

# LABORATÓRIOS INTEGRADOS II

## TRABALHOS PRÁTICOS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

### Introdução

Estes trabalhos consistem na utilização, ensaio ou montagem de algumas das máquinas eléctricas de uso mais frequente, nomeadamente: motor de indução, máquina síncrona, máquinas de corrente contínua e motor universal. Os trabalhos são os seguintes:

- 1 - Motor de Indução Trifásico Tipo Gaiola de Esquilo e Máquina de Corrente Contínua.
- 2 - Máquina Síncrona Trifásica e Motor Série Universal.
- 3 - Motor de Corrente Contínua e Freio Electromagnético.
- 4 - “Kit” de Máquinas Eléctricas.
- 5 - Arranque Estrela-Triângulo com Inversão de Marcha de um Motor de Indução Trifásico.
- 6 - Motor de Indução Trifásico Tipo Rótor Bobinado e Máquina de Corrente Contínua.

Cada trabalho tem a duração de 1 aula (2 horas), com excepção dos trabalhos 5 e 6, que serão ambos feitos na mesma aula.

### Cuidados a ter com as Máquinas, Equipamentos e Aparelhagens

- Antes de começar as montagens leia e anote os dados de placa das máquinas e respeite sempre os regimes nominais das mesmas.
- Coloque sempre os autotransformadores variáveis (VARIACs) no mínimo antes de iniciar um ensaio e volte a colocá-los nessa posição no fim do ensaio. Respeite as correntes nominais dos autotransformadores (veja e anote os seus dados de placa).
- Utilize toda a aparelhagem de medida (voltímetros e amperímetros) necessária para verificar os dois pontos anteriores.
- Antes de iniciar um ensaio certifique-se de que toda a aparelhagem de medida necessária à realização das medições requeridas está sendo utilizada, e que as ligações estão correctas.
- Escolha aparelhos de medida adequados às medições a efectuar, tanto com relação ao tipo de instrumento\* quanto em relação às escalas.
- Faça o arranque das máquinas de forma suave (aumentando gradualmente as tensões aplicadas) e respeitando as correntes nominais.
- Evite que as bananas de ligação provoquem curtos-circuitos acidentais, ou maus contactos. Certifique-se de que as ligações estão correctas antes de ligar os circuitos. Alterações aos circuitos devem ser feitas sempre com os mesmos desligados.
- Quando nada for dito em contrário as máquinas trifásicas deverão ser ligadas em estrela.
- Em caso de alguma dúvida, esclareça-a antes de prosseguir o trabalho.

---

\* Instrumentos de bobina móvel são utilizados em circuitos de corrente contínua para a medição de valores médios. Instrumentos de ferro móvel são utilizados em circuitos de corrente alternada para a medição de valores eficazes (RMS). Os wattímetros são instrumentos electrodinâmicos, e servem para medir potência tanto em circuitos de corrente contínua quanto em circuitos de corrente alternada.

## Avaliação dos Trabalhos

A avaliação destes trabalhos será feita com base nos relatórios, mediante questões postas nas aulas durante o decorrer dos trabalhos, pela preparação prévia demonstrada pelos alunos e pelo seu modo de agir durante a realização dos trabalhos.

**No início das aulas cada grupo deverá apresentar ao docente o seu plano de execução do trabalho.** A avaliação será severamente punida caso não se verifique quer a preparação do trabalho, quer as bases teóricas necessárias à execução dos mesmos.

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 calculados. Estes valores devem ser apresentados na forma de tabelas e/ou gráficos.
- Conter, de forma clara, na página de rosto, a identificação da Turma, Grupo e Alunos.
- Ser sucinto e claro.
- Ter as folhas numeradas e agrafadas.

## Descrição dos Trabalhos

### 1. Motor de Indução Trifásico e Máquina de Corrente Contínua

Nesta montagem um motor de indução trifásico do tipo gaiola de esquilo acciona uma máquina de corrente contínua com excitação do tipo paralela (*shunt*), que opera como gerador. Ou seja, a máquina CC funciona como carga do motor de indução.

Pretende-se:

- Determinar o circuito equivalente do motor de indução com base no teste em vazio e em curto-circuito, e na medição da resistência dos enrolamentos desse motor.
- Verificar a eficiência do motor para várias condições de carga.
- Verificar a eficiência do conjunto motor-gerador.

#### Motor de Indução (Feedback ETL174J)

Características Nominais:

$$P = 1/4 \text{ HP}$$

$$V_{\text{fase}} = 120 \text{ V (Corrente Alternada)}$$

$$I_{\text{fase}} = 1,75 \text{ A (Corrente Alternada)}$$

$$n = 2880 \text{ rpm}$$

#### Máquina CC Shunt (Feedback ETL174B)

Características Nominais:

$$P = 1/4 \text{ HP}$$

$$V = 120 \text{ V (Corrente Contínua)}$$

$$I = 3,3 \text{ A (Corrente Contínua)}$$

$$n = 3000 \text{ rpm}$$

## Ensaios para Determinação do Circuito Equivalente

Alimente o motor de indução através de um autotransformador trifásico (existente na bancada). No ensaio em vazio alimente o motor com a tensão nominal (nenhuma carga deverá estar acoplada ao eixo do motor). No ensaio em curto-circuito, trave o rotor do motor com a mão, e aumente a tensão gradualmente até que a corrente atinja o valor nominal. Não esqueça de medir a potência (utilizando um wattímetro) em ambos os ensaios, e de medir a velocidade de rotação no ensaio em vazio.

Com o motor desligado meça a resistência dos enrolamentos do estator com um ohmímetro.

## Obtenção das Características de Carga do Motor

Neste teste pretende-se obter as curvas das características de carga do motor de indução, isto é: rendimento, factor de potência, binário e velocidade do motor de indução para várias condições de carga. Estas grandezas acabam por caracterizar o motor de indução.

Como carga do motor de indução será utilizado um gerador CC, que por sua vez alimenta duas resistências variáveis de  $100\ \Omega$  ligadas em paralelo.

**ATENÇÃO:** O valor dessas resistências é dado em percentagem da carga aplicada - quando o cursor se encontra em 100% o valor da resistência é nulo (esta é uma maneira incorrecta de graduar uma resistência variável – mas o fabricante assim o fez).

### Montagem:

Acople o motor de indução à máquina CC, que deve ser ligado como gerador de excitação independente. Ligar em paralelo duas resistências variáveis de  $100\ \Omega$  cada. O paralelo destas resistências deve, por sua vez, ser ligado à saída do gerador (Figura 1). A alimentação do enrolamento de campo (ou de excitação) do gerador CC (E1, E2) é fornecida por uma ponte rectificadora que se encontra no painel, a qual é alimentada por um autotransformador variável monofásico (VARIAC) localizado na bancada.

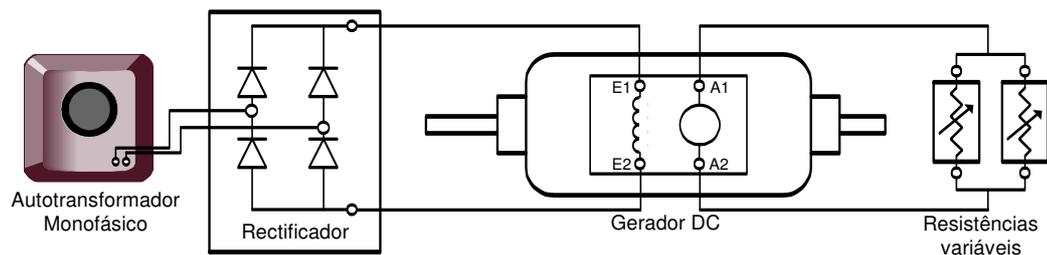


Figura 1 - Esquema de ligações do gerador CC com excitação independente.

O conjunto que acabam de montar (gerador + resistências) vai funcionar como carga do motor de indução. Contudo, o gerador CC não é ideal (tem perdas) o que leva a uma diminuição do rendimento total do conjunto (motor de indução + gerador CC). Assim, para determinar o rendimento do motor de indução é necessário conhecer o rendimento do gerador CC para as mesmas condições (ver Tabela 1), uma vez que apenas estão disponíveis para medição a potência consumida pelo motor de indução e a potência produzida pelo gerador CC, o que nos dá somente o rendimento global do conjunto (motor de

indução + gerador CC). Ao realizar o teste faça as medições que são pedidas para aproximadamente os mesmos valores de velocidade que estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de ensaio realizado na máquina CC Feedback ETL174B.

n (rpm.)	$I_{armadura}$ (A)	Rendimento (%)
2737	2,0	60
2837	1,5	60
2920	1,0	50
2966	0,5	22

### Realização do Ensaio:

O ensaio deve ser realizado para quatro condições de carga do motor de indução, em que o mesmo opera nas quatro velocidades mostradas na Tabela 1. Estas condições podem ser obtidas através do ajuste da corrente de excitação do gerador CC ou pela variação das resistências ligadas à saída do mesmo.

**ATENÇÃO:** A corrente de excitação do gerador CC não deve ultrapassar 0,5 A.

Para cada diferente carga, a tensão, a corrente e a potência geradas pela máquina CC, assim como o binário solicitado ao motor de indução, e as correntes e a potência que o motor de indução solicita à rede eléctrica irão variar.

**ATENÇÃO:** A tensão com que o motor de indução trifásico é alimentado deve ser mantida no seu valor nominal ( $V_{fase} = 120$  V) para todas as condições de carga. Para tal, a tensão do VARIAC trifásico, que alimenta o motor de indução, deve ser ajustada para cada diferente carga.

Para cada uma das quatro condições de carga deve medir os seguintes valores:

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

Com os valores medidos deve então calcular, desenhar e apresentar no relatório as seguintes tabelas e curvas do motor de indução (sempre em função da carga):

- Rendimento.
- Factor de potência.
- Binário.
- Velocidade.

## 2. Máquina Síncrona Trifásica

Nesta montagem um motor série universal, alimentado com corrente alternada, acciona uma máquina síncrona que opera como gerador. Depois a máquina síncrona é ligada à rede eléctrica, com o auxílio do motor universal, que é em seguida desligado. Dessa forma, a máquina síncrona passa a operar como um motor ligado à rede eléctrica.

Pretende-se:

- Ensaiai a máquina síncrona a funcionar como gerador.
- Ligar a máquina síncrona em paralelo com a rede.
- Colocar a máquina síncrona a funcionar como motor.

### Motor Série Universal (Feedback ETL174A)

Características Nominais:

Alimentação: CA (Monofásico) ou CC

$P = 1/4 \text{ HP (CA) ou } 1/3 \text{ HP (CC)}$

$V = 120 \text{ V (CA) ou } 120 \text{ V (CC)}$

$n = 2000 \text{ rpm}$

### Máquina Síncrona (Feedback ETL174G)

Características Nominais:

$P = 1/3 \text{ HP}$

$V_{\text{fase}} = 120 \text{ V (CA)}$

$I_{\text{fase}} = 1,2 \text{ A (CA)}$

$n = 3000 \text{ rpm}$

Nesta montagem o motor série universal será alimentado em corrente alternada por um autotransformador monofásico variável (VARIAC) existente na bancada. A tensão nominal desse motor é de 120 V.

**ATENÇÃO:** Uma vez que a velocidade do motor série universal é extremamente dependente da carga que lhe está acoplada, deve ter-se o cuidado de não permitir que a sua velocidade alcance valores muito elevados, uma vez que isto pode levar à destruição do motor. A velocidade do motor universal é ajustada através da variação da tensão aplicada ao mesmo.

### **Funcionamento da Máquina Síncrona como Gerador**

Primeiro pretende-se traçar a curva da máquina síncrona para operação em vazio:  $E_o = f(i_f)$ . Para tal alimenta-se o enrolamento de campo da máquina com uma fonte CC e de seguida coloca-se em funcionamento o motor série universal por forma a accionar a máquina síncrona. A velocidade desta deve ser de 3000 rpm para todos os valores a medir. Varie a corrente de campo (excitação) da máquina síncrona até ao máximo de 1,5 A (a tensão máxima que pode ser aplicada ao enrolamento de campo é de 100 V).

Em seguida deseja-se obter a característica em curto-circuito da máquina síncrona:  $I = f(i_f)$ , para os mesmos valores de corrente de campo ( $i_f$ ) do teste em vazio, e sempre também para a velocidade nominal da máquina ( $n = 3000 \text{ rpm}$ ).

Com os valores obtidos nos dois testes anteriores calcule o valor da reactância síncrona por fase da máquina síncrona (desprezando a resistência) para cada par de valores  $E_o$  e  $I$ . Comente as diferenças entre os valores calculados.

**Notação:**  $E_o$ : força electromotriz em vazio induzida nos enrolamentos do estator.  
 $i_f$ : corrente de campo (excitação – no enrolamento do rotor).  
 $I$ : corrente nos enrolamentos do estator.  
 $n$  : velocidade de rotação (em rpm).

### Ligação da Máquina Síncrona à Rede Eléctrica

Para colocar uma máquina síncrona em paralelo com a rede devem ser verificadas determinadas condições: as tensões nas fases da máquina síncrona devem ser idênticas às da rede em frequência, amplitude, sequência de fases e fase. Neste trabalho é utilizado o “Método das Lâmpadas” para verificar estas condições. Deverá ser usado um autotransformador trifásico (VARIAC) que desça a tensão de linha (tensão composta) da rede para cerca de 180 V (este autotransformador é necessário para adaptar as tensões da rede às da máquina síncrona).

No relatório deverá explicar através de um esquema como a montagem foi efectuada. Deverá ainda descrever o que ocorreu para o caso em que a sequência de fases da máquina síncrona era idêntica à da rede, e para o caso em que as sequências de fase estavam trocadas.

**ATENÇÃO:** Antes de colocar a máquina síncrona em paralelo com a rede, verifique quais as medições que necessita fazer nos ensaios para funcionamento como motor, e coloque desde já os aparelhos de medida necessários para tal.

**ATENÇÃO:** Na colocação da máquina síncrona 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.

### Funcionamento como Motor

Depois de ter colocado a máquina síncrona a funcionar em paralelo com a rede, desligue a alimentação do motor série universal que acciona a máquina síncrona e zere o seu VARIAC.

Meça a **tensão, corrente,  $\cos(\varphi)$  e potência consumida** pela máquina síncrona, que passa a operar como motor, para pelo menos 3 valores da corrente de excitação, de forma que o motor síncrono opere com factor de potência capacitivo, unitário e indutivo. Comece com o valor máximo admissível de corrente de excitação (1,5 A) e depois o vá reduzindo, até que a máquina síncrona perca o sincronismo. Anote os valores em que isto ocorre e explique este fenómeno no relatório.

Trace as chamadas "curvas em V", ou seja,  $I = f(i_f)$  (neste caso para o motor síncrono a funcionar praticamente em vazio, uma vez que não há nenhuma carga aplicada ao seu eixo, a não ser pelo motor série universal que encontra-se desligado, e que é “arrastado” pelo motor síncrono). A corrente nos enrolamentos do estator da máquina síncrona não deverá ultrapassar o seu valor nominal (1,2 A).

**ATENÇÃO:** Durante o funcionamento da máquina síncrona como motor, quando se diminui em demasia a sua corrente de excitação, a máquina perde o sincronismo. Quando isso acontecer a alimentação trifásica da máquina deve ser desligada imediatamente.

Descubra qual é o valor mínimo da corrente de excitação em que o motor síncrono perde sincronismo. Quando isto ocorrer **desligue imediatamente a máquina síncrona através do disjuntor que liga a alimentação da máquina à rede eléctrica**, uma vez que, após a perda de sincronismo, não adianta aumentar a corrente de excitação, porque ela não mais volta a entrar em sincronismo – verifique isto rapidamente. Uma vez que a máquina síncrona seja desligada, todo o processo de arranque com motor auxiliar deve recomeçar.

### 3. Motor de Corrente Contínua e Freio Electromagnético

Nesta montagem uma máquina de corrente contínua do tipo *Compound* (composta – ou seja, com enrolamentos de campo paralelo e série) é utilizada como motor CC *shunt* (apenas o enrolamento de campo paralelo é utilizado – o enrolamento série não é ligado). O motor CC *shunt* é alimentado por uma conversor CA-CC (rectificador controlado a tiristores). É utilizado um freio electromagnético como carga mecânica para o motor.

Neste trabalho pretende-se:

- Variar a velocidade de um motor CC *Shunt* através da variação da tensão aplicada ao motor e através da variação da corrente de campo.
- Verificar a eficiência desse motor CC *Shunt*.

#### Motor de CC Compound (Feedback ETL174C)

Características Nominais:

$$P = 1/4 \text{ HP}$$

$$V = 120 \text{ V (CC)}$$

$$I_{\text{campo}} = 0,5 \text{ A (CC)}$$

$$I_{\text{armadura}} = 2,2 \text{ A (CC)}$$

$$n = 2000 \text{ rpm}$$

#### Freio Electromagnético (Feedback ETL174N)

Características Nominais:

$$P = 0,5 \text{ kW máximo}$$

$$I = 3,5 \text{ A}$$

$$n = 1400 \text{ rpm} - 5000 \text{ rpm}$$

**ATENÇÃO:** Ao ligar o motor CC deve ter-se o cuidado de não ultrapassar os 3 A no arranque, pois o conversor CA-CC tiristorizado pode ser danificado caso isso ocorra. Sendo assim, o arranque do motor CC deve ser sempre feito em vazio.

#### **Variação da Velocidade do Motor CC Shunt**

Ligue o enrolamento de campo paralelo da máquina CC *compound* em paralelo com a armadura, de forma a fazer com que a máquina opere como motor CC *shunt*. Diga no relatório como identificou o enrolamento de campo paralelo e o enrolamento de campo série. Apresente os valores medidos para tal.

Trace as seguintes características para várias condições de carga:

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

Coloque o motor a funcionar em vazio. Meça a **velocidade, corrente de entrada e potência** para os seguintes valores da tensão terminal:  $U = 60 \text{ V}, 80 \text{ V}, 100 \text{ V}, 120 \text{ V}$ . Observe com o osciloscópio a

forma de onda da tensão aplicada ao motor. Registe essa forma de onda para os vários valores de tensão, para operação em vazio e para as seguintes condições de carga: 1/4 da carga nominal; 1/2 da carga nominal e 3/4 da carga nominal. Comente o observado.

**ATENÇÃO:** Neste ensaio, para operação com carga e quando a tensão aplicada ao motor for inferior à nominal, a corrente pode alcançar valores elevados. Não exceda a corrente nominal em nenhuma circunstância (não aplique a carga requerida, caso a corrente ultrapasse o valor nominal).

**ATENÇÃO:** Verifique o sentido de rotação do motor antes de ligar o freio electromagnético. O freio electromagnético só funciona correctamente para um sentido de rotação.

Antes de acoplar o freio electromagnético ao motor faça o motor girar nos dois sentidos, e explique no relatório como se inverte o sentido de rotação do motor CC *shunt*.

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

Coloque uma resistência variável de fio de  $320 \Omega$  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, com 1/4 de carga e com 1/2 carga.

### **Verificação da Eficiência do Motor CC *Shunt***

Coloque agora a resistência em série com o enrolamento de campo em 100% (valor óhmico mínimo, ou seja, zero) e mantenha-a nesse valor.

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

- Velocidade em função da corrente de armadura:  $n = f(I)$ .
- Potência em função da corrente de armadura:  $P = f(I)$ .
- Rendimento em função da corrente de armadura:  $\eta = f(I)$ .

**ATENÇÃO:** Não ultrapasse a carga nominal que o motor pode suprir.

Notação:  $U$ : tensão aos terminais da máquina.

$I_f$ : corrente de excitação no enrolamento de campo paralelo (estator).

$I$ : corrente de armadura (rotor).

$n$ : velocidade de rotação em rpm.

$\eta$ : rendimento

## 4. Realização de Montagens utilizando um “Kit” de Máquinas Eléctricas

Neste trabalho pretende-se montar e colocar em funcionamento algumas máquinas eléctricas usando um "kit" didáctico. Para tal, deve ler com muita atenção a introdução teórica de cada máquina e fazer um esquema de cada montagem, de forma a otimizar o tempo despendido para o trabalho. Todas as montagens deverão operar em vazio. Apresente ainda os valores medidos (**tensões, correntes, potências e velocidade de rotação**) para o funcionamento de cada máquina.

**Nota:** Para accionar as máquinas que operam como geradores deve utilizar o motor que se encontra na mesma bancada do "kit".

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

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

### Máquinas a Serem Montadas:

#### 4.1 Motor de Indução Monofásico de 4 Pólos com Arranque por Condensador

Nos motores em que o estator tem um enrolamento monofásico, o campo magnético é estacionário e alternado, podendo ser decomposto em dois campos girantes de amplitude igual à metade do campo estacionário e girando em sentidos inversos à mesma velocidade. Isto leva a que as acções destes dois campos sobre o rotor se equilibrem, pelo que os binários são iguais e de sinal contrário. Como tal, o motor de indução monofásico nunca arranca por si só, isto é, não possui binário de arranque. Contudo, com um impulso inicial no rotor, este começa a rodar até atingir a velocidade nominal.

Os processos mais comuns de fazer o arranque destes motores baseiam-se na transformação do estator monofásico num estator bifásico, por forma ao campo resultante deixar de ser estacionário e passar a ser girante. Para isso é necessário um enrolamento estatórico auxiliar, que vai ser percorrido por uma corrente desfasada da do enrolamento principal. Assim, por forma a conseguir esse desfasamento, inserem-se condensadores em série com o enrolamento auxiliar. Após o arranque do motor, o enrolamento auxiliar é desligado por meio de um interruptor centrífugo.

Esquematize a montagem a realizar, sabendo que o estator do motor está disposto segundo a Figura 4.1 e que o rotor é em gaiola de esquilo. Note ainda que no tabuleiro de condensadores encontram-se 3 valores de condensadores diferentes, os quais pode ligar e colocar em paralelo. Tenha bastante atenção às etiquetas colocadas em cada fio do “kit”. A alimentação em CA é fornecida por um autotransformador monofásico variável (VARIAC) que se encontra na bancada, e não deve ultrapassar os 140 V.

**Não se esqueça de:**

- Arrancar o motor com diferentes valores do condensador e comentar o observado.
- Inverter o sentido de rotação do motor.

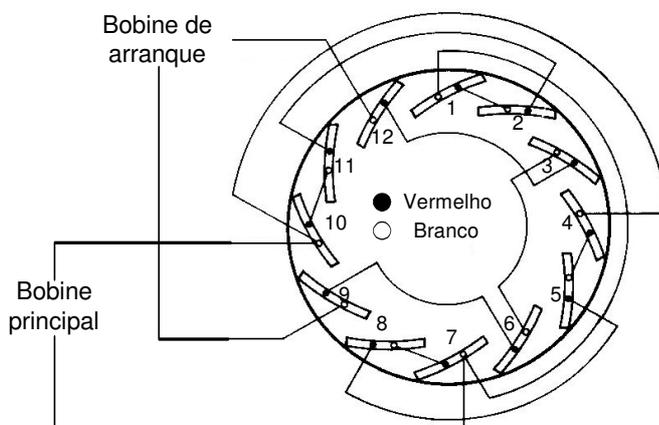


Figura 4.1 - Esquema para Ligação do Motor de Indução Monofásico.

## 4.2 Motor Série Universal

Neste motor o induzido (armadura) e o enrolamento de campo estão ligados em série, por isso, o enrolamento de campo é composto por poucas espiras de fio grosso. Neste motor existe uma relação entre binário e velocidade de tal ordem que quando uma cresce a outra diminui. Assim, para binários muito pequenos o motor tende a “embalar” (alcançar velocidades muito elevadas), podendo ter os enrolamentos da armadura destruídos pela força centrífuga. Por esse facto, não devem ser utilizados motores deste tipo quando há possibilidades de durante o funcionamento o veio ficar sem carga. Em máquinas pequenas não existe este perigo uma vez que os atritos já constituem binário resistente suficiente para que tal não aconteça.

O colector deste motor é laminado, por isso coloque as escovas sobre a parte laminada do colector. Alimente o motor com uma tensão contínua de 15 V, fornecida pela ponte rectificadora que se encontra no painel, a qual é alimentada por um autotransformador monofásico variável (VARIAC) localizado na bancada. Verifique o seu funcionamento retirando as medições necessárias. Inverta o sentido de rotação do motor.

Alimente de seguida o motor com uma tensão alternada, nunca superior a 140 V, fornecida pelo VARIAC localizado na bancada (aumente a tensão gradualmente a partir do zero). Verifique o seu funcionamento e compare o funcionamento do motor em CA e CC. O que conclui? Inverta também o sentido de rotação do motor.

## 4.3 Motor CC de Excitação Composta Aditiva

Este motor tem um enrolamento de campo paralelo e um enrolamento de campo série. Quando os campos magnéticos produzidos por esses enrolamentos se somam a excitação é composta aditiva (ou cumulativa), quando se subtraem a excitação é composta subtractiva (ou diferencial).

Neste tipo de motores o colectador é laminado. É necessário utilizar duas bobinas concentradas do estator: L4 e L5 (Figura 4.2). Alimente o motor com uma tensão contínua, cerca de 40 V, fornecida pela ponte rectificadora que se encontra no painel, a qual é alimentada por um autotransformador monofásico localizado na bancada. Verifique o seu funcionamento retirando as medições necessárias. Inverta o sentido de rotação do motor.

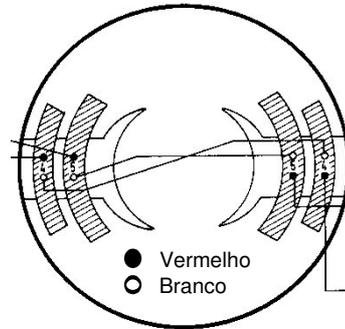


Figura 4.2 - Esquema para ligação do motor CC de excitação composta aditiva.

#### 4.4 Outras Montagens

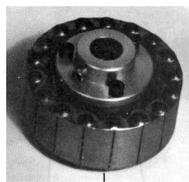
Caso tenha tempo pode efectuar a montagem de outras máquinas:

- **Motor de Indução Trifásico de 4 Pólos (Arranque Directo)**
- **Gerador Síncrono Monofásico de Pólos Concentrados**
- **Gerador CC de Excitação Independente**
- **Motor CC *Shunt***

#### Material a Utilizar



Estator distribuído

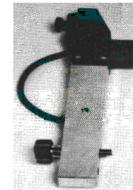


Rotor em gaiola de esquilo

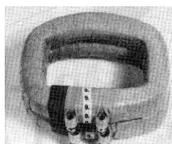


Dois pólos do estator bipolar

Escovas (suporte)



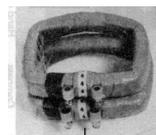
Escovas (suporte)



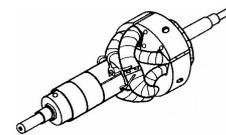
Bobinas L9 do estator



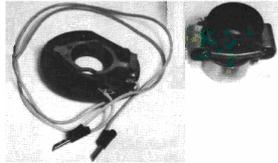
Bobinas L5 do estator



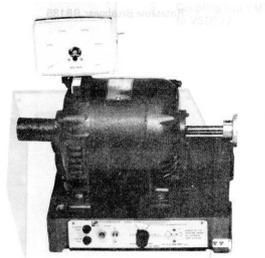
Bobinas L4 do estator



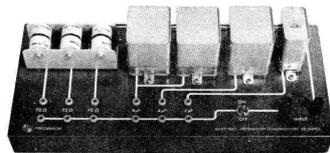
Rotor bobinado



Partes do interruptor centrífugo



Motor de arraste de velocidade variável para accionar as máquinas que funcionam como gerador



Banco de Condensadores

## 5. Arranque Estrela-Triângulo com Inversão de Marcha de um Motor de Indução

O arranque estrela-triângulo é um dos métodos mais simples e o mais aplicado no arranque de motores de indução trifásicos. Para que este método possa ser aplicado, o motor deve poder funcionar em ligação triângulo após o arranque (ou seja, as tensões nominais dos enrolamentos devem ser iguais às tensões de linha da rede eléctrica), e deve possuir os seis terminais acessíveis (ou seja, devem estar disponíveis os dois terminais de cada um dos enrolamentos de fase).

No arranque o motor é ligado em estrela, de tal forma que cada uma de suas fases fica apenas com uma tensão igual a  $1/\sqrt{3}$  do seu valor nominal. Dessa forma a corrente absorvida na linha fica reduzida a  $1/3$  da nominal (a corrente em cada fase fica com um valor igual a  $1/\sqrt{3}$  do seu valor nominal). Por outro lado o binário no arranque é também reduzido a  $1/3$  do seu valor nominal (o que pode ser uma desvantagem, caso isso não permita que o motor arranque devidamente).

A Figura 5.1 apresenta as relações entre as grandezas envolvidas para as ligações em estrela e triângulo.

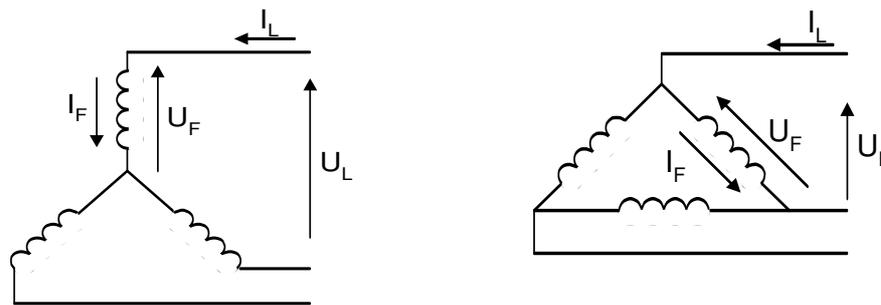
A Figura 5.2 apresenta o esquema de ligações eléctricas para uma montagem de arranque estrela-triângulo com inversão de marcha.

Efectue as seguintes medições durante o arranque do motor de indução:

- corrente de linha e tensão composta
- corrente num enrolamento e tensão num enrolamento

Observe as ligações do Circuito de Potência e do Circuito de Comando do Sistema de Arranque Estrela-Triângulo com Inversão de Marcha.

Proceda a inversão de marcha do motor.



(a) 
$$U_{fase \ Y} = \frac{U_{linha}}{\sqrt{3}}$$
  

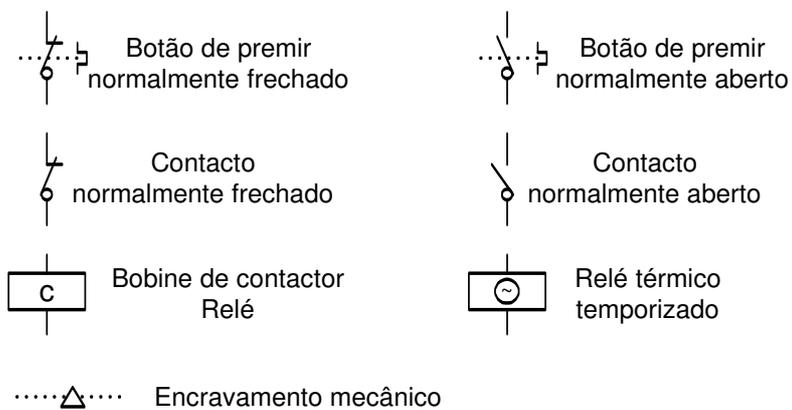
$$I_{fase \ Y} = I_{linha}$$

(b) 
$$U_{fase \ \Delta} = U_{linha}$$
  

$$I_{fase \ \Delta} = \frac{I_{linha}}{\sqrt{3}}$$

Figura 5.1 - Ligação em estrela (a) e triângulo (b), e relação entre as grandezas envolvidas.

Notação da Figura 5.2:



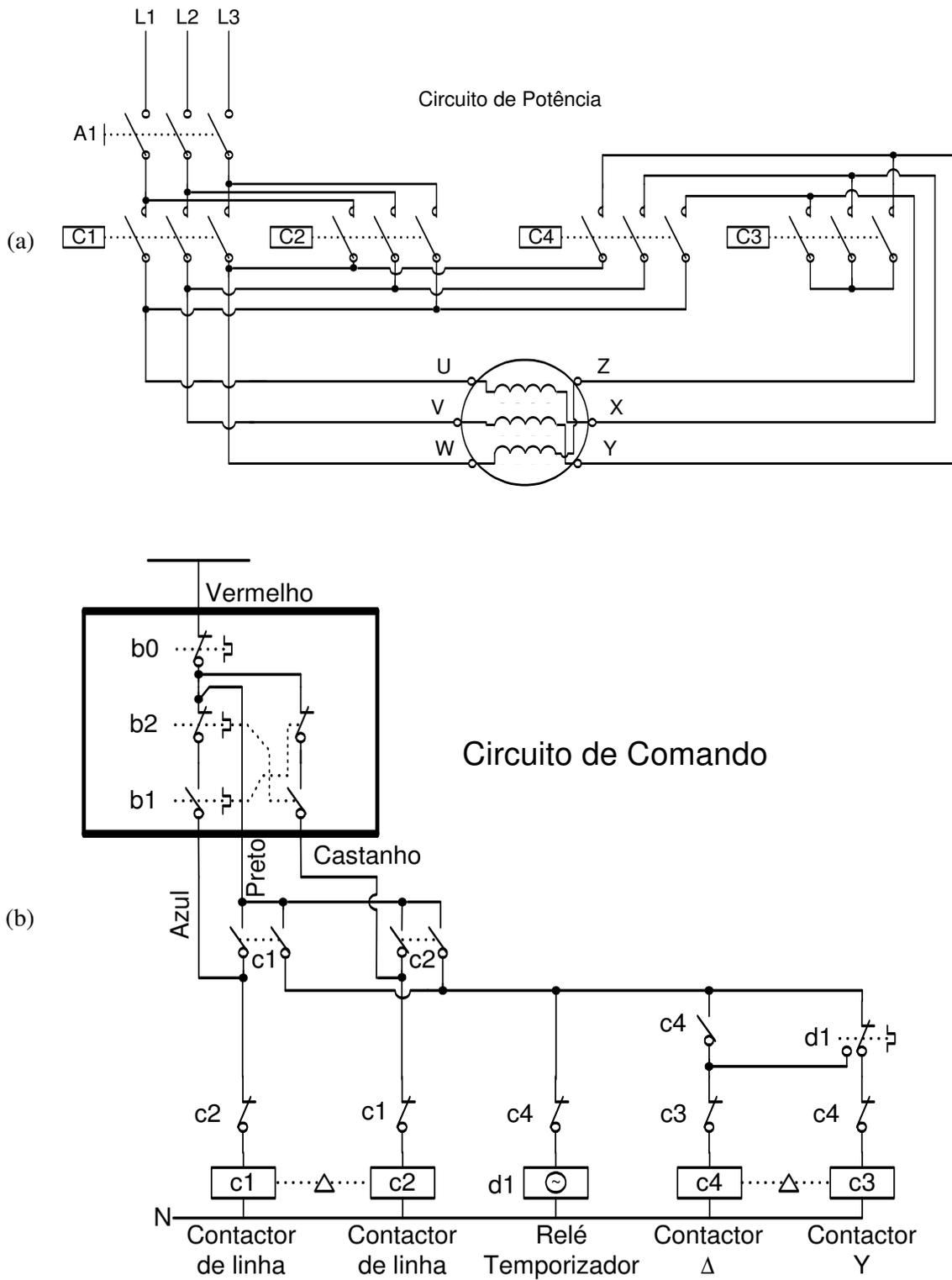


Figura 5.2 - Montagem para arranque estrela-triângulo com inversão de marcha:  
 (a) circuito de potência; (b) circuito de comando

## 6. Motor de Indução de Rótor Bobinado Accionando um Gerador CC

Nesta montagem um motor de indução trifásico do tipo rótor bobinado acciona uma máquina de corrente contínua, que opera como gerador. Ou seja, a máquina CC funciona como carga do motor de indução.

Pretende-se:

- Determinar a máxima e a mínima velocidade de operação do motor para operação em vazio (com o gerador acoplado ao eixo do motor).
- Ensaiar o motor de indução para diferentes condições de operação:
  - diferentes velocidades de operação (2500 rpm, 1500 rpm, 1000 rpm e 500 rpm) com diferentes valores de carga (potência de saída do gerador)
- Verificar a eficiência do conjunto motor-gerador para as várias condições de operação ensaiadas.

### Motor de Indução (Feedback ETL174H)

Características Nominais:

$$P = 1/4 \text{ HP}$$

$$V_{\text{composta}} = 120 \text{ V (Corrente Alternada)}$$

$$I_{\text{fase}} = 2,3 \text{ A (Corrente Alternada)}$$

$$n^{\circ} \text{ de pólos/fase: } 2$$

### Máquina CC (ElectroNave)

Características:

Ligação com Excitação Independente

$$I_{\text{excitação máx.}} = 4,4 \text{ A}$$

$$I_{\text{armadura máx.}} = 4,4 \text{ A}$$

**ATENÇÃO:** Os valores das 3 resistências ligadas ao rótor do motor de indução devem ser mantidas sempre iguais.

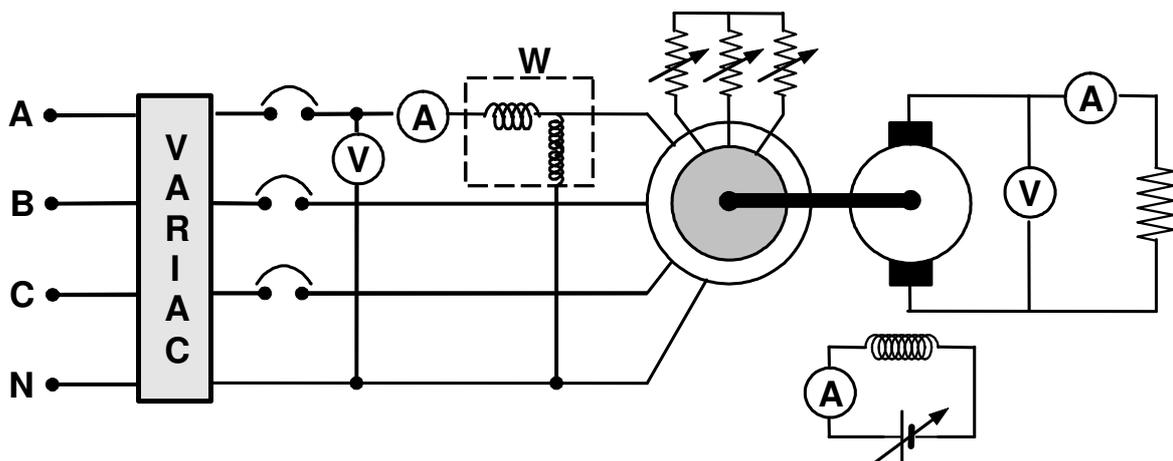


Figura 6.1 - Montagem de um Motor de Indução de Rótor Bobinado Accionando um Gerador CC com excitação independente.