NºUSP: 8006477
Rafael Taranto Polizel	NºUSP: 8551393
Rodolfo Brigato Ferreira	NºUSP: 8628168

PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

1 Introdução

Este roteiro experimental visa propor duas maneiras de conectar a máquina assíncrona (máquina de indução) presente no Laboratório como gerador, representando um gerador eólico: uma conectada a rede, e outra operando de maneira isolada, possível no caso de geradores de pequeno porte. O objetivo é analisar seu funcionamento ao alimentar uma carga resistiva, observando a influência da velocidade de rotação da máquina (emulando uma variação na velocidade do vento) na potência elétrica fornecida a carga.

Para que a máquina em questão opere como gerador, fornecendo potência ativa para uma determinada carga, seu escorregamento nominal deve ser pequeno, em geral de 1 a 5%. É necessário também que haja uma fonte de potência reativa (fonte de excitação) alimentando o gerador, para que possa ocorrer o escorvamento. Esta fonte irá diferir nas duas formas de operação, conforme especificado a seguir. Pretende-se, portanto, elaborar um esquema de montagem para a energização e operação da máquina como gerador.

2 Gerador Assíncrono Isolado

Defini-se como operação isolada do gerador de indução a sua operação desconectada à rede de distribuição. Porém, para que o gerador seja energizado, faz-se necessário uma fonte de potência reativa, responsável pelo escorvamento da máquina, ou seja, sua auto-excitação. Na operação isolada do gerador, a fonte responsável por fornecer a potência reativa ao gerador será um banco de capacitores conectado em delta e em paralelo com a carga (Figura 1). Logo, deve-se especificar qual o banco de capacitores que deve ser utilizado para que a máquina possa se auto-excitar, e também deve-se determinar o fornecimento de potência mecânica ao eixo do gerador, emulando uma turbina eólica por exemplo, e as ligações presentes entre o gerador e a carga alimentada.

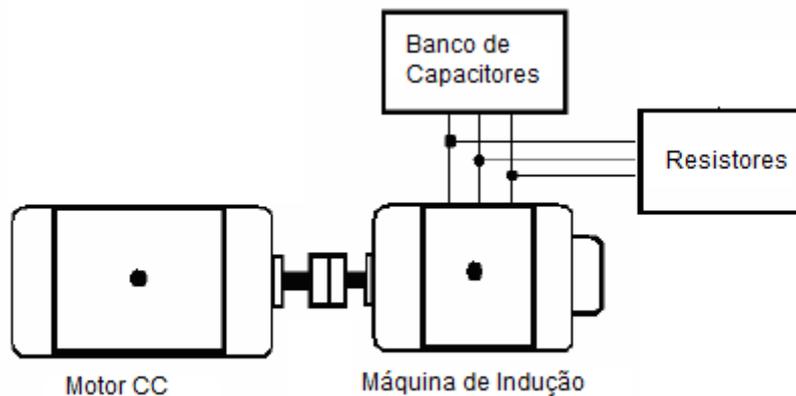


Figura 1 – Esquema de ligação do gerador de indução isolado

Devido a operação isolada, qualquer alteração na carga deve produzir uma queda na tensão gerada, e uma alteração na velocidade de rotação da máquina primária (responsável por fornecer potência mecânica ao gerador) deverá produzir uma alteração na frequência da tensão gerada. Desta forma, faz-se necessário aplicação de controle na tensão e na frequência. No experimento, porém, será analisado apenas a alteração na velocidade de rotação da máquina, simulando diferentes velocidades de ventos, no caso de um gerador eólico. Um ajuste, contudo, pode ser feito no caso da variação da tensão causada pela variação de carga, que é feito

aumentando a capacitância do banco de capacitores. Este ajuste será feito pelo fato da determinação do banco ser para tensão em vazio. Logo, ao inserir a carga, deve haver uma mudança na tensão, necessitando de um redimensionamento do banco.

2.1 Especificação do banco de capacitores

O primeiro passo para obter a especificação do banco de capacitores é construir a curva de saturação da máquina, ou seja, a curva da tensão terminal pela corrente terminal (E_a vs I_a). Esta curva é obtida experimentalmente, conforme descrito a seguir. Aciona-se a máquina de indução em sua **velocidade síncrona (1700 rpm)** por meio da máquina CC presente no laboratório, conforme Figura 2. Aplica-se então, **gradativamente, tensões nos terminais do estator, partindo de 0 [V] até chegar na tensão nominal de 200 [V]**, e **mede-se a corrente de armadura associada a cada tensão**. Com este conjunto de dados obtidos, basta construir então a curva de saturação da máquina, ou seja, construir um gráfico de E_a vs I_a , a partir do *MATLAB*. Assim como todo experimento laboratorial, deve-se também atentar para os limites das máquinas envolvidas e para as escalas dos aparelhos de medição utilizados, a fim de evitar danos aos equipamentos. Os limites de cada equipamento se encontram em seus dados de placas, que devem ser checados antes mesmo da montagem deste experimento.

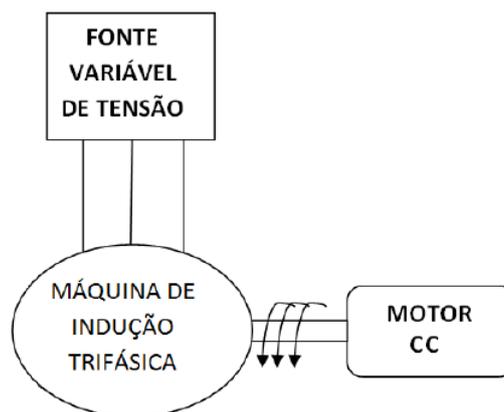


Figura 2 – Esquema de ligação para obtenção da curva de saturação

Com esta curva em mãos, define-se o ponto de operação do gerador, que usaremos em $V = 220 [V]$ para simular a alimentação de uma carga de $220 [V]$, e traça-se uma reta partindo da origem e cruzando com a curva de saturação da máquina no ponto de operação, conforme Figura 3. A inclinação desta reta define a capacitância X_c necessária para que o gerador auto-excite e possa transferir potência ativa para uma carga. A capacitância é obtida através da Equação 2 e da Equação 1, fazendo $f = 60 [Hz]$, que é o caso da rede elétrica brasileira.

$$X_c = \frac{E'_a}{I'_a} \quad (1)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (2)$$

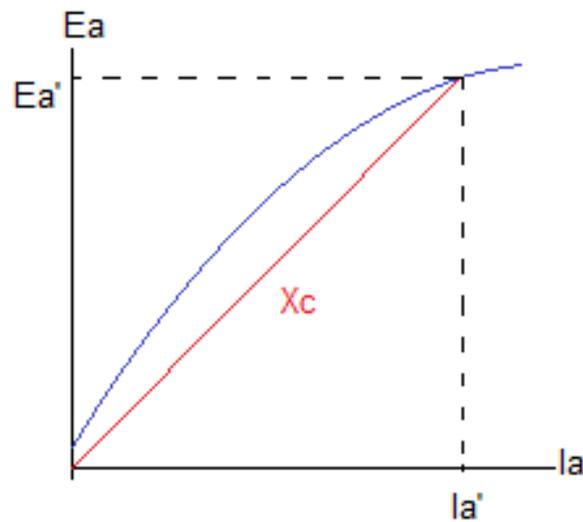


Figura 3 – Curva para obtenção da capacitância

2.2 Fonte de potência mecânica

Para que uma máquina assíncrona opere como gerador, além da necessidade de uma fonte de potência reativa, é preciso também uma fonte de potência

mecânica, responsável por girar o rotor do gerador, fazendo o papel de uma turbina eólica, por exemplo. Neste caso, a velocidade de rotação deve ser acima da velocidade síncrona da máquina, visto que para a operação como gerador, a máquina síncrona necessita de um escorregamento negativo, com valor absoluto pequeno. Portanto, de acordo com a Equação 3, a velocidade de rotação deve ser maior que a velocidade síncrona.

$$s = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} \quad (3)$$

O elemento responsável por fornecer esta potência mecânica será a máquina CC presente no laboratório, operando como motor. Deve-se então alimentar o campo e a armadura da máquina com tensões CC nominais, de maneira com que ela opere em sua velocidade nominal de 1800 [rpm]. Nesta velocidade, é provável que a máquina de indução já opere como um gerador. Porém, caso isso não ocorra, necessitando de uma velocidade maior, basta aumentar a tensão de alimentação do campo da máquina CC, desde que esta não ultrapasse seu valor nominal especificado na placa da máquina. Deve-se atentar aos limites de tensão e corrente do campo e da armadura da máquina CC, para que não haja risco de danos ao motor.

2.3 Conexão da carga

A carga utilizada neste experimento será um banco de resistores presente no laboratório, e o objetivo será analisar o comportamento da tensão na carga frente a variações na velocidade de rotação do gerador. O banco de resistores é um banco trifásico em delta, e será conectado junto aos terminais do gerador de indução, na tensão de 220 [V], conforme o esquema da Figura 1. Serão conectados também multímetros para medir a corrente e a tensão, a fim de analisá-las durante o experimento.

2.4 Conexão do sistema

Para a operação isolada do gerador de indução, o primeiro passo para a conexão do sistema é a determinação do banco de capacitores necessário para a excitação da máquina, conforme descrito anteriormente. Feito isso, basta conectar

o banco determinado aos terminais da armadura do gerador, em paralelo com o banco de resistores, conforme Figura 1, e iniciar a operação da máquina primária, aplicando tensão nominal em seus terminais, para que ela opere na velocidade nominal. Basta realizar **as medidas necessárias** para a análise do comportamento, e alterar a tensão de alimentação da máquina primária, para que haja mudança na velocidade de rotação do gerador de indução e, conseqüentemente, possamos analisar a influência desta velocidade na operação do sistema.

O desligamento do sistema deve ser feito inicialmente pelo desligamento da máquina primária, para que assim não haja mais potência mecânica para o gerador, e este pare de gerar. Somente depois devem ser desconectados o banco de capacitores e o banco de resistores, pois assim todas as cargas acumuladas no banco de capacitores já foram descarregadas para os resistores, não havendo perigo de arcos elétricos.

3 Gerador Assíncrono Conectado a Rede

Na operação conectado a rede elétrica, a potência reativa necessária para o escorvamento da máquina é obtida através da própria rede elétrica, e portanto não é necessário a presença do banco de capacitores. Porém, geralmente o banco de capacitores é utilizado para a correção do fator de potência da ligação. A conexão é semelhante a do gerador isolado, porém "troca-se" o banco de capacitores por uma conexão com a rede elétrica, conforme segue. Devido a conexão com a rede elétrica, mesmo que haja uma variação na carga, não faz-se necessário um controle para a tensão e para a frequência, visto que é a rede que determinará tais valores.

3.1 Fonte de potência mecânica

Assim como no caso do gerador isolado, o gerador conectado a rede necessita de uma fonte de potência mecânica, emulando uma turbina eólica. A montagem será dada da mesma maneira que no caso do gerador isolado: a velocidade de rotação fornecida deve ser maior do que a velocidade síncrona da máquina, para que haja um escorregamento negativo, e a máquina de indução possa operar gerando energia. Da mesma maneira, é provável que uma máquina CC operando a

1800 [rpm] seja suficiente para que a máquina de indução possa operar como gerador. Caso contrário, deve-se alimentar aumentando a velocidade de rotação do motor CC aumentando sua tensão de alimentação, para assim aumentar o escorregamento e a geração de potência.

3.2 Conexão da carga

A carga utilizada neste experimento é a mesma utilizada no experimento com o gerador conectado de forma isolada: um banco de resistores trifásico, conectados em delta. Sendo assim, sua conexão se dará da mesma forma que anteriormente, ou seja, cada uma das fases do banco é ligada em uma fase da armadura do gerador, fazendo com que a potência ativa gerada seja consumida pelo banco, descontadas as perdas nos cabos. A figura Figura 4 exemplifica a conexão que será feita. Os medidores serão conectados da mesma forma que anteriormente, para que possamos realizar as mesmas análises para ambas as conexões do gerador de indução.

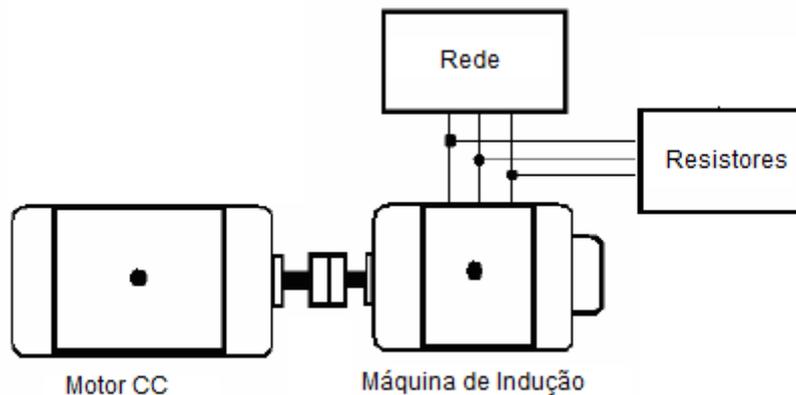


Figura 4 – Esquema de ligação do gerador de indução conectado à rede

3.3 Conexão do gerador à rede

A conexão do gerador de indução com a rede elétrica é feita conectando-se cada fase da rede as fases da armadura do gerador, assim como feito com o banco

de resistores. Porém, para que o gerador possa ser ligado a rede de forma segura, deve-se seguir alguns passos, que garantem o correto início de operação.

1. Inicialmente com o gerador desconectado da rede, a velocidade da máquina CC deve ser aumentada, até que seja atingida sua velocidade síncrona. Isto é feito aumentando a corrente de campo do motor CC, atentando-se aos limites da máquina, e medindo a rotação através do tacômetro. Ao atingir a velocidade síncrona, deve-se manter a máquina operando neste ponto.
2. Deve-se então conectar o gerador de indução a rede elétrica. Se houver a possibilidade do uso de um disjuntor ou uma chave é preferível, para evitar possíveis arcos elétricos.
3. Feita a conexão, deve-se aumentar novamente a velocidade da máquina CC, para uma velocidade acima de sua velocidade síncrona, para que a máquina de indução possa operar no modo gerador (com escorregamento negativo). Deve-se então monitorar a corrente de armadura que vai da máquina para a rede, até que a mesma atinja seu valor nominal. Neste ponto cessa-se o aumento da velocidade da máquina primária.

Feita esta conexão, seguindo os passos anteriormente descritos, é possível então medir a corrente absorvida pela carga resistiva, sua tensão, e também analisar a influência da variação na velocidade da máquina primária na potência absorvida pela carga. Terminado o experimento, deve-se atentar também a desconexão do gerador da rede elétrica, que é feita de maneira contrária a conexão. Primeiro deve-se diminuir a velocidade da máquina CC para sua velocidade síncrona, e então desconectar o gerador de indução da rede. Somente após esta desconexão, a máquina CC deve ser desligada. Caso haja a presença de banco de capacitor para correção do fator de potência, o mesmo deve ser desconectado juntamente com a desconexão da rede, e deve ser conectado em paralelo com a carga, para que em sua desconexão, ele possa ser descarregado.

CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

A execução dos ensaios necessários para obter a curva de saturação da máquina de indução e também os experimentos de análise da influência da velocidade de rotação do gerador na potência gerada deverá ser feita em até três aulas práticas pré-estabelecidas em calendário (08 a 29 de novembro).

Assim, os ensaios serão feitos na seguinte ordem:

1. Obtenção da curva de saturação - 08 de novembro
2. Análise da operação isolada - 22 de novembro
3. Análise da operação conectada à rede - 29 de novembro

OBSERVAÇÃO: Não haverá aula no dia 15 de novembro por motivos de feriado nacional.

RESPONSÁVEIS PELAS ATIVIDADES

Considerando a dificuldade na execução das atividades e a necessidade de atenção dobrada do grupo devido aos perigos existentes no laboratório, estipula-se que **sempre** haverá **três** integrantes do grupo responsáveis pela montagem/realização da atividade, sendo o quarto integrante responsável pela verificação final do circuito montado e coleta dos dados necessários para as análises. Assim, pretende-se assegurar que todos os passos foram seguidos corretamente, além de atentar-se à segurança dos envolvidos na execução do mesmo, cuidando também para nunca seja violado nenhum limite das máquinas.

1. Obtenção da curva de saturação

- Execução 1: João Victor Barbosa Fernandes;
- Execução 2: Josias Blos;
- Execução 3: Rafael Taranto Polizel;
- Coleta de dados: Rodolfo Brigato Ferreira;

2. Análise da operação isolada

- Execução 1: Josias Blos;
- Execução 2: Rafael Taranto Polizel;
- Execução 3: Rodolfo Brigato Ferreira;
- Coleta de dados: João Victor Barbosa Fernandes;

3. Análise da operação conectada à rede

- Execução 1: Rafael Taranto Polizel;
- Execução 2: Rodolfo Brigato Ferreira;

- Execução 3: João Victor Barbosa Fernandes;
- Coleta de dados: Josias Blos;