**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**

João Francisco Ferreira Lucindo, 71324; Hugo Henrique Rodrigues de Oliveira, 71327

ELT 341 - Máquinas Elétricas I

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

1. **INTRODUÇÃO**

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

1. **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 a performance 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.

1. **Ensaios**

**Ensaio a vazio:**

O ensaio em vazio é feito alimentando o motor na tensão e freqüência nominais, sem carga acoplada no eixo. A partir deste ensaio obtém-se as perdas no ferro e as perdas por atrito e ventilação (perdas mecânicas) e também os parâmetros do ramo de 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.



Figura 01 – Gráfico para 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.

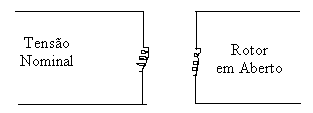


Figura 02 -Teste em Vazio do Motor de Indução Trifásico

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,

Rs é a resistência do estator, por fase

A resistência do estator é determinada pela aplicação de uma tensão contínua variável em uma das fases do estator até circular a corrente nominal da bobina, 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 assumem 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:



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:



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

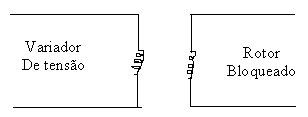
Xm = Vo / Iϕ

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

**Ensaio com Rotor Bloqueado**

Com o eixo do motor bloqueado (sem movimento), aplica-se uma tensão variável nos terminais do estator até circular a corrente nominal do motor. Com o rotor bloqueado (S = 1), a resistência variável (R’R) fica muito pequena 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, R’R, reatância do rotor, X’RB, referidos ao estator.

Para máquinas maiores, operando nas condições nominais o escorregamento é baixo, resultando num baixo valor para a frequência 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 frequência reduzida, da ordem de 25% da frequência nominal. A figura 03 mostra a configuração do ensaio.

Figura 04 - Ensaio a Rotor Bloqueado do Motor de Indução Trifásico

Do ensaio obtém-se

Req = PRB/(3.IRB2)

Zeq = VRB/(IRB)



R´R = Req - RS

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 está bloqueado uma tensão, cerca de 10% a 25% da nominal é suficiente para atingir 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.

1. **Material Utilizado**

* Duas máquinas de indução trifásicas;
* Dois varivolts 220 V, 20 A;
* Três watímetros monofásicos;
* Dois tacômetros
* 4 multímetros;
* Fios de ligação;

1. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Fez-se todos esses ensaios e os resultados obtidos podem ser organizados na Tabela 1.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ensaios | Potencia(W) | Tensão(V) | Corrente(A) |
| Vazio | 280 | 220 | 3.9 |
| Rotor bloqueado | 203 | 71 | 9 |
| Teste CC | - | 12.3 | 9.09 |

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:

1. **CONCLUSÃO**

Através dos ensaios realizados na prática foi possível aprender a determinar os parâmetros do circuito equivalente de um MIT através de ensaios muito simples.

A grande vantagem da determinação desses parâmetros é a possibilidade da modelagem do mesmo, podendo-se assim fazer diversas simulações e aplicações no controle.

.

1. **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

|  |  |
| --- | --- |
| [1] FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY, C. J.; UMANS, S. D. Máquinas Elétricas. 6ª. ed. [S.l.]: [s.n.], v. I. |  |