

LABORATÓRIOS INTEGRADOS II

Trabalhos de
MÁQUINAS ELÉCTRICAS

98 / 99

INTRODUÇÃO

Estes trabalhos consistem na utilização, ensaio ou montagem de algumas das máquinas eléctricas de uso mais frequente, nomeadamente: motor de indução, alternador e máquinas DC.

Serão realizados quatro trabalhos diferentes, por todos os grupos, de uma forma rotativa (e durante os outros trabalhos da cadeira de Laboratórios Integrados II). Cada um dos trabalhos terá a duração de 3 horas. Deverá ser entregue um relatório (sucinto) dos quatro trabalhos efectuados, num prazo máximo de uma semana após a conclusão do último trabalho.

CUIDADOS A TER COM A APARELHAGEM

- Verificar e respeitar sempre os regimes nominais das máquinas na chapa de características.
- Colocar sempre os autotransformadores no mínimo antes de iniciar um ensaio e voltar a colocá-los nesta posição no fim do ensaio. Respeitar as correntes máximas dos autotransformadores.
- Utilizar toda a aparelhagem de medida necessária para verificar os dois pontos anteriores.
- Fazer o arranque das máquinas de forma suave e respeitando as correntes máximas.
- Evitar que as bananas de ligação provoquem curto-circuitos acidentais, ou maus contactos.
- As máquinas trifásicas serão sempre ligadas em estrela.
- Ter cuidado no manuseamento de toda a aparelhagem em geral.

AVALIAÇÃO DOS TRABALHOS

A avaliação dos trabalhos de máquinas eléctricas será feita com base nos relatórios, mediante questões postas nas aulas durante o decorrer dos trabalhos, pelo modo de agir dos alunos na realização dos testes às máquinas, pela preparação prévia dos trabalhos, e por um questionário.

No início de cada trabalho, cada grupo deve entregar uma folha ao docente com a preparação do respectivo trabalho.

A avaliação será severamente punida caso não se verifique quer a preparação dos trabalhos bem como as bases teóricas necessárias à execução dos mesmos. Se se verificar a não preparação de 2 dos 4 trabalhos, o grupo não poderá executar os trabalhos seguintes, ficando com a avaliação deste módulo igual a zero valores.

O **relatório** deve:

- Ter uma introdução teórica apenas do necessário para a realização do trabalho.
- Conter a análise de todos os resultados (medidos e calculados).
- Conter todas as conclusões (parte mais importante) que se podem tirar através dos valores medidos e dos valores calculados. Estes valores podem ser apresentados em forma de tabela e ou gráficos.
- Conter, de forma clara, a identificação de cada grupo e aluno.
- Ser sucinto e claro.
- Ser manuscrito ou impresso.
- Ter as folhas numeradas e agrafadas.

O **Questionário** será realizado após todos os grupos terem efectuado os trabalhos.

BIBLIOGRAFIA

ELECTRIC MACHINERY FUNDAMENTALS

Stephen J. Chapman

FEEDBACK, LABORATÓRIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

EMT180

FEEDBACK, INDUSTRIAL MACHINES SYSTEM

ETL174 SERIES

Operators Manual

Aulas de **Máquinas Eléctricas e Actuadores**.

Docente Responsável: Graça Minas

TIPOS COMUNS DE MOTOR D.C.

Excitação shunt:

Tem uma gama da velocidade continuamente variável e é reversível. São aplicáveis métodos de controlo de velocidade simples. A velocidade diminui ligeiramente conforme aumenta o binário.

Aplicações:

Máquinas-ferramentas, bombas-pistão, compressores, máquinas de bobinar, máquinas misturadoras, distribuidores, etc.

Excitação separada:

Características semelhantes às da máquina shunt. É necessário uma alimentação de campo separada com controlos associados. Raramente é usada excepto em grandes máquinas DC.

Aplicações:

Conjuntos WARD/LEONARD. Sistemas actuadores especiais.

Excitação série:

Gama de velocidade continuamente variável em qualquer sentido. Controlos simples onde só é necessário uma regulação grosseira da velocidade. Alta velocidade em vazio descendo rapidamente quando o binário aumenta. Tem poder de aceleração mas deve estar sempre em carga para evitar o seu embalamamento e destruição.

Aplicações:

Guindastes, máquinas de tracção. É necessário um freio mecânico no caso da tensão subir demasiado.

Excitação Compound:

As bobinas em série podem auxiliar (cumulativa) ou contrariar (diferencial) a bobina shunt. Com ligação diferencial, a velocidade pode ser virtualmente constante desde zero até à carga total, mas em sobrecarga o campo série pode predominar provocando a inversão do motor. A ligação cumulativa fornece características semelhantes às do motor série, mas permite que a velocidade em vazio seja limitada a um valor seguro.

Íman permanente:

Limitado a motores fhp (de fracção de hp) e miniaturas. As suas características são semelhantes às do tipo shunt mas a sua velocidade desce mais rapidamente com o aumento do binário.

Aplicações:

Sistemas servo, motores de disco e cargas onde é necessária uma aceleração elevada, visto que o campo está muitas vezes associado com induzidos especiais por exemplo, nos motores de impressão, etc.

TIPOS COMUNS DE MOTORES AC**Monofásico Universal:**

Semelhante ao motor DC série com características de velocidade/binário de queda rápida. Adequado apenas para baixas potências devido a dificuldades de comutação em correntes elevadas.

Aplicações:

Utensílios domésticos - aspiradores eléctricos, pequenos berbequins, etc..

Indução monofásico em gaiola de esquilo:

É efectivamente uma máquina de uma só velocidade embora em casos especiais métodos de inversão de pólos dêem duas ou mais velocidades de funcionamento. A velocidade pode baixar até 5% inferior à velocidade síncrona, antes de aparecer o binário máximo. Arranque e marcha por condensador ou resistência, não tendo binário de arranque por si só. São reversíveis. As versões de binário compensado têm um baixo binário de arranque e não são reversíveis

Aplicações:

Compressores de frigoríficos, máquinas de lavar, máquinas ferramenta, bombas de água, ventoinhas, etc..

Síncrono monofásico:

Disponível em tamanhos fhp e miniatura. Velocidade constante independente da carga até que seja alcançado o binário máximo. Não é portanto indicado para arranque automático mas pode sê-lo por impulso, indução ou sistema de arranque por histerese. Normalmente são concebidos para funcionarem a baixa velocidade com ou sem engrenagem.

Aplicações:

Sistemas de baixo binário, relógios, gira-discos.

Trifásico com rotor em gaiola de esquilo

É efectivamente de uma só velocidade mas pode ser concebido para dar várias velocidades por inversão dos pólos. Velocidade de aproximadamente 5% abaixo do valor síncrono numa gama de carga até ser atingido o binário máximo. Binário de arranque normalmente bom. É um motor reversível.

Aplicações:

Máquinas ferramentas, máquinas de trabalhar madeira, misturadoras, máquinas transportadoras, compressores.

Trifásico com rotor bobinado:

Difere do rotor em gaiola de esquilo uma vez que a corrente do rotor pode variar, permitindo o aumento do binário de arranque para cerca do dobro da binário de carga total. Podemos adicionar dispositivos para controlo da velocidade mesmo quando o motor está em carga.

Aplicações:

Semelhantes às do motor em gaiola de esquilo, incluindo guindastes e máquinas com uma inércia considerável.

Síncrono trifásico:

Não permite o arranque a não ser por métodos especiais. Velocidade constante até ao nível do binário máximo no qual o motor possui alta eficiência mas necessita de uma alimentação de excitação DC.

Aplicações:

Grandes compressores, bombas centrífugas, misturadoras, máquinas pesadas, esmeriladoras, ventoinhas e ventiladores. Pode ser usado para correcção de factores de potência quando estiver sem grandes cargas.

TRABALHO 1**MOTOR DE INDUÇÃO TRIFÁSICO
e
GERADOR DC DE EXCITAÇÃO SEPARADA**

Neste trabalho pretende-se que sejam analisadas duas máquinas distintas: o motor de indução trifásico e o gerador DC de excitação separada.

MOTOR DE INDUÇÃO

Características nominais do motor:

$$P = 1/4 \text{ H.P.}$$

$$U_{\text{fase}} = 120 \text{ V}$$

$$I = 1.75 \text{ A}$$

$$N = 2880 \text{ r.p.m.}$$

Objectivo: Determinar o circuito equivalente.

Procedimento:

- Ensaio em vazio (desmontar o acoplamento entre as duas máquinas) \Rightarrow $V_{\text{linha}} = 220\text{V}$. Medir a velocidade de rotação.
- Ensaio com rotor travado $\Rightarrow I_{\text{fase}} = I_{\text{nominal}}$.
- Medir a resistência dos enrolamentos do estator com um ohmímetro.

Nota: Alimentar o motor de indução através de um autotransformador trifásico. Não esquecer do Wattímetro em ambos os ensaios.

MOTOR DE INDUÇÃO accionando o GERADOR DC

Características nominais do gerador:

$$P = 1/4 \text{ H.P.}$$

$$I_{\text{campo}} = 450 \text{ mA}$$

$$U_{\text{campo}} = 120 \text{ V}$$

$$I_{\text{armadura}} = 3.3 \text{ A}$$

$$N = 3000 \text{ r.p.m.}$$

Objectivo: Verificar a eficiência do motor para várias condições de carga.

Procedimento:

Acoplar ao motor de indução o gerador DC *Shunt*, que deve ser ligado como um gerador de excitação separada, por forma a fornecer energia a duas resistências (variáveis) de fio de 100Ω cada, ligadas em paralelo. Relembre-se que o valor das resistências de potência é dado em percentagem da carga aplicada, pelo que, quando o cursor se encontra em 100% o valor de $R = 0\Omega$.

- Pretende-se estudar esta montagem para 4 condições de carga do gerador DC. Contudo estas condições devem ser obtidas através da variação da corrente de campo do gerador DC e não através da alteração do valor óhmico da resistência. Deste modo a tensão e potência geradas, assim como o binário solicitado ao motor de indução irão variar. (V_{linha} do Motor de Indução deve manter-se constante = 220V e a corrente de campo não deve ultrapassar 500mA).

Para cada uma das 4 condições de carga do gerador DC:

- Medir os seguintes valores:

- Potência consumida pelo motor e potência produzida pelo gerador.
- Correntes no motor e no gerador.
- Tensões no motor e no gerador.
- Velocidade de rotação.

Com o osciloscópio digital, observar e comentar a forma de onda da tensão produzida pelo gerador.

- Calcular:

- Factor de potência.
- Rendimento.
- Binário.

- Comparar os pontos de funcionamento com os mesmos pontos dados pelo esquema equivalente determinado.

É necessário consultar o ensaio da máquina DC (tabela seguinte) uma vez que se pretende calcular a potência útil fornecida pelo motor de indução. De preferência meça os valores pedidos para os mesmos valores de velocidade que estão nesta tabela.

Ensaio da Máquina DC:

Velocidade (r.p.m.)	I _{armadura} (A)	Rendimento (%)
2737	2	60
2837	1.5	60
2920	1	50
2966	0.5	22

GERADOR DC

Objectivo: Estudar o comportamento do gerador DC de excitação separada.

Ligar agora a máquina DC como um gerador de excitação separada. A sua corrente de excitação é fornecida por intermédio de um autotransformador monofásico, seguido de um rectificador e não deverá exceder 0.5 A.

Observar e justificar a forma de onda da tensão aos terminais da máquina.

Traçar as seguintes características:

- Característica interna $E_o = f(i_f)$, $I_a = 0$, $N = \text{constante}$.
- Característica de quedas $E_o - U = Q = f(I_a)$, $i_f = \text{constante}$, $N = \text{constante}$.
- Característica de regulação $I_a = f(i_f)$, $U = \text{constante}$, $N = \text{constante}$.

Notação: E_o força electromotriz em vazio.
 i_f corrente de excitação (estator).
 I_a corrente no induzido (rotor).
 U tensão aos terminais da máquina.
 N velocidade de rotação.

Nota: A velocidade de rotação vai variar, tenha o cuidado de não ultrapassar o valor nominal. Esta pode manter-se constante fazendo a regulação de velocidade do motor de indução por enfraquecimento de campo, para isso deve fazer-se com que a sua tensão composta seja de 220 V para a carga máxima, reduzindo-a para cargas mais baixas por forma a manter a velocidade do conjunto constante.

TRABALHO 2

MÁQUINA TRIFÁSICA SÍNCRONA e MOTOR SÉRIE UNIVERSAL

Neste trabalho pretende-se ensaiar a máquina síncrona a funcionar como gerador, accionada por um motor série universal. Uma vez que a velocidade desse motor é altamente dependente da carga que lhe está acoplada, deve ter-se o cuidado de não o deixar embalar por forma a não o levar à destruição. Seguidamente, pretende-se ligar o gerador em paralelo com a rede, e, por fim, colocar a máquina síncrona a funcionar como motor.

CUIDADOS ESPECIAIS

O motor série universal é alimentado em corrente alternada através de um autotransformador monofásico e a sua velocidade pode ser regulada variando a tensão aplicada. Esta máquina pode destruir-se se funcionar sem carga (a sua velocidade pode alcançar valores muito elevados), assim, para desligar o sistema deve desligar-se em primeiro lugar a alimentação do motor série.

Na colocação do alternador a funcionar em paralelo com a rede, o motor série universal funciona em regime de sobrecarga, daí que esta operação deve ser o mais rápida possível.

Para ligar a máquina síncrona deve ligar-se em primeiro lugar a corrente de excitação e depois a corrente no induzido, para desligar a máquina, desligar primeiro a corrente no induzido e só depois a corrente de excitação.

Quando a máquina síncrona funciona como motor, se se diminuir a corrente de excitação em demasia, a máquina pode entrar em instabilidade. Se isso acontecer, desligar a alimentação trifásica imediatamente.

Características nominais do motor série universal:

$$P = 1/4 \text{ H.P.}$$

$$U = 120 \text{ V}$$

$$N = 2000 \text{ r.p.m.}$$

FUNCIONAMENTO COMO GERADOR

Características nominais da máquina síncrona:

$$P = 1/3 \text{ H.P.}$$

$$U = 120 \text{ V}$$

$$I_{\text{induzido}} = 1.2 \text{ A}$$

$$N = 3000 \text{ r.p.m.}$$

Fazer as seguintes medições:

- Operação em vazio $E_o = f(i_f)$, $N = 3000$ rpm \Rightarrow Variar a corrente de excitação até ao máximo de 1.5A.
- Característica em curto-circuito $I = f(i_f)$, $N = 3000$ rpm \Rightarrow Para os mesmos valores da corrente de excitação.
- Calcular a reactância síncrona (desprezando a resistência).

Notação: E_o força electromotriz em vazio.
 i_f corrente de excitação (rotor).
 I corrente no induzido (estator).
 N velocidade de rotação.

Colocar o alternador a funcionar em paralelo com a rede, utilizando para isso o método das três lâmpadas para fazer a sincronização (deverá usar-se um autotransformador que desça a tensão composta da rede para cerca de 180 V, transformador este que na prática não existe, mas que aqui é necessário para adaptar as tensões da rede às do alternador.

Antes de colocar o alternador em paralelo com a rede, verifique quais as medições que necessita de fazer no funcionamento como motor, e coloque desde já os aparelhos de medida necessários para tal.

FUNCIONAMENTO COMO MOTOR

Depois de ter colocado a máquina síncrona a funcionar como alternador em paralelo com a rede, desligar a alimentação do motor série que acciona a máquina síncrona.

Medir a **tensão, corrente, potência consumida** pelo motor síncrono e **cos(ϕ)** para pelo menos 3 valores da corrente de excitação, ou seja, com f.p. capacitivo, unitário e indutivo.

Traçar as chamadas "curvas em V", ou seja, $I = f(i_f)$ (neste caso para o motor síncrono a funcionar em vazio). A corrente no induzido não deverá ultrapassar 1.2A.

Constatar para que valor de corrente de excitação o motor síncrono perde sincronismo. **Desligue a máquina através do disjuntor**, uma vez que, após a perda de sincronismo, não adianta aumentar a corrente de excitação. O motor deve ser desligado e todo o processo de arranque com motor auxiliar deve recomeçar.

TRABALHO 3

MOTOR DC de EXCITAÇÃO COMPOSTA

alimentado por um

CONVERSOR AC/DC TIRISTORIZADO

Neste trabalho será ensaiado o motor DC de excitação composta, ligado como *shunt* e como excitação composta acumulativo. Será ainda analisado o funcionamento do conversor AC/DC tiristorizado do tipo ponte rectificadora monofásica semi-controlada. O motor deverá funcionar com um freio electromagnético como carga.

O motor é alimentado com um conversor AC/DC tiristorizado e deve ter-se o cuidado de não ultrapassar os 3 A no arranque, pois o conversor pode ser danificado.

Nota: O arranque do motor deve ser sempre em vazio.

MOTOR DC LIGADO COMO SHUNT

Características nominais do motor DC de excitação composta:

$$P = 1/4 \text{ H.P}$$

$$U = 120 \text{ V}$$

$$I_{\text{campo}} = 500 \text{ mA}$$

$$I_{\text{armadura}} = 2.2 \text{ A}$$

$$N = 2000 \text{ r.p.m.}$$

Ligar a bobine paralela do motor de excitação composta em paralelo com a armadura, por forma à máquina funcionar como *shunt*. Traçar as seguintes características para várias condições de carga:

- **Velocidade em função da tensão $N = f(U)$.**

Coloque o motor a funcionar em vazio. Varie a tensão terminal e meça a **velocidade**, **corrente de entrada** e **potência** para $U = 60\text{V}, 80\text{V}, 100\text{V}, 120\text{V}$ (tensão nominal). Observe com o osciloscópio a forma de onda da tensão aplicada ao motor.

Realize as mesmas medições, para os mesmos valores de tensão, mas agora com o motor a funcionar com: 1/4 da carga nominal; 1/2 da carga nominal e 3/4 da carga nominal.

Registe a forma de onda da tensão aplicada ao motor, quando este é alimentado com a tensão nominal, nas várias condições de carga. Comente o observado.

Nota: Neste ensaio a corrente começa a subir bastante para valores muito baixos da tensão. Não exceder a corrente nominal. Verificar o sentido de rotação do motor antes de ligar o freio.

- **Velocidade em função da corrente de excitação** $N = f(i_f)$.

Coloque uma resistência (variável) de fio de 320Ω em série com o enrolamento de campo. **No arranque do motor o valor da resistência deve ser mínimo** (resistência em 100%). Fazendo a tensão terminal = 120 V = constante, varie a corrente de campo, através da variação da resistência de campo, e meça a **velocidade, corrente de entrada e potência** para a operação em vazio, 1/4 de carga e 1/2 de carga. Registe a forma de onda da tensão terminal.

Coloque agora a resistência a 100% (valor óhmico mínimo) e mantenha-a constante nesse valor.

Para um tensão constante = 120V, e variando a carga aplicada ao motor através do freio electromagnético (esta carga é medida em Nm), faça as medições necessárias para determinar as seguintes características:

- Velocidade em função da corrente no induzido $N = f(I)$.
- Potência em função da corrente no induzido $P = f(I)$.
- Rendimento em função da corrente no induzido $\eta = f(I)$.

Nota: Não ultrapassar a carga nominal permissível ao motor.

Notação:	U	tensão aos terminais da máquina.
	i_f	corrente de excitação (estator).
	I	corrente no induzido (rotor).
	N	velocidade de rotação.
	η	rendimento

MOTOR DC de EXCITAÇÃO COMPOSTA

Ligar agora a máquina DC a funcionar como um motor de excitação composta acumulativo. Com este funcionamento, determine as mesmas características do ensaio anterior, ou seja, $N = f(I)$, $P = f(I)$ e $\eta = f(I)$, para os mesmos valores da tensão de alimentação e da resistência de campo. Compare a eficiência deste tipo de motor com o DC *shunt*.

Ligue as bobinas por forma a implementar um motor de excitação composta diferencial. Varie o binário aplicado ao motor e comente se o observado está de acordo com o esperado.

Nota: No **relatório**, deve explicar como funciona um freio electromagnético. Explique também a técnica usada para medir o binário de carga. Para isso pode ser necessária a consulta dos apontamentos das aulas de Electrónica e Instrumentação.

TRABALHO 4

REALIZAÇÃO DE MONTAGENS usando um "KIT" DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Neste trabalho pretende-se realizar a montagem e colocar em funcionamento algumas máquinas eléctricas usando um "kit" didáctico existente. Para tal deve consultar-se o manual do mesmo, que é fornecido em anexo. Todas as montagens são realizadas em vazio.

Deverão ser montadas as seguintes máquinas:

- Motor de indução monofásico de quatro pólos com arranque por condensador. Arranque o motor com diferentes valores do condensador e comente o observado. Inverta o sentido de rotação do motor.
- Gerador síncrono monofásico, pólos concentrados.
- Motor série universal. Deve ser ligado em corrente contínua e alternada. Inverta o sentido de rotação do motor.
- Gerador DC de excitação separada.
- Motor DC shunt. Inverta o sentido de rotação do motor. *
- Motor DC compound acumulativo. Inverta o sentido de rotação do motor.

* - para esta montagem, usar no estator as bobines concentradas L4 em vez das L9.

Para accionar as máquinas que operam como geradores deve-se utilizar o motor já acoplado ao "kit".

Apresente os esquemas de ligações de cada montagem e sua justificação, além dos valores medidos (**tensões, correntes, potência e velocidade de rotação**) no funcionamento de cada máquina.

Nota importante:

O rotor bobinado usado nas máquinas DC nunca será desmontado, e não se aconselha a sua rotação a mais de 1500 rpm, por motivos de segurança.

A corrente em cada uma das bobines deste "kit" não deverá exceder 2 A. Recomenda-se cuidado ao ligar as máquinas, especialmente se houver bobines alimentadas em corrente contínua, pois estas têm resistência muito baixa e alguns Volts na alimentação já provocam correntes apreciáveis.