

Cálculo de parâmetros do circuito equivalente para um motor de indução trifásico a partir dos ensaios em vazio e de rotor travado

Pedro Henrique C. Costa

2021.2

Conteúdo

1	Introdução	2
2	Ensaio com rotor travado	2
2.1	Dados experimentais	2
2.2	Circuito equivalente	3
2.3	Determinação dos parâmetros do circuito	3
3	Ensaio a vazio	4
3.1	Dados experimentais	5
3.2	Circuito equivalente	5
3.3	Perdas rotacionais	6
3.4	Determinação dos parâmetros do circuito	6

1 Introdução

Para o estudo de motores de indução em um ambiente real, não possuímos fácil acesso aos seus parâmetros internos - dispomos somente de seus terminais e valores de placa. Assim, o estudo dessa máquina é realizado através de uma modelagem suficientemente equivalente, um circuito monofásico parametrizado em função dos valores reais. Esse modelo é apresentado na figura 1.

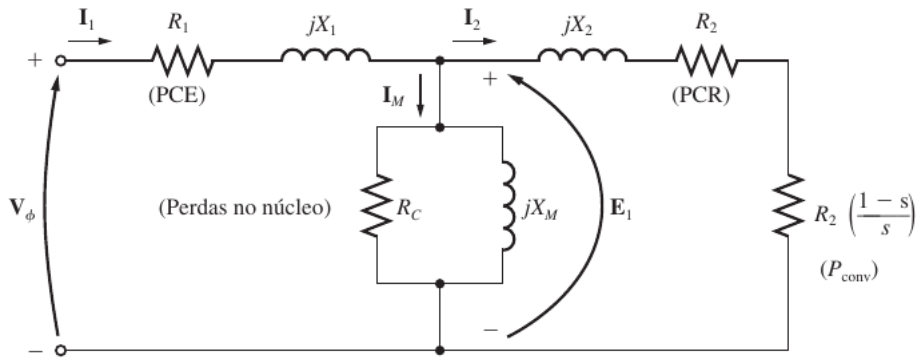


Figura 1: Circuito equivalente monofásico para motores de indução

Os parâmetros apresentados na figura podem ser determinados através de dois ensaios complementares, o **ensaio com rotor travado/bloqueado** e o **ensaio em vazio**, que serão apresentados ao longo deste trabalho. Os procedimentos foram realizados sob a orientação de [1].

2 Ensaio com rotor travado

Neste ensaio, impedimos o giro do motor, de forma que ele apresente escorregamento unitário. Em seguida, posicionamos o reostato na posição final para que as resistências não influenciem nos valores medidos, e, por fim, aplicamos à máquina corrente nominal, variando a tensão de alimentação pelo *varivolt* até obter o valor desejado.

2.1 Dados experimentais

Uma vez realizados os procedimentos descritos acima, dispomos das seguintes medidas:

- Corrente de Linha (A)

- Tensão de Linha (V)
- Potência trifásica (W)

Precisamos converter alguns desses valores para nosso equivalente monofásico antes de calcular as grandezas do circuito equivalente:

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}}$$

$$I_f = I_l$$

$$P_{1\phi} = \frac{P_{3\phi}}{3}$$

2.2 Circuito equivalente

O nível de tensão para o ensaio de rotor travado possui magnitude inferior à tensão nominal. Nesta magnitude reduzida de alimentação o fluxo magnético apresenta um valor baixo, e podemos desprezar as perdas magnéticas. Assim, temos que nosso circuito equivalente é o apresentado na figura 2.

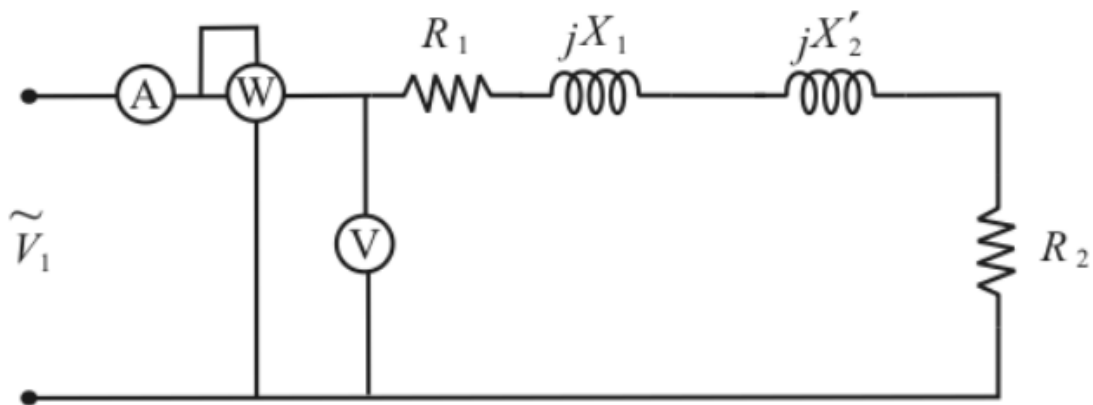


Figura 2: Circuito equivalente para ensaio com rotor bloqueado

2.3 Determinação dos parâmetros do circuito

A partir das medidas, podemos determinar a impedância equivalente do sistema:

$$R_{eq} = \frac{P_{1\phi}}{I_f^2}(\Omega)$$

$$X_{eq} = \sqrt{\frac{V_f}{I_f} - R_{eq}(\Omega)}$$

Um outro meio de determinar esses valores, de acordo com [2], seria a determinação do fator de potência ($FP = \frac{P_{medido}}{V_f I_f}$), do módulo da impedância ($|Z_{eq}| = \frac{V_f}{I_f}$) e do seu ângulo ($\theta = \arccos(FP)$).

Para calcularmos as parcelas da impedância equivalente referentes às impedâncias do rotor e do estator usamos os valores típicos apresentados na figura 3.

	X_1 e X_2 em função de X_{RB}	
Tipo de rotor	X_1	X_2
Rotor bobinado	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$
Classe A	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$
Classe B	$0,4 X_{RB}$	$0,6 X_{RB}$
Classe C	$0,3 X_{RB}$	$0,7 X_{RB}$
Classe D	$0,5 X_{RB}$	$0,5 X_{RB}$

Figura 3: Repartição típica das reatâncias

O código considera um rotor do tipo bobinado, portanto:

$$R_1 = R_2$$

$$X_1 = X_2$$

3 Ensaio a vazio

Para o ensaio em vazio, alimentamos o circuito com tensão nominal e permitimos ao rotor girar livremente. Neste experimento, utilizamos o reostato na posição "início de partida" durante o início da partida para evitar correntes de grande magnitude no estator durante o período transitório, e o "curto-circuitamos" ao atingir a velocidade desejada para o rotor

3.1 Dados experimentais

Temos:

- Corrente de Linha (A)
- Tensão de Linha (V)
- Potência trifásica (W)
- Velocidade do rotor (rpm)

Convertendo esses valores para o equivalente monofásico::

$$V_f = \frac{V_l}{\sqrt{3}}$$
$$I_f = I_l$$
$$P_{1\phi} = \frac{P_{3\phi}}{3}$$

3.2 Circuito equivalente

Nas condições do ensaio, podemos considerar que a parcela mais substancial da corrente se dá através do estator e do ramo magnetizante do circuito, enquanto no ramo equivalente ao estator constatamos somente as perdas rotacionais. Isto é, devido à altíssima resistência da parcela $R_2 \frac{1-s}{s}$, a corrente que percorre o ramo referente ao estator será baixíssima. Com essas considerações, o circuito equivalente para a situação é apresentado na figura 4.

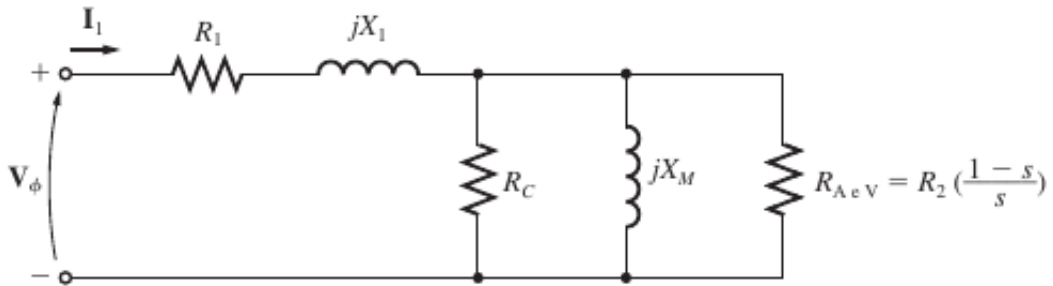


Figura 4: Circuito equivalente para o ensaio em vazio

3.3 Perdas rotacionais

Para calcular as perdas rotacionais diminuimos gradativamente a tensão de alimentação. A partir da extrapolação da curva construída de Pot x $Tensão$, determinamos as perdas rotacionais do motor, P_{rot} .

Utilizamos os valores do laboratório I da disciplina de conv. B no exemplo a seguir para realizar a extrapolação. Podemos ver em 5 o resultado dessa extrapolação e em 1 o valor obtido para as perdas rotacionais.

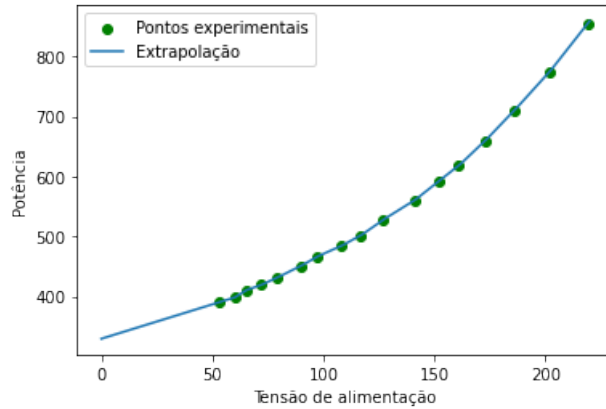


Figura 5: Curva de Tensão(V) x Potência(W)

$$Prot_{3\phi} = 329.43W \quad (1)$$

3.4 Determinação dos parâmetros do circuito

Agora podemos determinar os parâmetros restantes. Tendo os valores para as perdas no cobre do estator, a partir do ensaio com rotor bloqueado, bem como as perdas rotacionais e potência de entrada do sistema, podemos determinar as perdas no ferro:

$$P_{ferro} = P_{1\phi} - R_1 I_f^2 - \frac{P_{rot}}{3}$$

Em seguida, determinamos a tensão sobre o ramo magnetizante (V_m), bem como as correntes para a resistência das perdas no núcleo (I_c) a para o ramo magnetizante (I_m):

$$\begin{aligned}\theta &= -\arccos(FP) = -\arccos\left(\frac{P_{1\phi}}{V_f I_f}\right) \\ V_m &= V_f - (R_1 + jX_1)I_f \angle \theta \\ |I_c| &= \frac{P_{ferro}}{V_f}\end{aligned}$$

visto que I_c percorre somente componentes ativos, seu ângulo é o mesmo de V_m :

$$\begin{aligned}I_c &= \frac{P_{ferro}}{V_f} \angle V_m \\ I_m &= I_f \angle \theta - I_c\end{aligned}$$

Conhecendo as correntes e tensões nos ramos, podemos calcular os parâmetros desejados do circuito:

$$\begin{aligned}R_c &= \frac{V_m}{I_c} \\ X_m &= \frac{V_m}{I_m}\end{aligned}$$

Referências

- [1] N. J. Batistela e N. Sadowski. *Roteiro de experiência I*. URL: <https://moodle.ufsc.br/mod/resource/view.php?id=3463403>.
- [2] Stephen J. Chapman. *Fundamentos de Máquinas Elétricas*. AMGH Editora, 2013. ISBN: 978-85-8055-207-2.