

PEA 2504 – LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉTRICAS

1º. Semestre 2004

Profs. Silvio I. Nabeta e Viviane Cristine Silva

MÁQUINA DE CORRENTE CONTÍNUA Experiência 3: Parte I – Característica Externa

I - Objetivos

- Observação da operação da máquina de corrente contínua no modo de operação motor.
- Levantamento da característica externa (torque vs. rotação e torque versus corrente) do motor de corrente contínua nas ligações independente, série e composta.
- Determinação de regulação de velocidade e rendimento.

II - Relação dos equipamentos

- Máquina de corrente contínua de 2 kW
- Máquina síncrona de 2 kVA, 230 V
- Fonte DC de armadura para máquina CC
- Fonte DC de campo para máquina CC
- Fonte DC de campo para máquina síncrona
- Banco de resistores (ligação Y)
- 3 amperímetros
- 2 voltímetros
- 1 tacômetro
- 1 balança eletrônica

III - Introdução teórica

1. Efeito de Reação de armadura

A reação do induzido manifesta-se com uma distorção do campo magnético resultante da máquina e um enfraquecimento do mesmo (Fig. 1). Ambos os efeitos traduzem-se numa acentuada diminuição da diferença de potencial existente entre escovas. Sendo assim, esse efeito depende diretamente da corrente de armadura e de forma não-linear, devido à saturação magnética (Fig. 2).

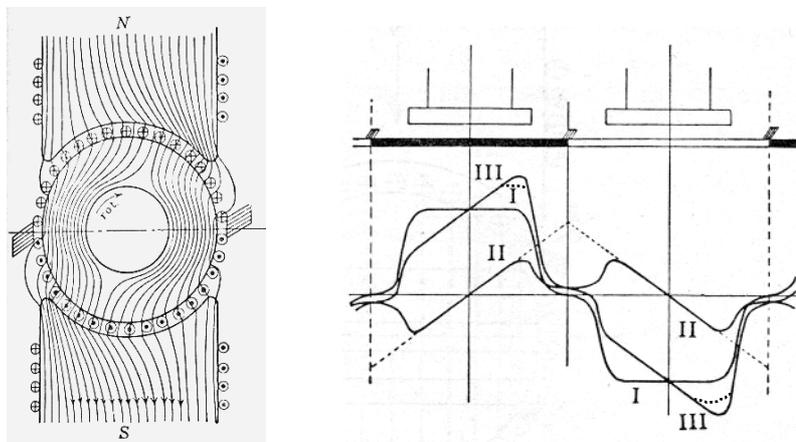


Fig. 1 – Linhas do campo resultante na máquina de corrente de contínua; distribuição de f.m.m. no entreferro: I – Campo, II – Reação de Armadura, III – Resultante.

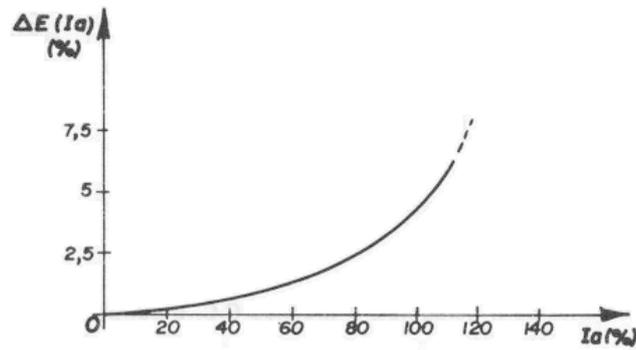


Fig. 2 - Variação típica do efeito desmagnetizante com a corrente de armadura.

2. Tipos de ligação

A seguir serão apresentados os diversos modos de excitação dos motores de corrente contínua, bem como seu equacionamento.

Força contra-eletromotriz

$$E = K\phi n$$

K – constante geométrica da máquina cc

ϕ – fluxo por polo

n – rotação do motor em RPM

Para que o motor possa absorver a corrente I , necessária a seu funcionamento, deve ser alimentado pela tensão:

$$V = E + RI,$$

sendo

I – corrente de armadura

R – resistência interna do motor, compreendendo a resistência do induzido (armadura), do contato comutador-escovas e do circuito dos pólos auxiliares (interpolos).

Torque eletromagnético

$$T = K_T \phi I$$

$K_T = K/2\pi$ – constante de torque

A proporcionalidade do torque com o fluxo e a corrente de armadura apresentada acima é apenas aparente, devido ao efeito de reação da armadura. Mantendo constante a corrente de excitação, o torque não aumenta proporcionalmente com o aumento da corrente. Na realidade, o aumento de corrente provoca aumento da reação do induzido e esta enfraquece o fluxo magnético, alterando a proporcionalidade.

2.1 Excitação independente

Nesse modo de ligação os enrolamentos de armadura e campo são alimentados por fontes de tensão independentes. A característica $T \times n$ para esse motor é a seguinte:

$$n = K_1 - K_2 T$$

$$K_1 = V/K\phi$$

$$K_2 = R/(KK_T\phi^2)$$

Pela característica externa acima, cujo gráfico é dado na Fig. 3, percebe-se que grandes variações de torque são acompanhadas por pequenas variações de velocidade.

2.2 Excitação Série

Nesse modo, a corrente absorvida pela armadura é a mesma que produz o fluxo indutor. Sua característica externa é dada por:

$$T = K_1 V^2 / (n + K_2)^2 \Rightarrow n = (K_3 / \sqrt{T}) - K_2$$

$$K_1 = K_T / K^2 K_s$$

$$K_2 = R / KK_s$$

$$K_3 = V \sqrt{K_1}$$

$$K_s : \phi = K_s I$$

O traçado dessa curva, dado na Fig. 3, evidencia como varia a velocidade da máquina em função do torque. Vê-se que para velocidades baixas o torque é muito elevado, fazendo com que esse motor apresente alto torque de partida. Além disso este motor adapta automaticamente sua velocidade às variações de carga de maneira inversamente proporcional. No entanto, não pode operar em vazio (vide questões para relatório).

2.3 Excitação Composta Aditiva

Possui parcialmente as características do motor excitado em série e parcialmente as características do motor com excitação independente.

O fluxo produzido pelo enrolamento independente é concordante com aquele produzido pelo enrolamento série. O fluxo produzido pelo enrolamento independente é constante, enquanto que o produzido pelo enrolamento série é variável e depende da corrente de armadura, portanto da condição de carga.

É aplicado onde se necessita alto torque de partida, diminuição da velocidade com aumento de carga sem que esta possa alcançar valores perigosos no funcionamento em vazio.

Na partida o torque é elevado, pois prevalece a contribuição do enrolamento série para reforçar o fluxo. Em vazio é quase nula a participação daquele enrolamento na produção de fluxo e o motor se comporta como um motor com excitação independente.

Sob um aumento de carga esse motor produz considerável aumento de fluxo e redução da velocidade, redução esta mais acentuada que no motor independente.

3. Característica externa

A Fig. 3 mostra num mesmo gráfico a característica externa das diversas modalidades de excitação do motor de corrente contínua.

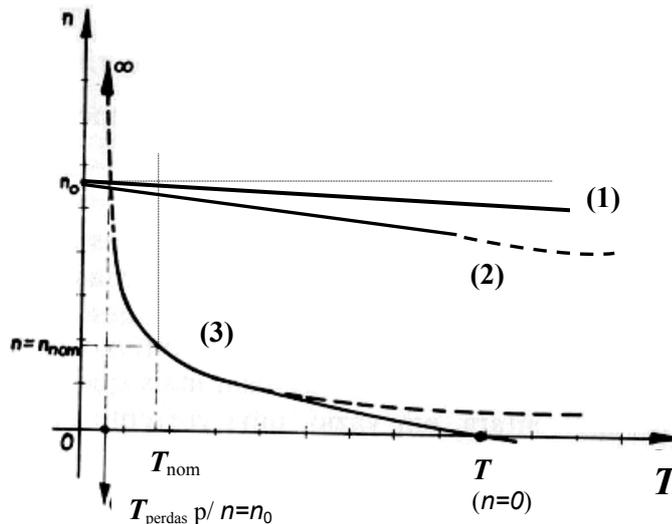


Fig. 3 – Característica externa dos motores CC: (1) excitação independente; (2) composta aditiva; (3) série. Valores indicados de torque e rotação referentes ao motor série.

V – Bibliografia

- [1] C. Goldemberg, Lab. Conv. Eletromecânica de Energia (Apostila do curso), PEA-EPUSP.
- [2] A. G. Falcone, Conversão Eletromecânica de Energia, Edgar Blücher LTDA.
- [3] V. Del Toro, Fundamentos de Máquinas Elétricas, Prentice Hall, 1994.

VI – Preparatório da experiência (deve constar no relatório)

1. Anotar os dados de placa do motor CC e calcular o torque nominal em N.m.
2. Forneça os circuitos equivalentes do motor CC com excitação independente, série e composta aditiva. Indicar todos os parâmetros, tensões e correntes.
3. Forneça o esquema de ligações para a determinação da constante de torque do motor de corrente contínua. Descreva o procedimento.
4. Baseado no equacionamento procure justificar porque o motor com excitação independente apresenta velocidade praticamente constante com variação a carga aplicada. Como a reação de armadura afeta esse comportamento?
5. Explique, justificando, porque o motor série não pode operar em vazio. Quanto vale o torque nessas condições? Qual o papel da reação de armadura?
6. Forneça os esquemas de ligações para a realização do ensaio para levantamento da característica externa do motor CC nos três tipos de excitação solicitados, considerando que a “carga” mecânica do motor CC será uma máquina síncrona funcionando como gerador que alimentará um banco de resistores.
7. Descrever o procedimento, justificando.
8. Indicar claramente quais os cuidados a serem tomados antes de se ligar o motor CC em cada um dos modos de excitação, justificando.
9. No caso do motor com excitação composta, após iniciar o ensaio, como se pode concluir que é aditivo ou subtrativo?

VII – Parte Experimental

1. Todos os ensaios deverão ser realizados para dois valores de tensão de armadura: V_{nom} e $V_{nom}/2$, com exceção do ensaio para a determinação da constante de torque. Em todos os casos, não exceder a corrente de armadura em 125% da nominal.
2. Calcular a regulação de velocidade nas ligações independente e composta. Comentar as diferenças, justificando.
3. A partir do ensaio para determinação da constante de torque, apresentar o gráfico de Torque (N.m) vs. Corrente de Armadura (A), determinando o coeficiente angular da reta. Ao se extrapolar a curva $T \times I_a$, qual o conjugado obtido? Justifique.
3. Apresentar as curvas Torque (N.m) vs. Rotação (rpm), curvas Torque (N.m) vs. Corrente de Armadura (A) e Rendimento (%) vs. Corrente de Armadura (A) para todos os modos de excitação. Indicar nessas curvas o ponto nominal (teórico) de operação. Nas curvas $T \times I_a$, apresentar no mesmo gráfico as curvas teóricas, obtidas a partir da constante de conjugado.
4. Comentar as curvas obtidas, justificando em caso de não corresponderem ao esperado.