Determinação dos Parâmetros do Circuito Equivalente, em Regime Permanente, de uma Máquina de Indução Trifásica a partir dos Ensaios, em Vazio e com o Rotor Bloqueado

Michele Paiva de Oliveira, 67633; Thaís Carvalho Salvador, 67658; Luan Peterle Carlette, 67637.

ELT 341 Máquinas Elétricas I

Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG

1) Introdução

Uma máquina de indução operando como motor e/ou como gerador tem uma variação da velocidade do rotor com a carga. Como conseqüência à freqüência do rotor é variável. Entretanto, as perdas rotacionais (perdas no ferro mais as perdas por atrito e ventilação), que são função da velocidade e da freqüência e as perdas no cobre do estator e do rotor, que são função da carga , não são constantes. Geralmente, quando a máquina esta em vazio as perdas por atrito e ventilação são altas e as perdas no ferro são baixas. Por outro lado, quando a máquina esta com carga nominal as perdas por atrito e ventilação são baixas, enquanto as perdas no ferro são altas. Desta formas as perdas rotacionais, para uma alimentação com tensão e freqüência constantes, podem ser consideradas constantes. Uma forma de determinar essas perdas, quando os dados de projeto não estão disponíveis, é através dos ensaios em vazio e com o rotor bloqueado.

Na pratica analisada será feito dois ensaios, onde o primeiro ensaio será com a máquina em vazio e o próximo ensaio será com rotor bloqueado.

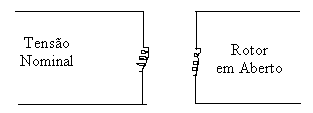
1. Ensaio a Vazio

Como no caso do ensaio em circuito aberto de um transformador, *o ensaio em vazio* é feito com tensões polifásicas equilibradas, aplicadas aos terminais do estator e freqüências nominais, sem carga acoplada no eixo. Depois de o motor funcionar por um tempo suficiente para que os mancais tenham se lubrificado apropriadamente, as leituras são executadas em tensão nominal. A partir deste ensaio obtêm-se as perdas no ferro e as perdas por atrito e ventilação e também os parâmetros do ramo magnetizante. Algumas vezes, este teste em vazio é feito com uma tensão variável, que leva a uma plotagem do gráfico da figura 01. O ponto *a* corresponde à operação na tensão nominal. Pontos experimentais abaixo de *b* não são considerados porque a velocidade do rotor diferencia muito da velocidade síncrona. A extrapolação da curva até o eixo das ordenadas dá uma aproximação razoável das perdas por atrito e por ventilação em velocidades nominais, são as perdas mecânicas.



Figura 01 – Gráfico para a determinação das perdas mecânicas

Por meio de equipamentos de medição são feitas medidas da tensão (Vo), corrente (I0) e potência ativa (Po) . Como o motor gira com uma velocidade próxima à síncrona, o escorregamento é muito baixo, aproximadamente igual a zero. Dessa forma o circuito do rotor fica em aberto e os parâmetros do circuito magnético podem ser determinados, ou seja, Xm e Rm, representativos do fluxo de magnetização e das perdas no ferro, respectivamente, figura 02.

Figura 02 – Teste em Vazio do Motor de Indução Trifásico

Quando o motor esta em vazio a potência de entrada representa três perdas: as perdas no cobre do estator, as perdas no ferro do estator, PFE, e as perdas mecânicas, PMEC. Em forma de equações temos:

Po = 3 Io2 RS + PFE  + PMEC. (01)

Onde:

Po = É a potencia ativa;

Io = É a corrente;

Rs = É a resistência do estator por fase.

A resistência do estator é determinada pela aplicação de uma tensão contínua em uma das fases do estator, onde a partir das medidas da tensão e da corrente obtém-se RS. As perdas rotacionais incluem as perdas por atrito e ventilação mais as perdas no ferro do estator devidas às pulsações do fluxo nos dentes do estator, quando o rotor gira. Quando não se tem conhecimentos dessas perdas é admitido que as mesmas assumam valores iguais, portanto, PFE = PMEC. Nestas condições a corrente que circula no resistor de perdas no núcleo pode ser então calculada como segue:

 (02)

Substituindo (01) em (02), após retirar PFE da equação 01 obtém-se:

 (03)

Para calcular a reatância de magnetização, deve-se primeiramente obter a componente reativa da corrente em vazio, Iϕ. O ângulo do fator de potência em vazio é dado por:

 (04)

Conseqüentemente, Iϕ = Io senθo, daí tem-se:

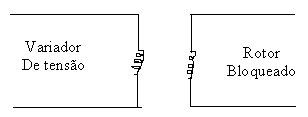
Xm = Vo / Iϕ (05)

OBS: RP pode também ser calculado de forma semelhante à Xm, simplesmente utilizando a componente ativa da corrente I0.

1. Ensaio com Rotor Bloqueado

Como no caso do ensaio em curto circuito de um transformador, o *ensaio de rotor bloqueado* de um motor de indução fornece informações sobre as impedâncias de dispersão. Com o eixo do motor bloqueado, aplica-se uma tensão reduzida em seus terminais, utilizando um variador de tensão, até que se atinja a corrente nominal. Com o rotor bloqueado (S=1), a resistência variável anula-se. O circuito do rotor passa a ter uma impedância significativamente menor. Como a tensão é baixa (em torno de 10% da nominal para a maioria dos motores) o ramo magnetizante, correspondente a reatância de magnetização e a resistência representativa das perdas no ferro, são desprezíveis. Não existem perdas rotacionais, pois, o rotor está bloqueado. Por meio de instrumentos de medidas são feitas medições da tensão (VRB), corrente (IRB), e potência ativa (VRB). A potência total na entrada do estator representa as perdas elétricas no cobre, a plena carga referente ao estator e ao rotor. Também a partir desse ensaio são determinados os parâmetros, por fase, do circuito equivalente da máquina, ou seja, resistência do estator, RS, reatância de dispersão do estator, XS, resistência do rotor, RR, reatância do rotor, XS referidos ao estator.

Para máquinas maiores, operando nas condições nominais o escorregamento é baixo, resultando num baixo valor para a freqüência do rotor. Isto causa uma variação bastante apreciável da resistência efetiva do rotor devido ao efeito pelicular, especialmente, para motores acima de 20 HP, de dupla gaiola e de barras profundas. Neste caso é recomendado que o ensaio com rotor bloqueado seja feito com freqüência reduzida, da ordem de 25% da freqüência nominal. A figura 03 mostra a configuração do ensaio.

Figura 03 – Ensaio a Rotor Bloqueado do motor de indução trifásico

Do ensaio obtém-se

Req = PRB/(3.IRB2) (06)

Zeq = VRB/(IRB) (07)

(08)

R´R = Req - RS (09)

Req representa a soma da resistência do estator (RS) e a resistência do rotor referida ao estator (R’r)

Xeq representa a soma da reatância de dispersão do estator (XS) e a reatância de dispersão do rotor referida ao estator (X’r). Normalmente considera XS = X’r.

OBS: Quando o rotor de um motor de indução esta bloqueado uma tensão, cerca de 10% a 25% da nominal é suficiente para a tingir a corrente nominal do motor. As perdas no núcleo da máquina são proporcionais ao produto do quadrado da tensão de alimentação pelo quadrado da densidade de fluxo. Nestas condições, a não ser o caso de máquinas que apresentam uma elevada reatância a rotor bloqueado, onde a tensão de alimentação pode chegar a 33% da tensão nominal, as perdas no núcleo podem ser consideradas desprezíveis. Portanto, a potência de entrada no estator representa a perdas no cobre associadas ao estator e ao rotor.

2) Objetivo

Pretende – se analisar o desempenho de uma máquina de indução trifásica a partir dos ensaios em vazio e com o rotor bloqueado de forma semelhante ao caso dos transformadores. A finalidade desses ensaios é analisar o desempenho de uma máquina de indução referente às perdas no cobre e no ferro e a partir daí determinar as várias características de operação, diante da determinação dos parâmetros elétricos do circuito equivalente.

# **3) Materiais e Métodos**

1. *Materiais*

* Uma máquina de indução trifásica;
* Dois multímetros;
* Um varivolt;
* Dois wattímetros.

1. *Métodos*

Foi feita a ligação em delta do motor de indução trifásico e, ligado a eles, foram colocados dois multímetros (um operando como amperímetro e outro como voltímetro) e dois wattímetros.

Em cada wattímetro, foi feita sua leitura e, no final, somou-se os valores obtidos em cada um multiplicados por 20, já que a escala do wattímetro era 20.

4) Resultados obtidos

A partir da metodologia proposta e dos dados inscritos na placa do motor de indução trifásico (Tabela 1), realizou-se o experimento.

Tabela 1 – Dados da Placa do Motor de Indução Trifásico

|  |  |
| --- | --- |
| Tensão nominal | 220 V |
| Potência nominal | 2,24 KW |
| Fator de potência | 0,8 |
| Frequência | 60 Hz |
| Velocidade angular | 1690 rpm |
| Número de polos | 4 |

Primeiramente, realizou-se o ensaio a Vazio, no qual foram obtidos os seguintes valores:

Vo = 220 V;

Io = 4,0 A;

Po = 470 W e 170 W.

Em seguida, realizou-se o ensaio a Rotor Bloqueado, no qual foram otidos os valores a seguir:

IRB = 9,0 A;

PRB = 70 W e 480 W;

VRB = 71 V.

Com tais valores ensaiados, foi possível calcular os parâmetros do circuito equivalente da máquina.

Sabe-se que:

= 70 + 480 = 550 W

= 470 – 170 = 300W.

Aplicando tensão contínua variável em uma das fontes do estator, até que a corrente nominal circule a bobina, tem-se:

Admitindo-se que as perdas no ferro e as perdas mecânicas são iguais, tem-se:

Logo,

Portanto,

Além disso, do ensaio de rotor bloqueado, tem-se:

Portanto, q potência de entrada é dada por:

E o escorregamento é:

s =

As perdas no entreferro são:

As perdas no cobre do rotor são:

A potência desenvolvida é:

As perdas rotacionais são:

A potência de saída é:

0.236 = 7.21 KW

O rendimento é:

E o conjugado desenvolvido é:

5) Conclusão

A partir do experimento realizado, pôde-se concluir que quando o motor possui uma de suas fases desconectada, ainda é possível realizar sua partida, desde que o motor esteja sem carga, ou com uma carga pequena. No entanto, se mais de uma fase não estiver conectada, não é possível realizar a partida. Notou-se também que para inverter o sentido de rotação de um motor, basta que duas de suas fases sejam trocadas de posição.

Além disso, foi possível perceber que o rotor bobinado exige muitos cuidados de manutenção em seu sistema de partida, enquanto o rotor gaiola de esquilo é bastante simples e robusto. Devido a isso, o primeiro tipo de rotor citado é muito menos utilizado do que o segundo, que oferece melhor custo-benefício.

Referências bibliográficas

[1] KOSOV, I. L. – MÁQUINAS ELÉTRICAS E TRANSFORMADORES. 4ª edição. Editora Globo, Rio de Janeiro / RJ. 1982.

[2] SEM, P.C. – PRINCIPLES OF ELECTRIC MACHINES AND POWER SYSTEMS. 2ª edição. Editora John Wiley and Sons, Kingston / Ontário, Canadá 1997.

[3]A.E.Fitzgerald, Charles kingsley, Jr – Máquinas Elétricas. 6ª edição. Editora Bookman.