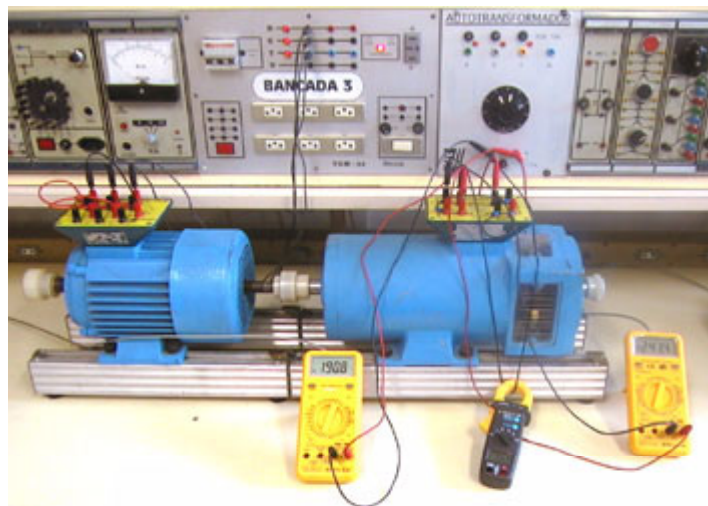




ESCOLA UNIVERSITÀRIA
POLITÈCNICA DE MATARÒ

MÀQUINES ELÈCTRIQUES I AUTOMATISMES DE CONTROL DE MOTORS




LA CONNEXIÓ AMB LA TEVA UNIVERSITAT



MÀQUINA DE CORRENT CONTINU GENERADOR D'EXCITACIÓ INDEPENDENT

1.- Introducció.

L'objectiu d'aquesta pràctica és l'estudi de la màquina de corrent continu AL-506 treballant com a generador.

Perquè la màquina de corrent continu generi una força electromotriu E en el circuit de l'induït, s'han de complir dues condicions:

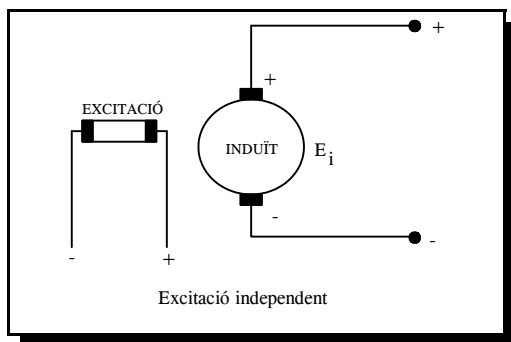
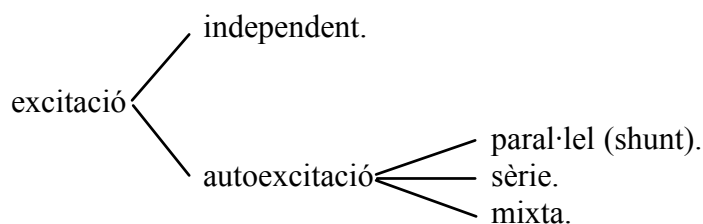
- presència de flux en la màquina (Φ). El flux magnètic es genera alimentant amb corrent continu el debanat d'excitació (inductor) de l'estator.
- moviment de l'induït (rotor) en el si del flux inductor. Un motor auxiliar (AL-206 : Motor d'inducció trifàsic) farà girar el rotor de la màquina de corrent continu a una certa velocitat (n).

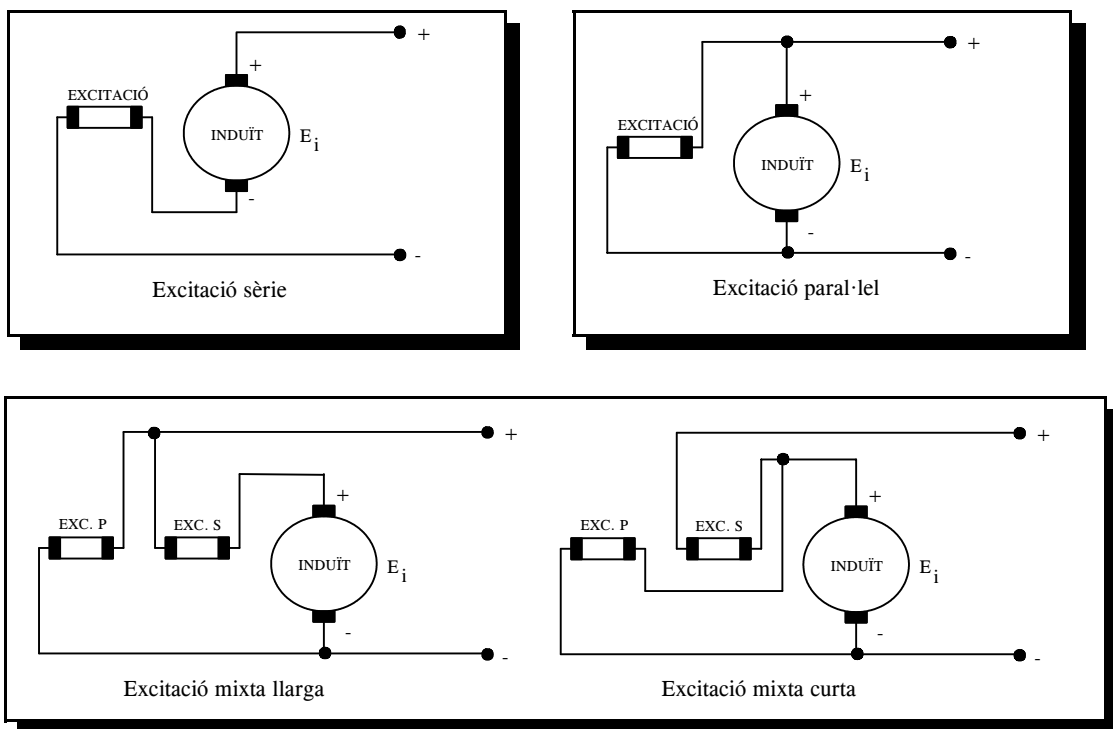
En aquestes condicions la força electromotriu generada ve donada per l'expressió següent:

$$E = K \cdot n \cdot \Phi$$

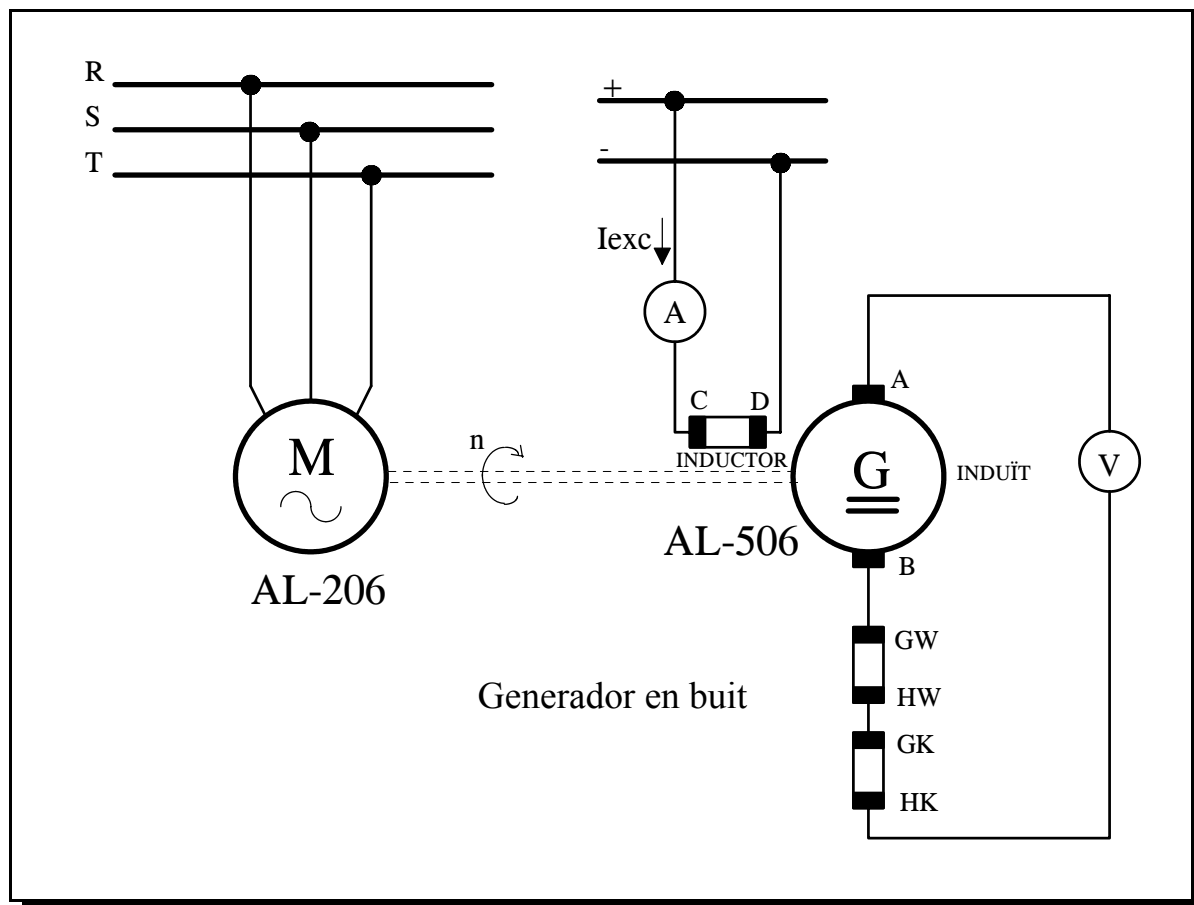
- E : f.e.m.
- n : velocitat de gir del rotor.
- Φ : flux.
- K : constant que depèn de paràmetres constructius de la màquina.

El corrent d'excitació I_{exc} , que genera el flux Φ , es pot obtenir connectant el debanat d'excitació de diverses maneres:





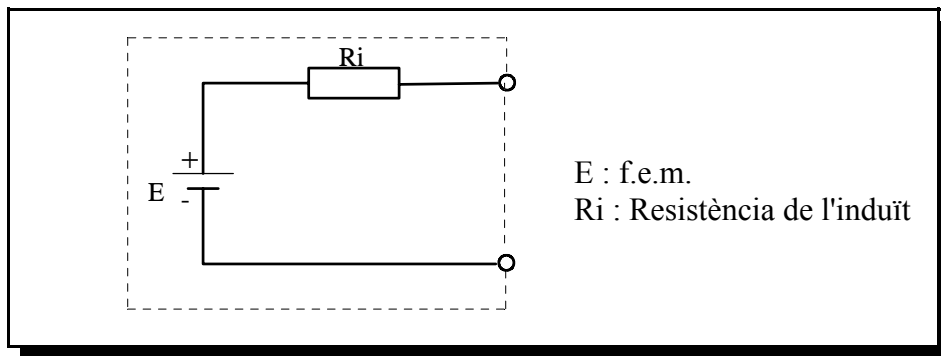
En aquesta pràctica s'utilitzarà l'excitació independent i, per tant, el corrent continu s'extraurà connectant el debanat de l'inductor a la font de DC de la bancada. Com que aquesta tensió és regulable tenim un control directe sobre el corrent I_{exc} .



El circuit de l'induït estarà format pel debanat induït (A - B), els pols de commutació (GW - HW) i els de compensació (GK - HK). Per tant, sobre la placa de borns s'hauran de connectar els dos punts seguint l'esquema de la figura, i considerar la sortida efectiva del circuit de l'induït entre A i HK.

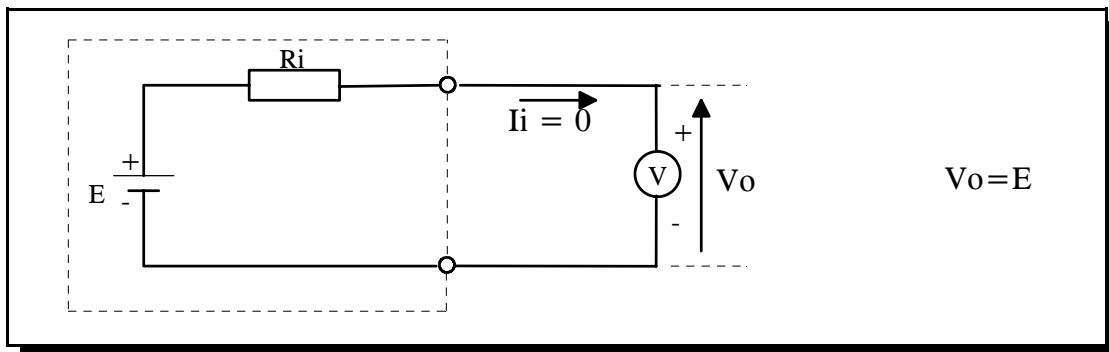
2.- Model equivalent.

El model equivalent del generador de corrent continu està format per un generador ideal de valor E més una petita resistència en sèrie Ri que representa la resistència de tots els debanats de l'induït.



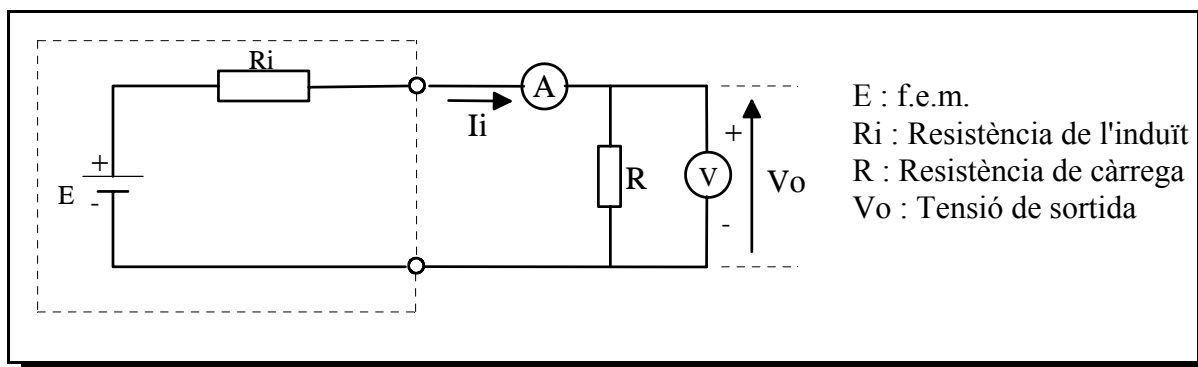
3.- Generador en buit.

Si no connectem cap càrrega elèctrica a la sortida (induït) no fem circular corrent pel circuit de l'induït i, per tant, la lectura del voltímetre ens indicarà directament la f.e.m. E.



4.- Generador amb càrrega.

Si connectem una càrrega elèctrica el circuit equivalent és el següent:

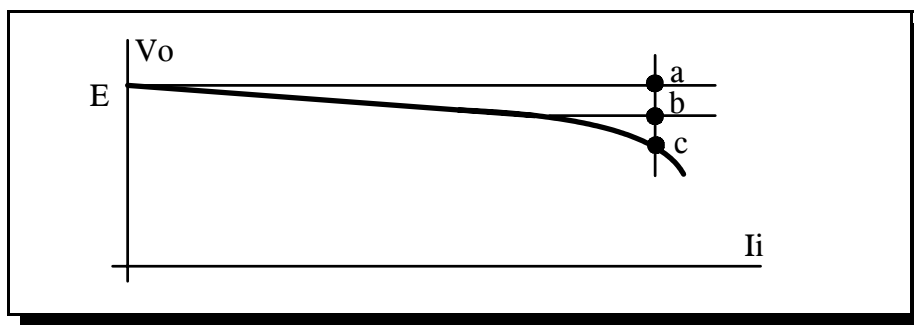


En aquest circuit es compleix:

$$V_o = E - I_i \cdot R_i$$

La tensió de sortida disminueix a mesura que sol·licitem més corrent del generador, degut a la caiguda de tensió a la resistència interna R_i .

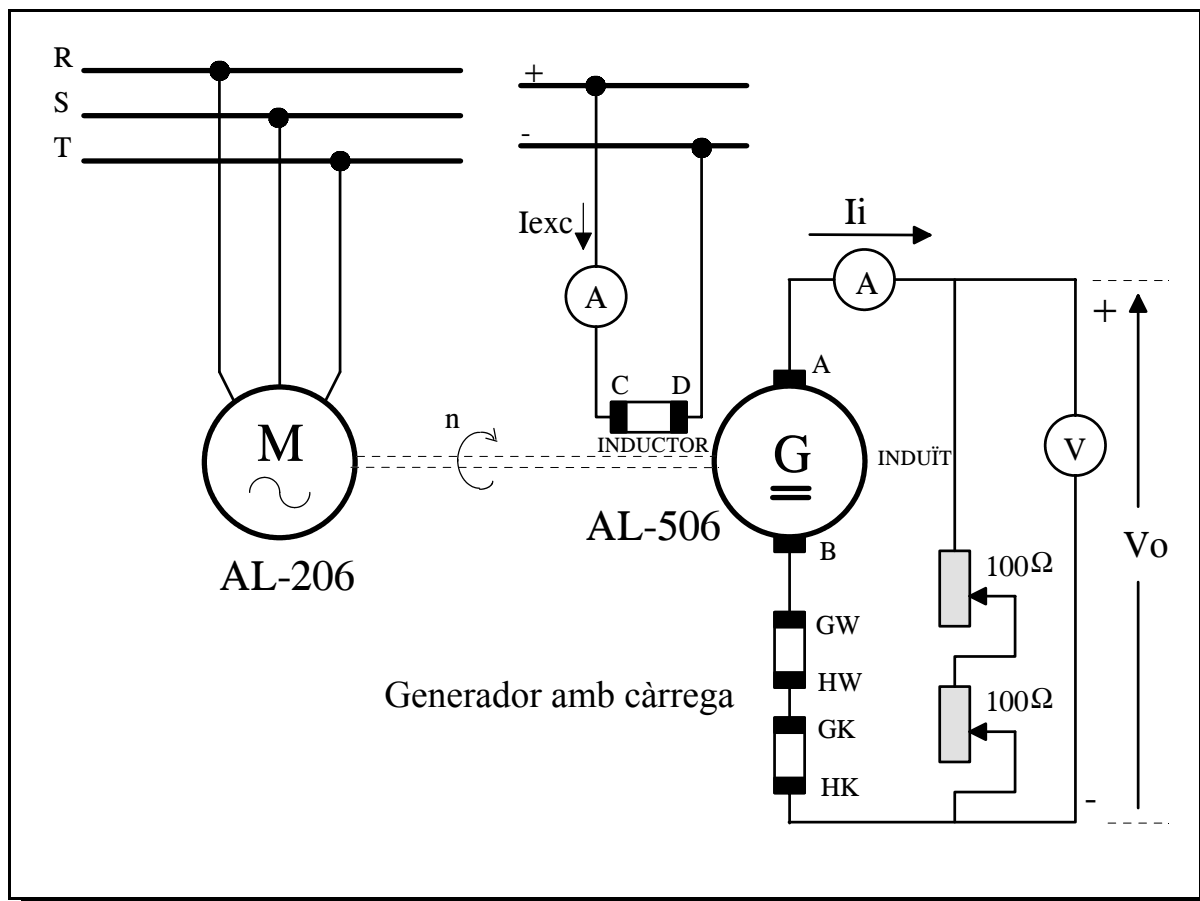
Per a una E determinada, és a dir, per a una I_{exc} i una n fixades, la característica de càrrega representa la gràfica de V_o respecte I_i . La figura següent representa la forma típica de la característica de càrrega.



Per $I_i = 0 \implies V_o = E$

El pendent de la recta és $- R_i$

Per I_i elevades es pot observar una davallada de V_o degut al fenomen conegut com a reacció de l'induït.

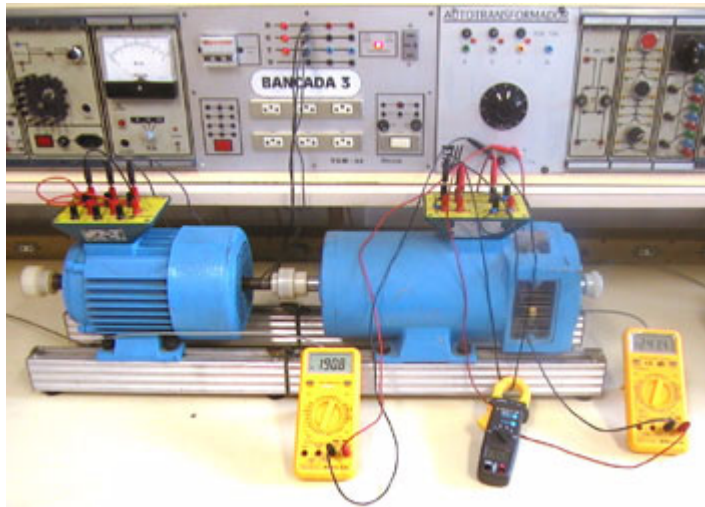


5.- Inversió de la polaritat de la f.e.m. generada.

De l'equació $E = K \cdot n \cdot \Phi$ es desprèn que la polaritat de la f.e.m. E generada es pot alterar de dues maneres:

- invertint el sentit de gir (n).
- invertint el sentit del corrent d'excitació (Φ).

REALITZACIÓ PRÀCTICA



Material:

- 1 motor AL-206.
- 1 generador AL-506.
- cables de connexió.
- 2 voltímetres.
- 1 pinces amperimètriques.

Objectius:

- Conèixer el funcionament de la màquina de corrent continu com a generador.
- Comprovar la relació entre la f.e.m. E generada i el corrent d'excitació I_{exc} a velocitat constant.
- Conèixer com es pot invertir la polaritat de la f.e.m. E .

Muntatge:

Motor de corrent altern AL-206 connectat en configuració triangle.
Inductor del generador AL-506 connectat a la font de tensió continua de la bancada, inicialment a 0 V.
El generador estarà en buit (sense càrrega).

Procediment:

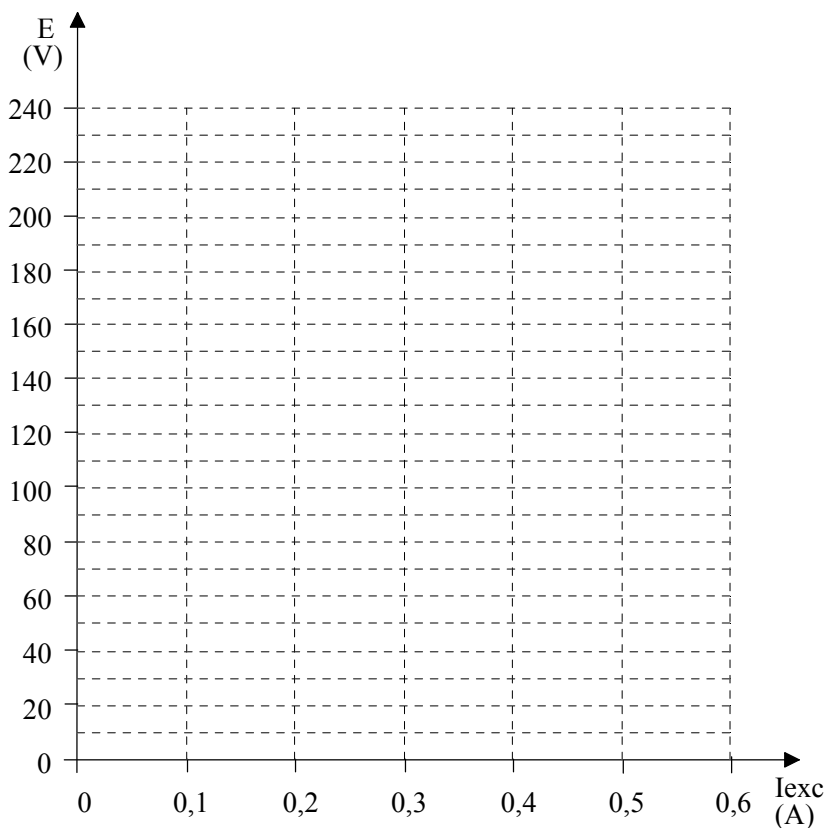
1.- Posem en marxa el motor de corrent altern. La velocitat estarà lleugerament per sota de 1500 r.p.m.

n =

2.- Mesura de I_{exc} i de E : Anirem augmentant la tensió de l'inductor per tal d'assolir els valors de corrent d'excitació I_{exc} sol·licitats a la taula; per a cada un d'aquests valors llegirem i anotarem el valor de la f.e.m. E donada pel voltímetre.

I_{exc}	0	0,1 A	0,2 A	0,3 A	0,4 A	0,5 A	0,6 A
E							

Representeu en una gràfica de E en funció de I_{exc} amb aquests resultats.



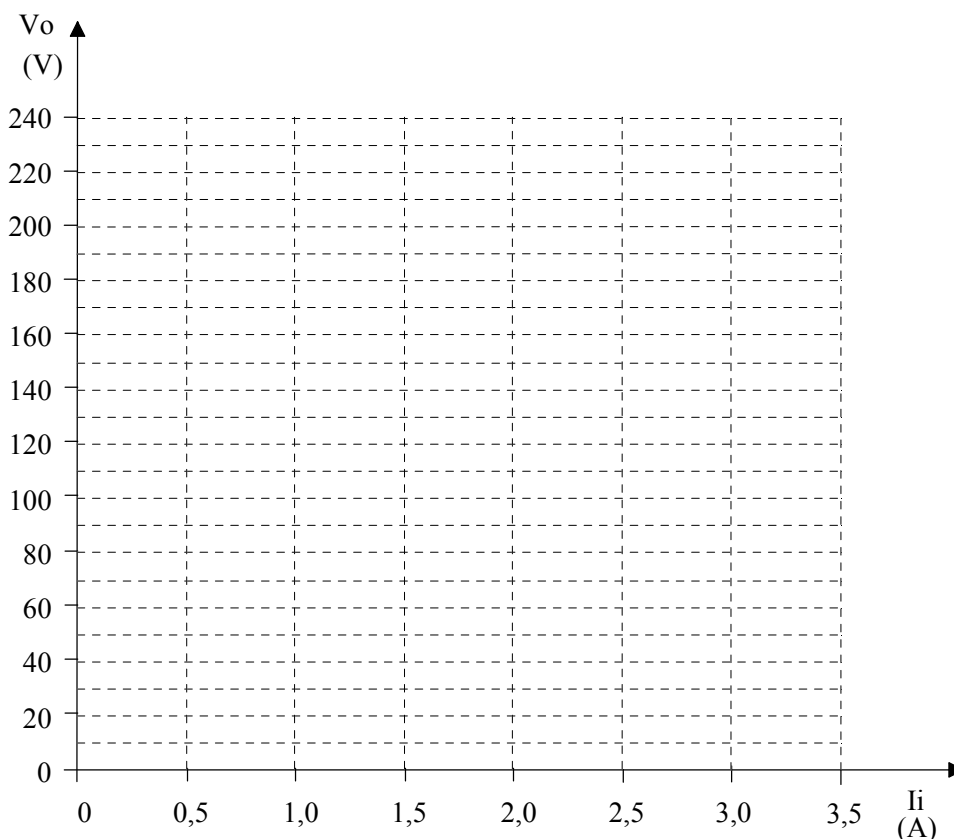
3.- Després de regular la tensió de l'inductor per donar un corrent I_{exc} de 0,5 A, comprovarem que la polaritat es pot invertir de dues maneres:

- invertint la polaritat de la tensió de l'inductor.
- invertint el sentit de gir de la màquina d'arrossegament.

4.- Situem el corrent d'excitació en el valor $I_{exc} = 0,5 \text{ A}$. Connectem a la sortida de l'induït una càrrega formada per 2 reòstats de 100Ω en sèrie. Connectem un amperímetre per mesurar el corrent d'induït (I_i) i un voltímetre per mesurar la tensió de sortida (V_o). Variarem els reòstats per tal d'obtenir els valors de I_i indicats a la taula; per a cada valor de I_i obtindrem el corresponent valor de V_o .

I_i	0	1, A	1,5 A	2 A	2,5 A	3 A	3,5 A
V_o							

Representeu en una gràfica de V_o en funció de I_i amb aquests resultats.



A partir dels resultats anteriors calculeu el valor de R_i .

$R_i =$

MÀQUINA DE CORRENT CONTINU MOTOR D'EXCITACIÓ INDEPENDENT

1.- Introducció.

Com tota màquina elèctrica, la màquina de corrent continu té un comportament reversible, i en aquesta pràctica estudiarem el seu funcionament com a motor, és a dir, transformant energia elèctrica aplicada en energia mecànica disponible.

Per a que el motor de corrent continu funcioni es requereix:

- presència de flux en la màquina (Φ). S'ha d'alimentar amb corrent continu el debanat d'excitació (inductor).
- circulació de corrent en el debanat de l'induït (I_i). S'ha d'alimentar amb corrent continu el debanat de l'induït.

En aquestes condicions la màquina pot donar un parell electromagnètic o parell intern que serà proporcional al flux i al corrent de l'induït:

$$T_i = K' \cdot \Phi \cdot I_i$$

A l'induït es genera una força contraelectromotriu E que ve donada per la següent expressió:

$$E = K \cdot n \cdot \Phi$$

T_i : parell intern

Φ : flux

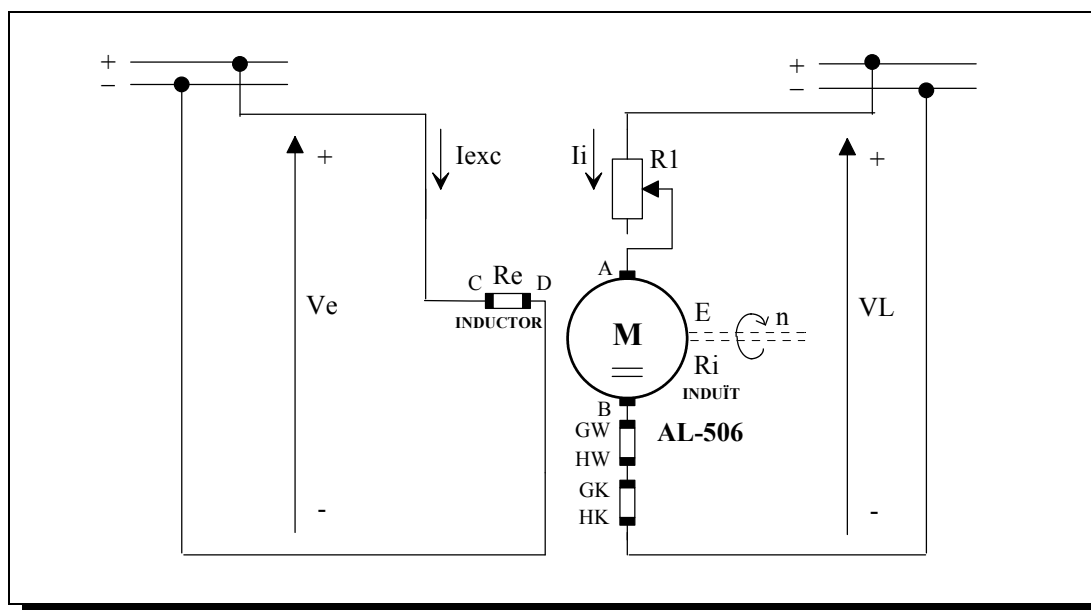
I_i : corrent de l'induït

E : f.c.e.m.

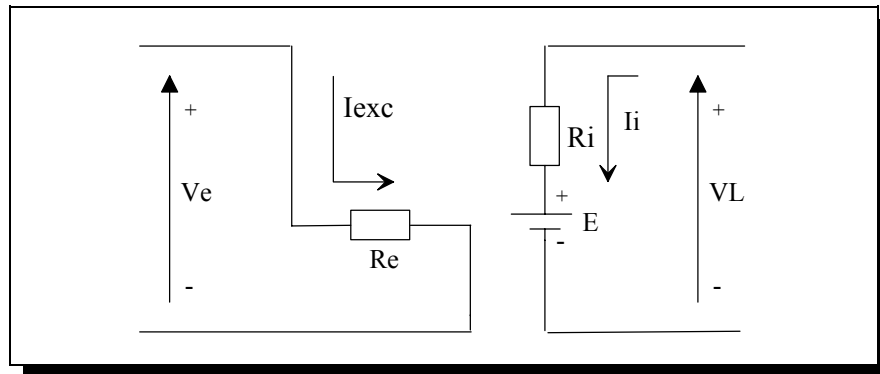
n : velocitat de gir del rotor

K i K' són constants que depenen de paràmetres constructius de la màquina

En els motors de corrent continu l'excitació es pot obtenir de diverses formes, de manera anàloga al funcionament com a generador. En aquesta pràctica utilitzarem un altre cop l'excitació independent, és a dir, l'inductor i l'induït es connectaran a fonts d'alimentació de corrent continu diferents i independents. El reòstat R_1 intercalat en el circuit de l'induït servirà per l'arrencada.



El circuit equivalent és el següent (suprimint el reòstat d'arrencada R1):



Les equacions d'aquest circuit són:

$$V_L = E + I_i \cdot R_i$$

$$E = K \cdot n \cdot \Phi$$

a les que cal afegir la corba de magnetització de la màquina: $\Phi = f(I_{exc})$.

De les equacions anteriors tenim:

$$I_i = \frac{V_L - E}{R_i} = \frac{V_L - K \cdot n \cdot \Phi}{R_i}$$

Hi ha dues situacions particularment preocupants on la força contraelectromotriu E seria nul·la i I_i passaria a tenir valors prohibitius.

- Absència d'excitació: $\Phi = 0$.
- En el moment de l'arrencada: $n = 0$.

2.- Posada en marxa (arrencada).

D'acord amb el que acabem de dir, en el moment de l'arrencada hem d'evitar el corrent excessiu que s'origina en el motor degut a que tota la tensió d'alimentació recau sobre la petita resistència R_i . Per això, cal instal·lar un reòstat d'arrencada R1 en sèrie amb el circuit de l'induït; un cop arrencat el motor l'anirem eliminant progressivament fins a curtcircuitar-lo. Si la font d'alimentació de l'induït és regulable ens podem estalviar el reòstat, si arrenquem amb la tensió a 0 V i l'anem pujant gradualment fins al valor nominal.

A més a més, si el circuit de l'inductor permet regular el flux, i per tant regular la velocitat, (ja sigui regulant la tensió o intercalant un altre reòstat) convindrà que en el moment de l'arrencada el flux proporcionat sigui el màxim.

Recordeu que en cap moment (arrencada o posteriors) es pot deixar el circuit de l'inductor sense excitació.

3.- Variació de la velocitat. Inversió del sentit de gir.

De les equacions anteriors aïllem la velocitat:

$$n = \frac{E}{K \cdot \Phi} = \frac{V_L - R_i \cdot I_i}{K \cdot \Phi}$$

D'aquesta equació es desprèn que la velocitat del motor es pot modificar de dues maneres:

- variant la tensió d'alimentació V_L de l'induït.
- variant el flux Φ de la màquina, a través del corrent d'excitació I_{exc} .

Per a una excitació constant ($\Phi = \text{constant}$):

- si V_L augmenta, llavors augmenta la velocitat n .
- si V_L disminueix, llavors disminueix la velocitat n .

Per a una tensió V_L constant podem modificar la velocitat n actuant sobre el circuit inductor:

- si I_{exc} augmenta, llavors augmenta el flux Φ i disminueix la velocitat n .
- si I_{exc} disminueix, llavors disminueix el flux Φ i augmenta la velocitat n .

4.- Inversió del sentit de gir.

La inversió de la polaritat de les connexions de l'inductor o de l'induït, provoca la inversió del sentit de gir del motor.

5.- Motor amb càrrega.

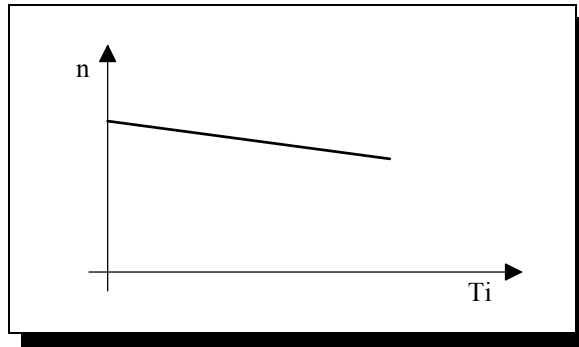
Quan es connecta una càrrega el motor ha de proporcionar un parell per arrossegar-la. Sabem que el parell intern és proporcional al corrent de l'induït:

$$T_i = K' \cdot \Phi \cdot I_i$$

L'equació de la velocitat és:

$$n = \frac{E}{K \cdot \Phi} = \frac{V_L - R_i \cdot I_i}{K \cdot \Phi}$$

D'aquestes equacions es dedueix que, per una tensió V_L i un flux Φ constants, la velocitat n disminuirà linealment amb el parell intern T_i . Efectivament, si augmenta el parell T_i augmenta proporcionalment el corrent d'induït I_i , i això provoca una disminució de la velocitat n .



Ara bé, aquest parell intern T_i no serà el parell disponible a la sortida ja que fins ara no s'han tingut en compte les pèrdues que, com en tota màquina es poden classificar en tres tipus: elèctriques, magnètiques i mecàniques. Així doncs, el parell de sortida o parell útil T_u serà inferior al parell intern T_i .

REALITZACIÓ PRÀCTICA



Material:

- 1 motor AL-506.
- 1 reòstat de 100 Ω .
- cables de connexió.
- 2 voltímetres.
- 1 pinces amperimètriques.
- 1 tacòmetre òptic.

Objectius:

- Conèixer el funcionament com a motor de la màquina de corrent continu.
- Conèixer el procediment d'arrencada del motor de corrent continu.
- Conèixer com es pot variar la velocitat del motor de corrent continu.
- Conèixer com es pot invertir el sentit de gir del motor.

Muntatge:

Motor AL-506 connectat amb excitació independent. Els circuits de l'inductor i de l'induït estaran connectats a les respectives alimentacions de dues bancades. Així les dues tensions es podran regular independentment.

El motor treballarà en buit (sense càrrega).

Inicialment tindrem un reòstat de 100 Ω connectat al circuit de l'induït.

Procediment:

1.- Farem una primera arrencada del motor utilitzant el reòstat de l'induït. Connectem primer l'excitació al valor nominal; després amb la tensió d'alimentació de l'induït en valor nominal i amb el reòstat amb tota la resistència, arrenquem. Progressivament anem curtcircuitant el reòstat fins assolir el punt de funcionament nominal.

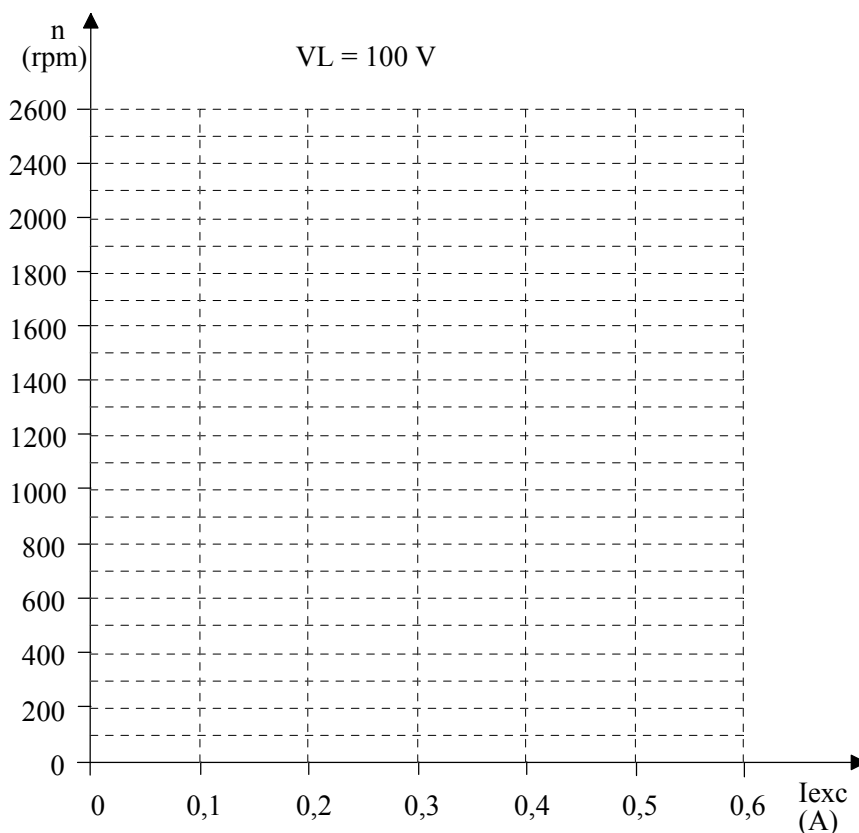
2.- Parem el motor. Ara farem una altra arrencada que serà equivalent a l'anterior. Eliminem el reòstat i posem a 0 V l'alimentació del circuit de l'induït. Comencem connectant primer l'excitació; després anem augmentant progressivament la tensió de l'induït fins assolir el valor nominal.

L'objectiu d'aquesta repetició de l'arrencada és posar de manifest l'equivalència dels dos procediments. El que volem és que en el moment inicial de l'arrencada el corrent de l'induït estigui controlat i no sobrepassi els valors pels quals ha estat dissenyada la màquina. Si es disposa d'una font d'alimentació regulable no tenim més que començar des de 0 V i anar pujant la tensió; en aquest cas, el corrent inicial és 0 A. Si la font d'alimentació és de tensió fixa, intercalant un reòstat en el circuit, reduïm fins a valors acceptables el corrent inicial.

3.- Fem funcionar el motor a una tensió d'induït fixa de $V_L = 100\text{ V}$ i un corrent d'excitació de $I_{exc} = 0,6\text{ A}$. A partir d'aquest punt comprovem la variació de la velocitat del motor modificant el corrent d'excitació. Omplim la taula de resultats.

VL = 100 V						
I _{exc}	0,1 A	0,2 A	0,3 A	0,4 A	0,5 A	0,6 A
n						

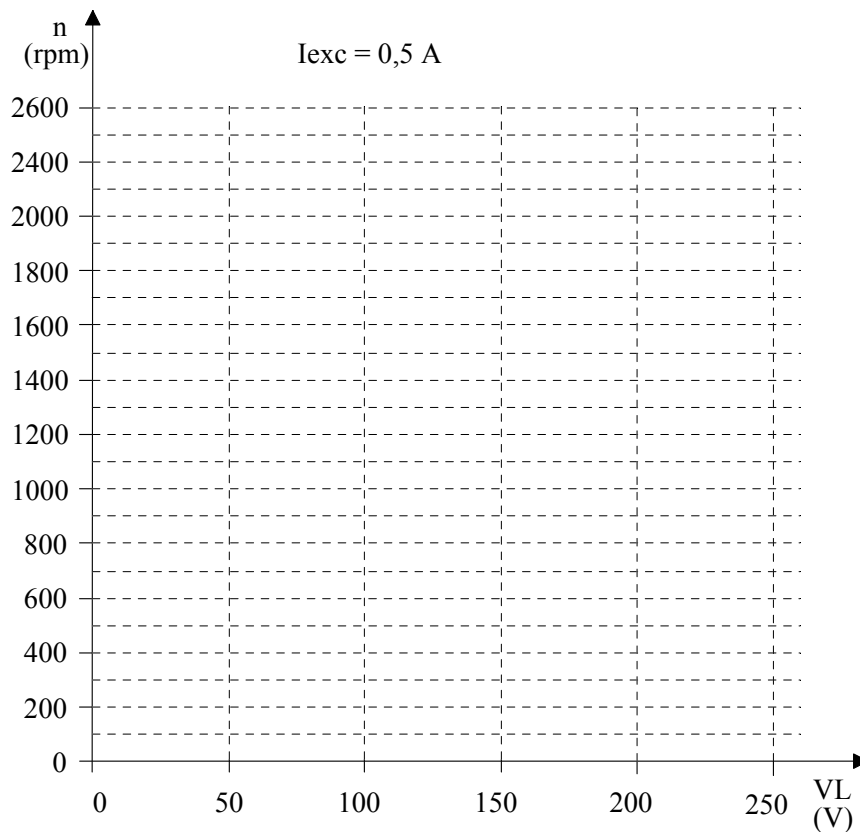
Representeu gràficament els resultats anteriors:



4.- Fem funcionar el motor amb un corrent d'excitació fix de $i_{exc} = 0,5 \text{ A}$ i una tensió d'induït de $V_L = 250 \text{ V}$. A partir d'aquest punt comprovem la variació de la velocitat del motor modificant la tensió de l'induït. Omplim la taula de resultats.

$i_{exc} = 0,5 \text{ A}$					
V_L	50 V	100 V	150 V	200 V	250 V
n					

Representeu gràficament els resultats anteriors:



5.- Comprovarem la inversió del sentit de gir del motor, invertint la polaritat d'una o altra de les tensions d'alimentació.

MÀQUINA ASÍNCRONA MOTOR D'INDUCCIÓ TRIFÀSIC

1.- Introducció.

El motor asíncron, també conegut com motor d'inducció trifàsic, és el tipus de motor més utilitzat degut al seu baix cost i absència de manteniment, gràcies a la seva robustesa i a la simplicitat dels seus elements.

Tradicionalment, els seu ús s'estenia a totes aquelles aplicacions on no es requeria regulació de la velocitat, mentre que per aquests casos s'utilitzava preferentment el motor de corrent continu, el qual presenta una còmoda regulació, però un important cost de manteniment. Modernament, la introducció dels variadors electrònics de velocitat per a motors d'inducció, va desplaçant en la majoria d'aplicacions als motors de corrent continu.

El motor asíncron està constituït per una part fixa anomenada estator, sobre el que es disposen tres debanats alimentats per un sistema trifàsic, i una part mòbil al seu interior anomenada rotor, que conté una sèrie d'espores.

Per la forma constructiva del rotor els motors d'inducció es classifiquen en dos tipus: rotor en curtcircuit i rotor bobinat.

En el rotor en curtcircuit, també anomenat "gàbia d'esquirol", les espores estan formades per una sèrie de barres conductores paral·leles i curtcircuitades en els seus extrems per dues corones circulars també conductores. Tota aquesta gàbia conductora està embotida en un cilindre de material ferromagnètic. Aquesta forma constructiva és molt simple i robusta.

El rotor bobinat està format per tres debanats, generalment connectats en estrella, els extrems dels quals es porten a la placa de borns mitjançant un sistema de tres anells muntats sobre l'eix i unes escombretes per mantenir el contacte mentre gira. Aquest sistema constructiu s'utilitza únicament per a motors de grans potències.

2.- Principi de funcionament.

L'alimentació trifàsica dels debanats de l'estator produeix un camp magnètic giratori a l'entreferro.

Aquest camp magnètic giratori indueix unes forces electromotrius en els conductors del rotor, les quals donen lloc a uns corrents a les espores del rotor.

Aquests corrents en el si del camp magnètic giratori produeixen unes forces i , per tant, un parell que fa girar el rotor en el sentit de gir del camp magnètic giratori.

Altrament, els corrents elèctrics que circulen pel rotor produeixen un altre camp magnètic, el camp magnètic del rotor, que també és giratori amb la mateixa velocitat que el camp magnètic giratori de l'estator.

La composició dels dos camps, el de l'estator i el del rotor, dóna lloc al camp magnètic giratori total. La velocitat de gir d'aquest camp s'anomena velocitat de sincronisme n_s , i ve donada per l'expressió següent:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p}$$

n_s : velocitat de sincronisme expressada en r.p.m. (revolucions per minut).

f : freqüència de l'alimentació trifàsica.

p : nombre de parells de pols en què s'organitzen els debanats de l'estator.

Quan el rotor gira ho fa a una velocitat n inferior a la de sincronisme ($n < n_s$). Es comprèn que si n igualés a n_s llavors no hi hauria variació de flux magnètic sobre les espires del rotor, s'anul·laria el corrent sobre aquestes i desapareixeria la força i el parell que el fa girar.

El nom de motor asíncron ve del fet que la velocitat real del motor és diferent de la velocitat de sincronisme. El nom de motor d'inducció ve del fet que el rotor no és alimentat des de l'exterior sinó que els seus corrents han estat induïts per l'estator.

Es defineix el lliscament s , com la variació relativa de la velocitat del motor respecte de la de sincronisme; es pot expressar també en percentatge.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$s(\%) = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100$$

La velocitat n es pot escriure com:

$$n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - s) \cdot \frac{f \cdot 60}{p}$$

En repòs, $n = 0$ i $s = 1$.

En buit, la velocitat del motor s'aproxima a la de sincronisme i s s'aproxima a 0.

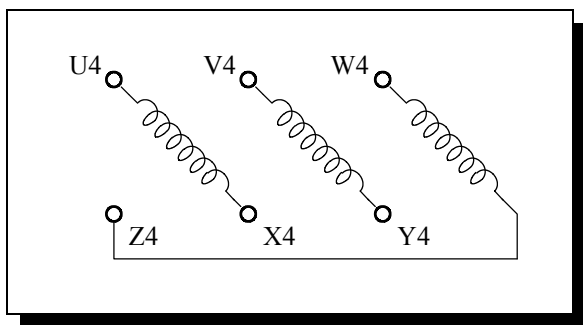
A mesura que es carrega el motor, aquest ha de fer front a un parell més elevat, perd velocitat i s'incrementen els corrents. Augmenta el lliscament.

Tal com es pot observar a l'equació que defineix n , per modificar la velocitat del motor tenim tres possibilitats:

- variar el nombre de parell de pols p significa commutar les connexions dels debanats. Això permet una variació discreta entre uns pocs valors.
- la segona possibilitat és la variació de la freqüència. En aquest principi es fonamenten els moderns variadors electrònics de velocitat dels motors asíncrons. La variació de velocitat proporcionada és continua i de gran qualitat.
- variar el lliscament s . L'ús de resistències rotòriques en els motors de rotor bobinat permet aquest tipus de variació.

3.- Motor AL-206.

El motor didàctic AL-206 és un motor amb rotor en gàbia d'esquirol. A l'estator existeixen superposats un joc de debanats de 4 pols i un altre joc de debanats, que rep el nom de Dhalander, que permet la configuració en 6 o en 12 pols. A la placa de borns tenim els extrems de tots aquests debanats de l'estator.

4.- Debanats de 4 pols.

Identifiquem els 3 debanats:

U4 - X4

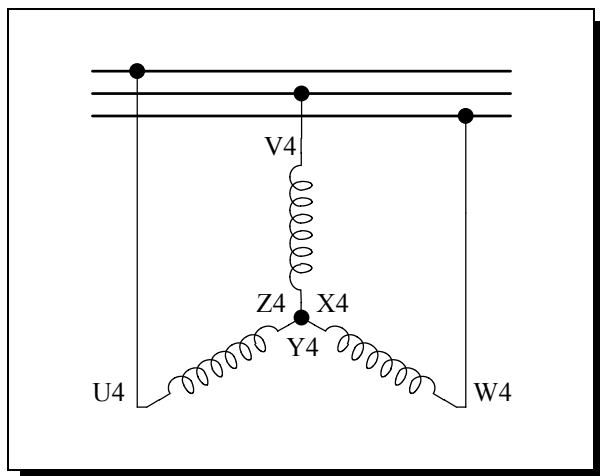
V4 - Y4

W4 - Z4

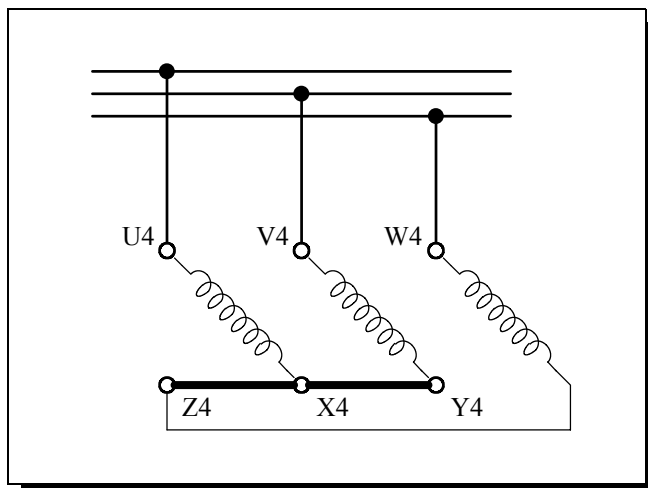
Els debanats del motor d'inducció trifàsic admeten dues configuracions: estrella i triangle.

4.1.- Configuració estrella Y .

Es tracta de disposar els debanats en forma d'estrella.

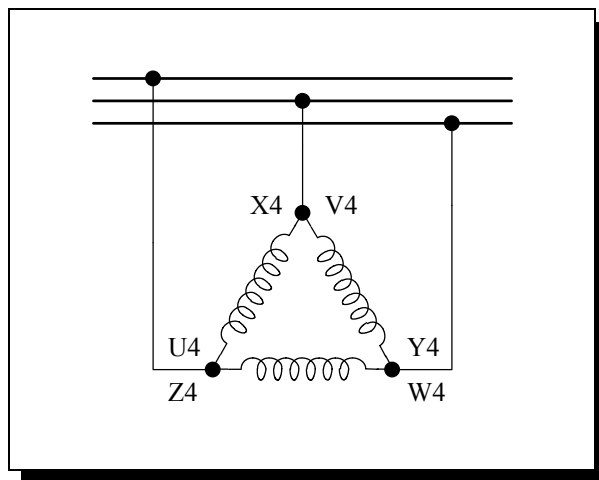


Per aconseguir aquesta configuració cal disposar a la placa de borns les connexions que es mostren a la figura i que consisteixen en dos ponts en sentit horitzontal que connecten els borns X4, Y4 i Z4.

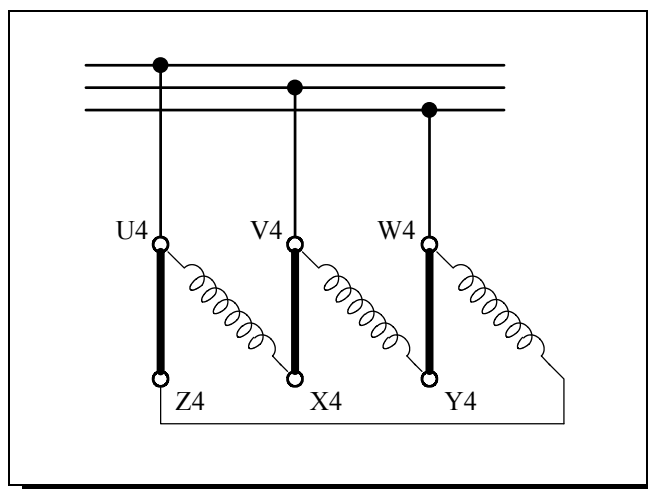


4.2.- Configuració triangle Δ .

Es tracta de disposar els debanats en forma de triangle.



Per aconseguir aquesta configuració cal disposar a la placa de borns les connexions que es mostren a la figura i que consisteixen en 3 punts en sentit vertical que connecten U4 amb Z4, V4 amb X4 i W4 amb Y4.



4.3.- Tensions i corrents de línia i de fase.

Les magnituds de línia es refereixen al sistema trifàsic d'alimentació.

V_L : Tensió de línia: tensió composta del sistema trifàsic.

I_L : Corrent de línia: corrent en qualsevol de les tres línies del sistema trifàsic.

Les magnituds de fase es refereixen als debanats del motor.

V_f : Tensió de fase: tensió en qualsevol dels debanats del motor.

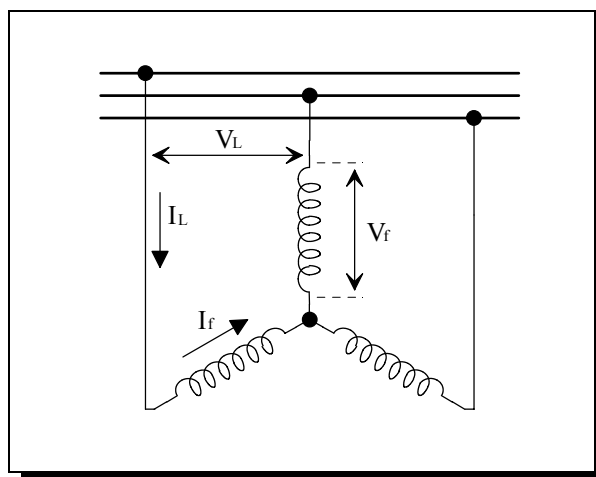
I_f : Corrent de fase: corrent en qualsevol dels debanats del motor.

En configuració estrella:

Fàcilment es pot comprovar que corrent de línia i corrent de fase són la mateixa cosa. Es pot demostrar la relació de $\sqrt{3}$ entre la tensió de línia i la tensió de fase.

$$I_L = I_f$$

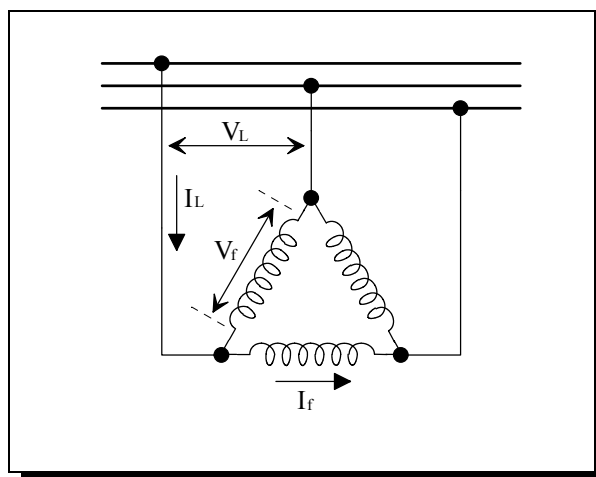
$$V_L = \sqrt{3} \cdot V_f$$

En configuració triangle:

Fàcilment es pot comprovar que tensió de línia i tensió de fase són la mateixa cosa. Es pot demostrar la relació de $\sqrt{3}$ entre el corrent de línia i el corrent de fase.

$$I_L = \sqrt{3} \cdot I_f$$

$$V_L = V_f$$



A partir de tot el que s'ha explicat es comprèn que els motors d'inducció trifàsics tinguin dues tensions d'alimentació, que guarden entre elles una proporció $\sqrt{3}$. Si tenim un sistema d'alimentació a la tensió inferior connectarem el motor en configuració triangle. Si tenim un sistema d'alimentació a la tensió superior connectarem el motor en configuració estrella.

En el cas del motor AL-206 aquestes tensions són 220 / 380 V. Si tenim 220 V connectarem en triangle; si tenim 380 V connectarem en estrella. En ambdós casos la tensió dels debanats serà de 220 V.

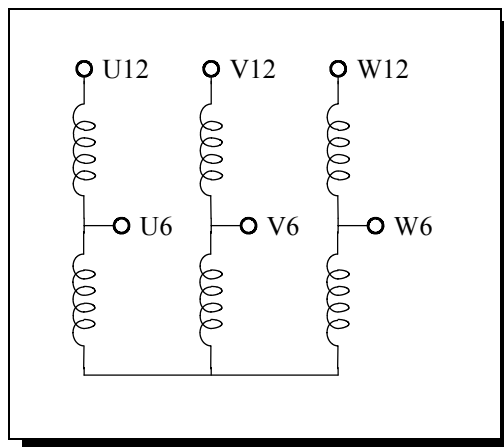
La velocitat de sincronisme del motor utilitzant els debanats de 4 pols, independentment de si la connexió és en estrella o en triangle, serà:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{2} = 1500 \text{ rpm}$$

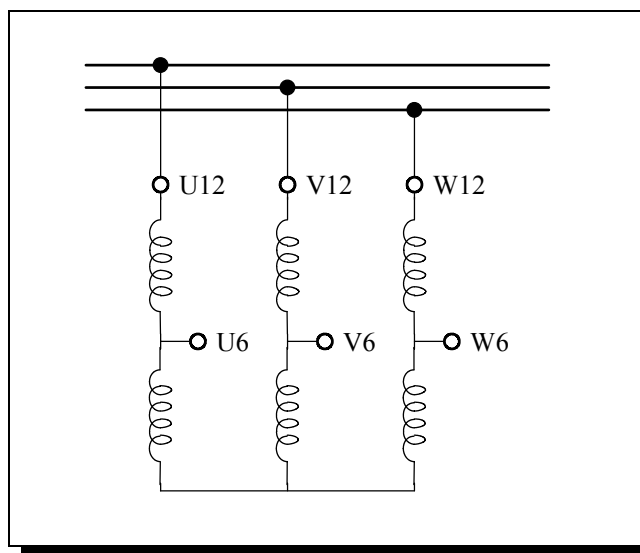
5.- Dhalander.

S'utilitzen debanats amb dues meitats. Mitjançant un simple canvi de connexions s'aconsegueixen dues velocitats que estan en la relació 2:1.

A la placa de borns podem observar la disposició dels debanats. Els extrems inferiors estan ja units interiorment i se'ns presenten, per fer les connexions, els extrems superiors i els punts intermedis dels debanats.

5.1.- Configuració estrella de 12 pols.

Connectant l'alimentació trifàsica als borns U12, V12 i W12, i sense necessitat de fer cap pont, obtenim una connexió estrella de 12 pols.

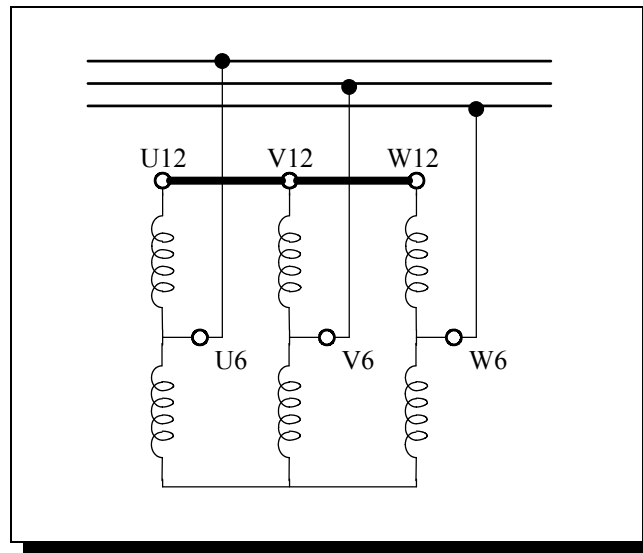


La velocitat de sincronisme serà:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{6} = 500 \text{ rpm}$$

5.2.- Configuració doble estrella de 6 pols.

Connectem l'alimentació trifàsica als borns U6, V6 i W6, i mitjançant dos ponts connectem els extrems superiors dels debanats, U12, V12 i W12. Es pot observar que aquesta configuració forma una estrella per la part inferior i una altra estrella per la part superior, d'aquí el nom de doble estrella.



La velocitat de sincronisme serà:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} = \frac{50 \cdot 60}{3} = 1000 \text{ rpm}$$

6.- Arrencada dels motors asíncrons.

En el moment de l'arrencada dels motors d'inducció trifàsics es produeix un pic de corrent elevat que pot arribar a ser de 6 a 8 vegades el valor del corrent nominal.

Per motors de potències petites això pot no ser un problema, però per motors de mitjana i gran potència, aquesta és una circumstància que s'ha d'evitar o atenuar, fonamentalment per dos motius: a) la pròpia sobrecàrrega de les línies d'alimentació; b) la caiguda de tensió provocada en aquestes línies pot perjudicar altres càrregues connectades a la mateixa xarxa.

Els mètodes per limitar el corrent d'arrencada són diversos:

En motors de rotor bobinat es connecta una resistència trifàsica als borns del rotor. S'arrenca amb la màxima resistència i, un cop arrencat, es curtcircuiten progressivament les resistències fins arribar a anul·lar-les. A més a més de limitar el corrent d'arrencada, aquest sistema es caracteritza per oferir un alt parell d'arrencada.

En motors de rotor en curtcircuit hi ha diverses opcions:

Autotransformador. S'arrenca amb poc voltatge i progressivament es va augmentant fins arribar a la tensió nominal.

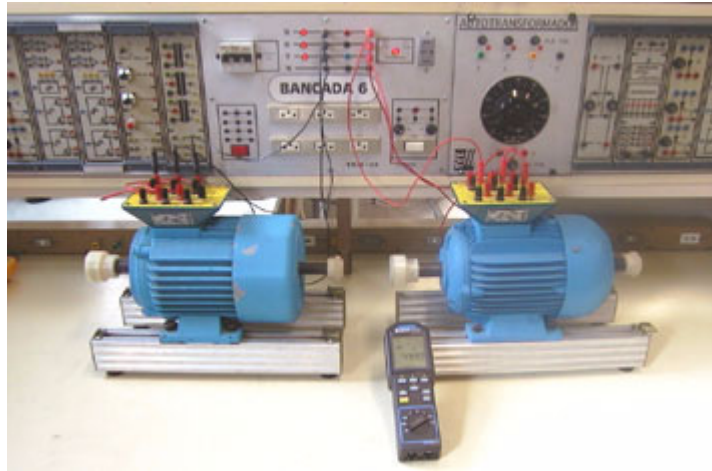
Arrencador estrella-triangle. En motors que hagin de ser connectats en triangle en règim nominal, si efectuem l'arrencada en estrella les tensions sobre cada bobina són $1/\sqrt{3}$ vegades la nominal, amb la qual cosa disminuïm el pic de corrent. Un cop el motor s'ha posat en marxa es canvia el connexionat a triangle mitjançant un automatisme.

Alguns motors es fabriquen amb una doble gàbia d'esquirol; un enginyós sistema de limitació del corrent d'arrencada que permet la connexió directa sense més precaucions.

7.- Inversió del sentit de gir.

Si, en qualsevol de les configuracions dels debanats de l'estator, invertim dues de les tres fases de l'alimentació trifàsica, s'inverteix el sentit de gir del camp magnètic giratori, i s'inverteix, per tant, el sentit de gir del motor.

REALITZACIÓ PRÀCTICA

Material:

- 2 motors AL-206. En el primer motor s'utilitzen els debanats de 4 pols per fer les connexions estrella i triangle i veure la inversió del sentit de gir. El segon motor és per fer les connexions Dhalander de 6 i 12 pols.
- Cables per fer els ponts.
- Cablejat d'alimentació dels motors.
- 2 Voltímetres per mesurar tensions.
- 1 Pines amperimètriques per mesurar corrents.
- 1 Tacòmetre òptic per mesurar la velocitat de gir.

Objectius:

- Conèixer les configuracions estrella i triangle per a la connexió d'un motor asíncron.
- Saber decidir la configuració adequada (estrella o triangle) a partir de les tensions nominals del motor i de la tensió del sistema trifàsic d'alimentació.
- Conèixer com es pot invertir el sentit de gir d'un motor asíncron.
- Conèixer les configuracions de la connexió Dhalander.
- Observar com la velocitat del motor depèn del nombre de pols.

Muntatge:

En el primer motor provarem les configuracions, primer estrella i després triangle, en els debanats de 4 pols.

En el segon motor provarem les dues configuracions de la connexió Dhalander, en els debanats de 6 i 12 pols.

En ambdós casos la connexió a l'alimentació trifàsic serà directa.

Procediment primer motor:

- 1.- Càlcul de la velocitat de sincronisme amb el motor connectat als debanats de 4 pols.

2.- Amb el motor en configuració estrella, mesurem la tensió de línia, la tensió de fase, el corrent de línia, el corrent de fase i la velocitat de gir del motor.

3.- Repetim les mesures amb el motor en configuració triangle.

4.- Llegint la placa de característiques del motor apunteu les dues tensions nominals de funcionament del motor. Apunteu el valor de la tensió del sistema trifàsic d'alimentació (tensió composta). Quina és la configuració (estrella o triangle) apropiada en aquest cas?

5.- Amb el motor en configuració triangle, fem les modificacions per a que el motor inverteixi el sentit de gir.

Procediment segon motor:

6.- Càlcul de la velocitat de sincronisme amb el motor en configuració Dhalander de 6 pols.

7.- Càlcul de la velocitat de sincronisme amb el motor en configuració Dhalander de 12 pols.

8.- Mesurem la velocitat de gir del motor en les dues configuracions, de 6 i de 12 pols.

Resultats:

Connexió del motor		Tensió línia	Tensió fase	Corrent línia	Corrent fase	Velocitat real	Velocitat sincronisme
4 pols	estrella						
	triangle						
Dhalander	6 pols						
	12 pols						

Placa de característiques	Sist. trifàsic d'alimentació	Connexió motor
Tensions nominals	Tensió composta	Configuració
/		

Preguntes:

Com s'inverteix el sentit de gir d'un motor?	
Perquè la velocitat real és sempre inferior a la velocitat de sincronisme?	

MÀQUINA ASÍNCRONA MOTOR ASÍNCRON AMB CÀRREGA

A la pràctica anterior hem vist funcionar els motors asíncrons, però sempre en buit. En realitat, els motors els volem per fer algun treball. A partir de l'eix rotatori, i mitjançant transmissions mecàniques, volem moure, desplaçar, arrossegar, elevar, bombejar, etc., etc. objectes materials. En definitiva, volem obtenir un treball mecànic, una potència mecànica. L'essència d'un motor elèctric és transformar energia elèctrica en energia mecànica; és a dir, per poder proporcionar aquesta potència mecànica, el motor absorbeix potència elèctrica de la seva alimentació.

Com en tota transformació energètica existeixen unes pèrdues. Les pèrdues es defineixen com la diferència entre la potència absorbida i la potència útil subministrada. Nosaltres podem constatar aquestes pèrdues en un motor funcionant, per exemple apreciant que el motor s'escalfa i que fa soroll. Lògicament, interessa que aquestes pèrdues siguin les menors possible. Per donar una mesura del grau d'eficiència d'una màquina es defineix el rendiment com la relació en percentatge entre la potència útil subministrada i la potència absorbida.

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{absorbida}}} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad \eta : \text{rendiment}$$

Com més pròxim estigui el rendiment del 100 % més eficient és la màquina.

Tractant-se d'una màquina rotatòria, la magnitud utilitzada per caracteritzar aquesta capacitat de realitzar un treball mecànic és el parell.

En un motor funcionant amb el seu eix acoblat a una càrrega mecànica parlem de parell motor i de parell resistent.

El parell motor és el parell proporcionat pel motor.

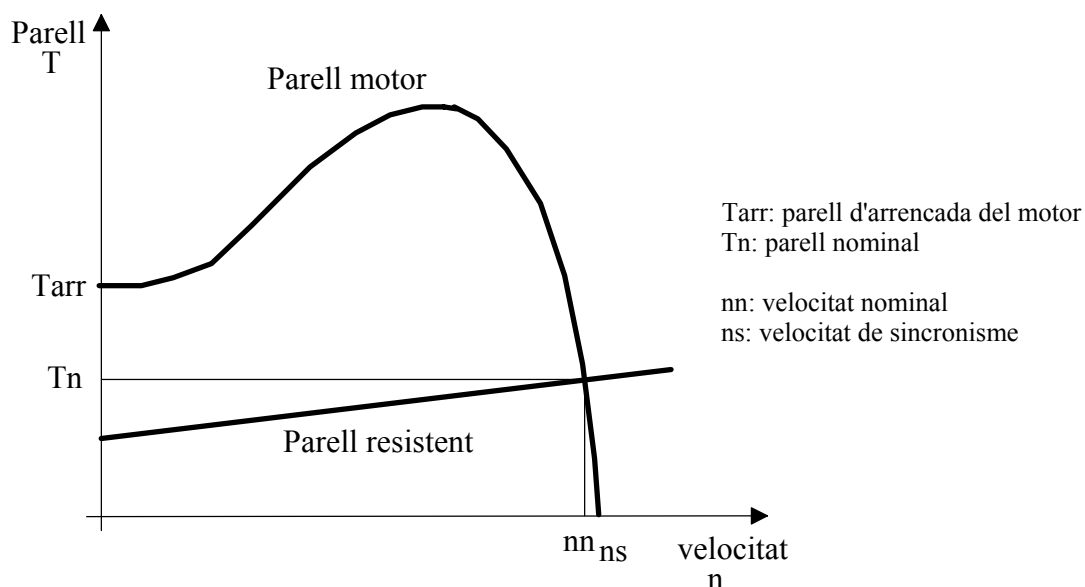
El parell resistent és el parell que la càrrega oposa al moviment.

Si el parell motor és més gran que el parell resistent, la màquina s'accelera.

Si el parell motor és més petit que el parell resistent, la màquina es frena.

Quan la màquina està funcionant a una velocitat constant diem que estem en règim permanent; en aquesta situació el parell motor i el parell resistent s'han equilibrat.

A la gràfica següent tenim un exemple on es representa el parell motor i el parell resistent respecte la velocitat de gir, d'un motor i la seva càrrega.



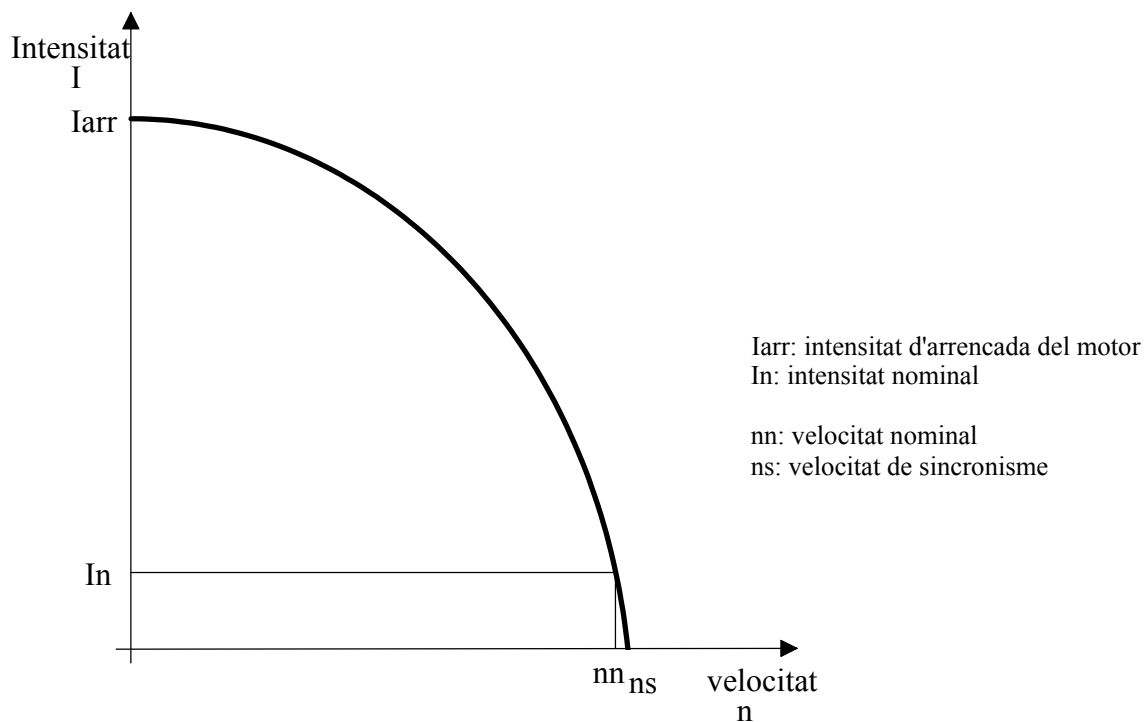
En el moment de l'arrencada el parell motor és superior al parell resistent; això vol dir que el motor arrencarà i començarà a girar.

Observant la gràfica, veiem que a mesura que el motor s'accelera i va augmentant la seva velocitat existeix un diferencial a favor del parell motor que farà accelerar i augmentar encara més la velocitat del motor.

Existeix un punt d'equilibri, quan les gràfiques del parell motor i del parell resistent coincideixen. Si la velocitat tendeix a augmentar per sobre d'aquest punt, el diferencial serà en aquest cas favorable al parell resistent i el motor tendirà a frenar i reduir la seva velocitat. Així, doncs, aquest punt és un punt d'equilibri i ens mostra la velocitat estable de règim permanent que assolirà el motor després del transitori d'arrencada.

Un motor s'ha de seleccionar d'acord amb la càrrega a que s'ha de connectar. Si la selecció és encertada, el punt d'equilibri anterior serà proper amb els valors nominals del motor, indicats en la seva placa de característiques. Els valors nominals suposen el punt òptim de treball del motor, on el rendiment és molt alt. El disseny del motor s'ha fet pensant en què aquest sigui el punt de treball. Aquests valors nominals també se'ls coneix com "a plena càrrega".

Una altra característica important del motor és la que representa el corrent de línia absorbit respecte la velocitat.

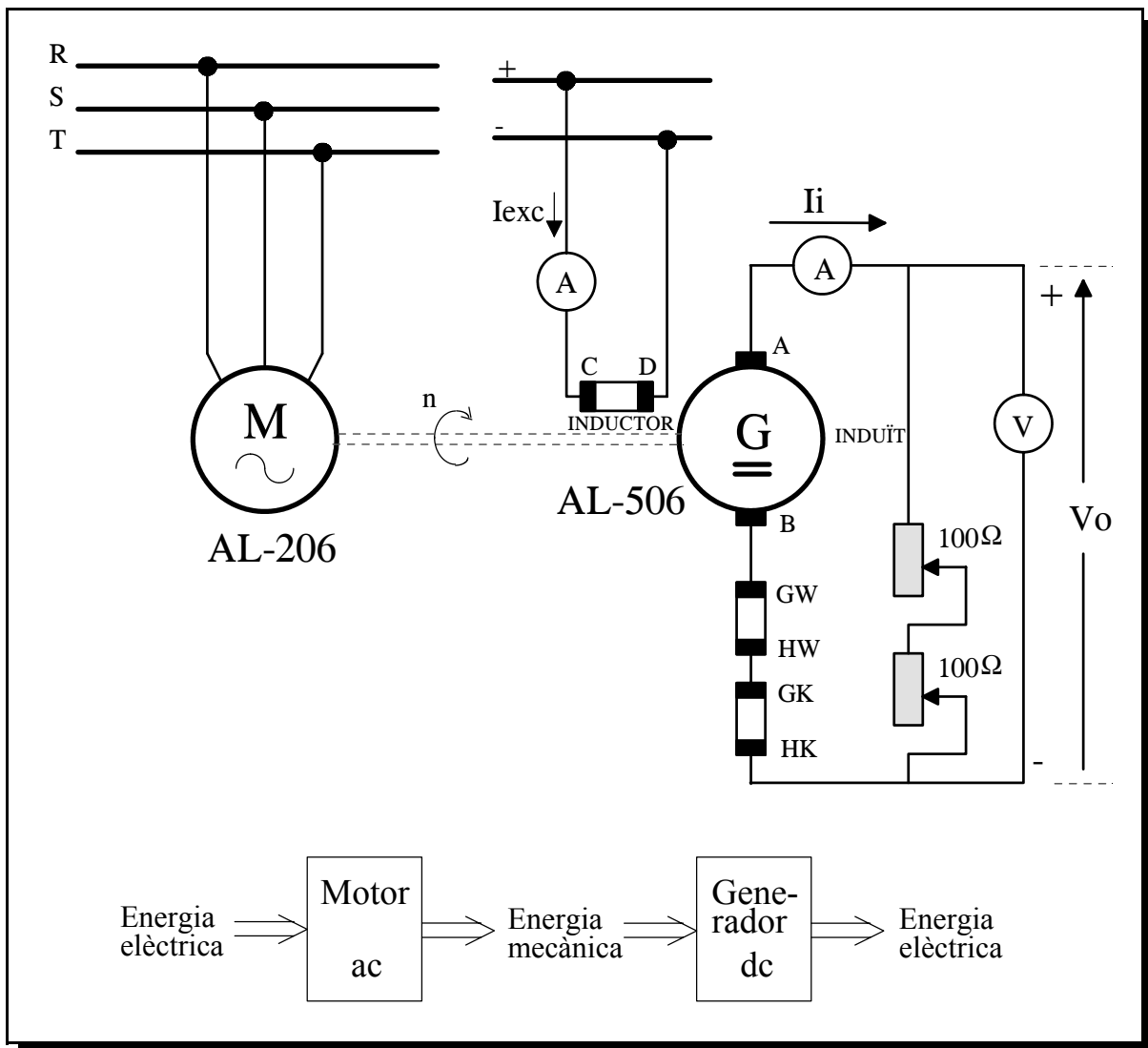


Observem els valors nominals i l'elevat valor del corrent d'arrencada.

Generador de corrent continu com a càrrega d'un motor de corrent altern.

En el laboratori de màquines elèctriques tenim una manera prou simple de posar a prova un motor asíncron amb càrrega, sense necessitat d'acoblar-li artefactes mecànics.

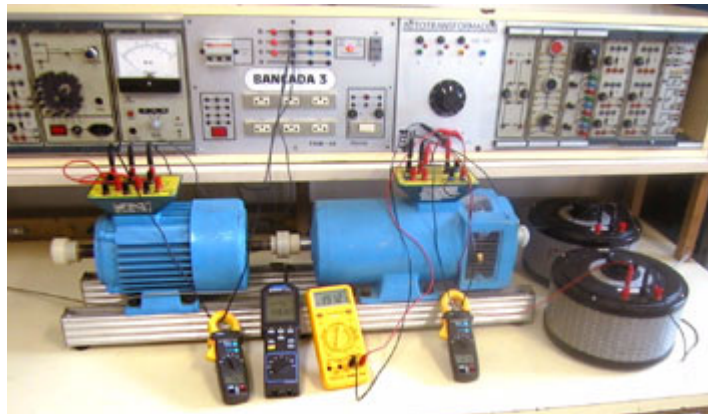
Es tracta de connectar-li un generador de corrent continu. De fet, el muntatge és exactament el mateix que hem utilitzat per estudiar el generador de corrent continu. En aquell cas, la màquina a estudiar era el generador de corrent continu i el motor asíncron era un element auxiliar per proporcionar rotació a l'eix. Ara, la màquina a estudiar serà el motor asíncron i el generador de corrent continu serà un element auxiliar per proporcionar un parell resistent. El generador de corrent continu actua com a càrrega per al motor de corrent altern. Efectivament, la major part de la potència elèctrica consumida pels reòstats de càrrega del generador de corrent continu és absorbida de la potència mecànica que subministra el motor de corrent altern. Per subministrar aquesta potència mecànica, el motor de corrent altern absorbeix potència elèctrica de la seva alimentació trifàsica.



Així, doncs, modificant els reòstats de càrrega del generador de corrent continu, modifiquem el parell resistent que tota la màquina de corrent continu presenta com a càrrega al motor de corrent altern.

Això significa que podem modificar el punt de treball del motor asíncron, ja que un augment del parell resistent representa una disminució de la velocitat i un augment del corrent i de la potència elèctrica absorbida.

REALITZACIÓ PRÀCTICA



Material:

- 1 motor AL-206.
- 1 generador AL-506.
- 2 reòstats de 100Ω .
- cables de connexió.
- 1 watímetre trifàsic.
- 2 voltímetre.
- 3 pinces amperimètriques.
- 1 tacòmetre òptic.

Objectius:

- Conèixer el funcionament amb càrrega del motor de corrent altern.
- Comprovar com afecta la variació de la càrrega (parell resistent) a la velocitat del motor i al corrent i potència absorbides.

Muntatge:

Motor AL-206 connectat en configuració triangle. Connectem el watímetre per mesurar la potència elèctrica absorbida, un voltímetre per mesurar la tensió de línia i un amperímetre per mesurar el corrent de línia.

Generador AL-506 amb reòstats de càrrega connectats. Connectem un voltímetre per mesurar la tensió de sortida de l'induït i dos amperímetres, un per mesurar el corrent d'induït i l'altre per mesurar el corrent d'excitació.

Procediment:

- 1.- Posem en marxa les dues màquines. Ajustem el corrent d'excitació al valor $I_{exc} = 0,5 \text{ A}$.

2.- Regulant els reòstats, hem de situar el corrent d'induït I_i als valors indicats a la taula; en cada cas prendrem la mesura de la tensió de sortida (V_o), de la velocitat (n), de la potència d'entrada absorbida (P_e), de la tensió de línia (V_L) i del corrent de línia (I_L).

3.- A partir de les dades anteriors calcularem les altres magnituds sol·licitades a la taula:

$$P_o = I_i \cdot V_o$$

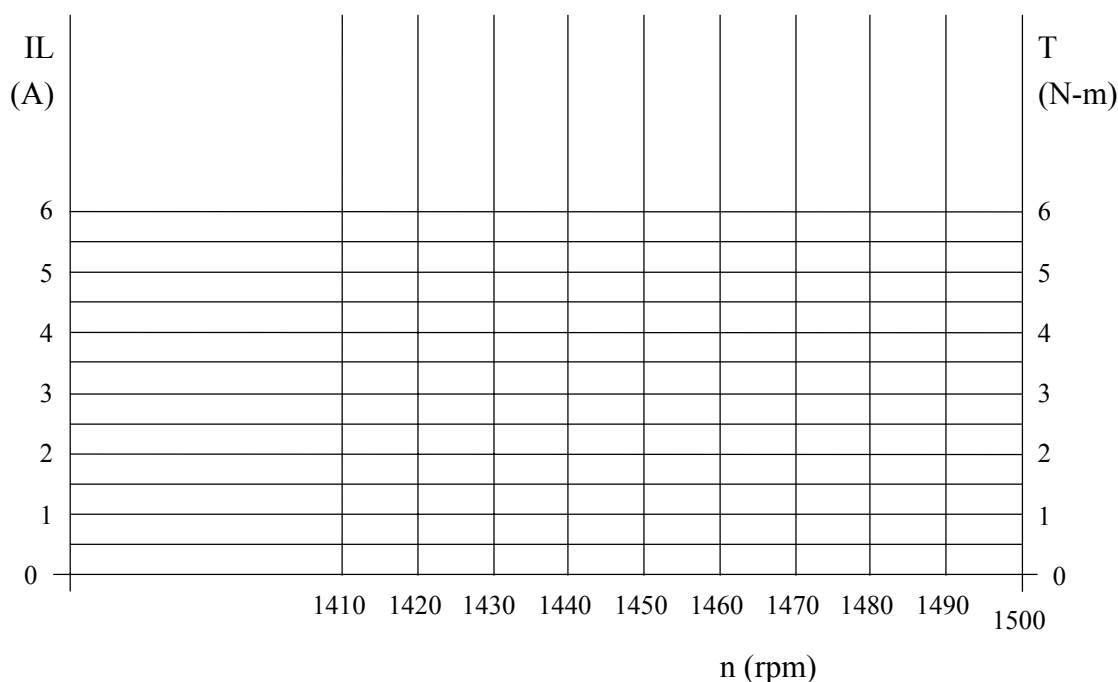
$$\cos \varphi = \frac{P_e}{\sqrt{3} \cdot I_L \cdot V_L}$$

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{P_o}{n \cdot \frac{2\pi}{60}} = \frac{P_o \cdot 30}{n \cdot \pi}$$

I_i	V_o	P_o	n	P_e	V_L	I_L	$\cos \varphi$	s	T
0 A									
1 A									
1,5 A									
2 A									
2,5 A									
3 A									
3,5 A									
4 A									

4.- Comproveu que un augment de la càrrega comporta una reducció de la velocitat del motor i un augment del corrent consumit. Amb les dades de la taula representeu gràficament I_L i T en funció de n .



AUTOMATISMES ELÈCTRICS MARXA/ATURADA. INVERSOR. ESTRELLA-TRIANGLE

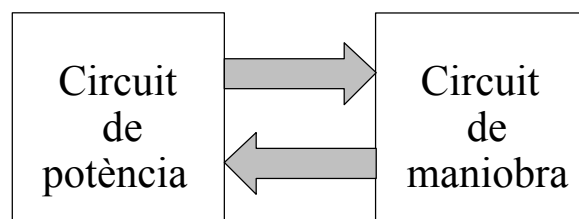
En els muntatges anteriors hem connectat les màquines elèctriques directament a la seva alimentació. En el laboratori això ho fem per simplificar el muntatge, ja que aquest no ha de ser permanent i, a més a més, les seves potències no són, relativament, gaire importants.

En les instal·lacions industrials reals això no és així, i la connexió de les màquines elèctriques no és mai directa sinó indirecta. Això significa que la màquina elèctrica (per exemple, un motor) està en un circuit (anomenat circuit de potència) i l'element de control o accionament d'aquest motor (per exemple, un polsador manual) està en un altre circuit (anomenat circuit de maniobra). Aquests dos circuits elèctrics són independents, estan aïllats elèctricament entre ells i poden ser de característiques molt diferents.

El circuit de potència depèn de la màquina elèctrica; per exemple, si tenim un motor d'inducció trifàsic que ha de funcionar a 380 V necessitarem un sistema trifàsic d'aquesta tensió. En general, es tractarà d'un circuit amb tensions i corrents grans, és a dir, grans potències, d'aquí el seu nom.

El circuit de maniobra pot ser de corrent altern monofàsic o de corrent continu; en qualsevol cas, el valor de la tensió no és gaire elevat (per exemple, 24 V ac o 24 V dc) i els corrents consumits tampoc són gaire grans. És en aquest circuit menys perillós on les persones interactuem per controlar la màquina.

El circuit de maniobra governa el circuit de potència perquè li dona les ordres d'actuació, i a la vegada el circuit de potència informa al circuit de maniobra del seu estat. En conjunt formen un automatisme.



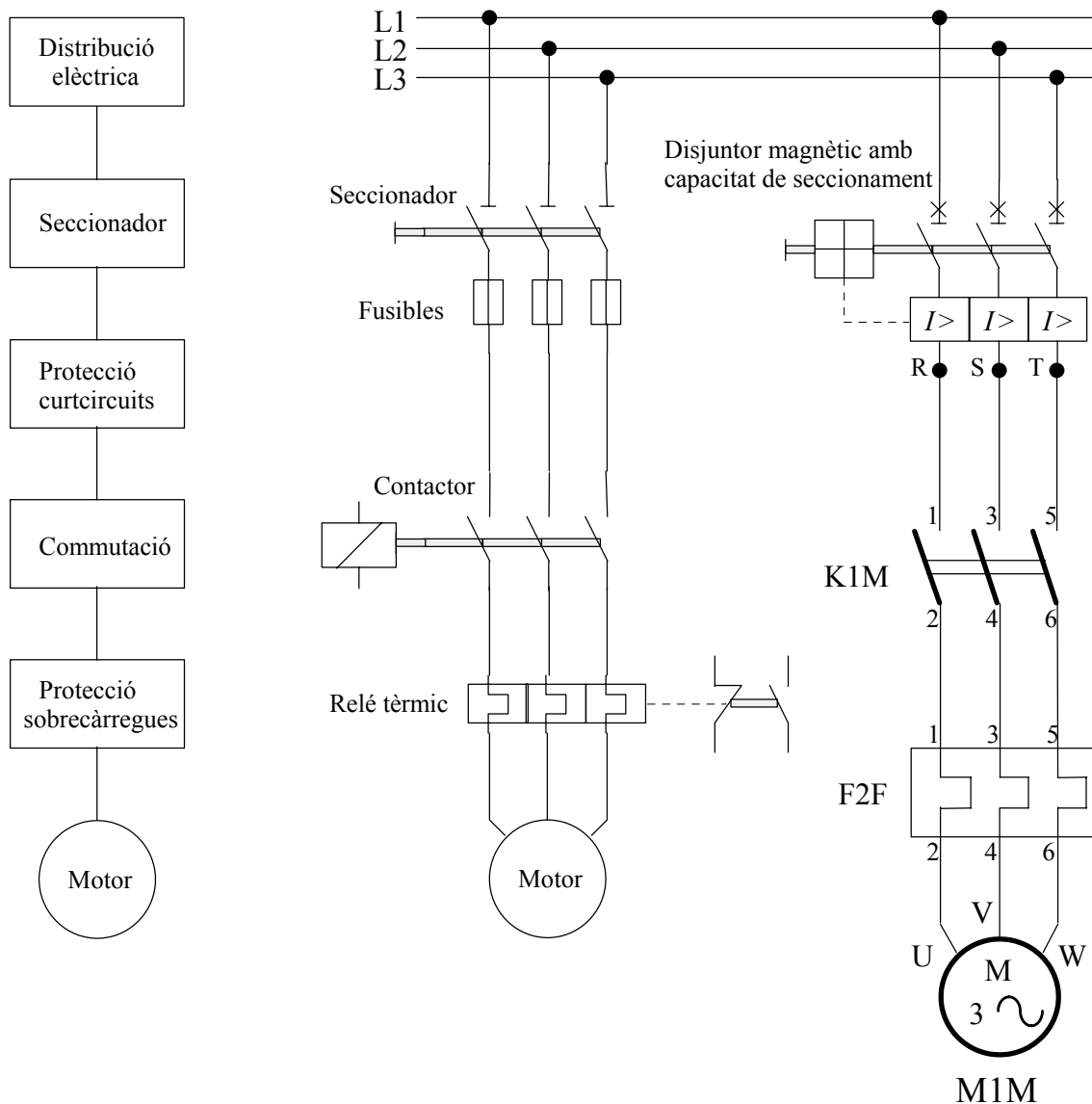
Anem a veure, seguidament, tres dels automatismes elèctrics més clàssics, on podrem observar com estan constituïts els circuits de potència i de maniobra i com es relacionen entre ells.

El primer és el més fonamental; és l'automatisme de posada en marxa i aturada d'un motor d'inducció trifàsic.

El segon és l'inversor del sentit de gir. En aquest cas, a més a més, de posar en marxa i aturar el motor, podem seleccionar el sentit de gir.

Finalment, el tercer és l'arrencador estrella-triangle. En aquest cas els ponts que defineixen la configuració estrella o triangle del motor s'han eliminat, i en el seu lloc tenim dos contactors que faran aquesta funció. L'objectiu és que la posada en marxa del motor es faci en configuració estrella i que al cap d'un temps seleccionat es commuti automàticament a la configuració triangle.

Automatisme de marxa i aturada d'un motor ac. Circuit de potència.



Seccionador: Aïllar la instal·lació de les fonts d'energia.

Protecció contra curtcircuits: Tallar ràpidament el corrent en cas de corrents molt elevats.

Commutació: Tancament i obertura del circuit elèctric. És l'element que executa les ordres del circuit de maniobra.

Protecció contra sobrecàrregues: Detectar les sobrecàrregues mantingudes durant un cert temps. Aquest element informa al circuit de maniobra per a que aquest ordeni l'obertura del circuit de potència.

Automatisme de marxa i aturada d'un motor ac. Circuit de maniobra.

Alimentació de 24 V de corrent altern

F2F: Contactes del relé tèrmic

S0Q: Polsador d'aturada

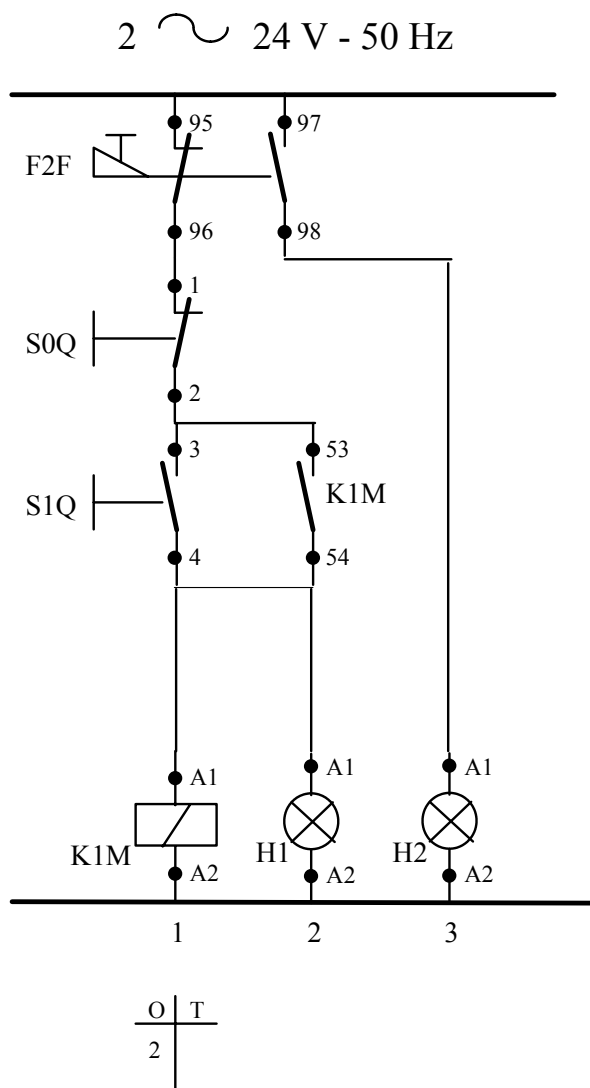
S1Q: Polsador de marxa

K1M: Contacte auxiliar del contactor
per fer l'enclavament

K1M: Bobina del contactor

H1: Pilot de funcionament del motor

H2: Pilot de disparament del relé tèrmic



El contactor enllaça el circuit de maniobra amb el circuit de potència. Consta de:

- una bobina que es connecta en el circuit de maniobra.
- els tres contactes de potència que se situen en el circuit de potència.
- un o més contactes auxiliars utilitzats en el circuit de maniobra.

La funció principal del circuit de maniobra és controlar que passi o no passi corrent per la bobina del contactor. Si circula corrent per la bobina es genera un efecte electroimant que fa commutar la posició de tots els contactes. Si no circula corrent per la bobina desapareix l'efecte electroimant i els contactes recuperen la posició de repòs.

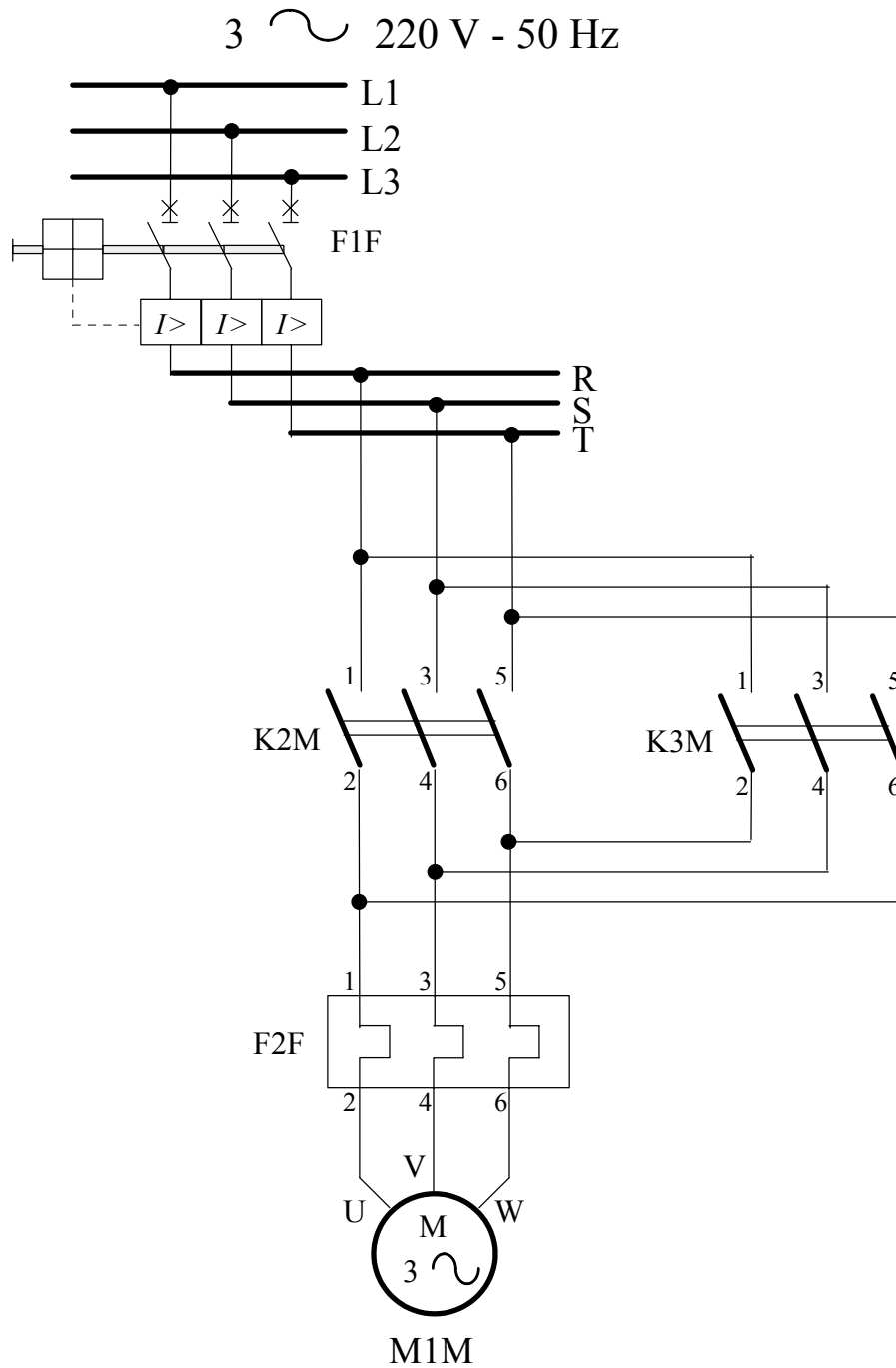
Tota la lògica dels contactes del circuit de maniobra persegueix governar la bobina del contactor. El contacte auxiliar del contactor fa la funció d'enclavament perquè el motor segueixi funcionant després de deixar de prémer el polsador de marxa.

El relé tèrmic també enllaça el circuit de potència amb el circuit de maniobra. Si el relé tèrmic es dispara per sobrecàrrega fa commutar els contactes que té associats i que formen part del circuit de maniobra. El seu efecte és equivalent al del polsador d'aturada, és a dir, interrompre la circulació de corrent per la bobina del contactor i ordenar així l'aturada del motor.

Inversió del sentit de gir. Circuit de potència.

El principi de funcionament d'aquest circuit es fonamenta en què el sentit de gir del motor depèn de l'ordre en què les tres fases es connectin als borns del motor, de tal manera que invertint dues de les tres fases s'aconsegueix la inversió del sentit de gir.

Observant les connexions de l'esquema es pot deduir que si funciona el contactor K1M el motor girarà en un cert sentit, i si funciona el contactor K2M el motor girarà en el sentit contrari.

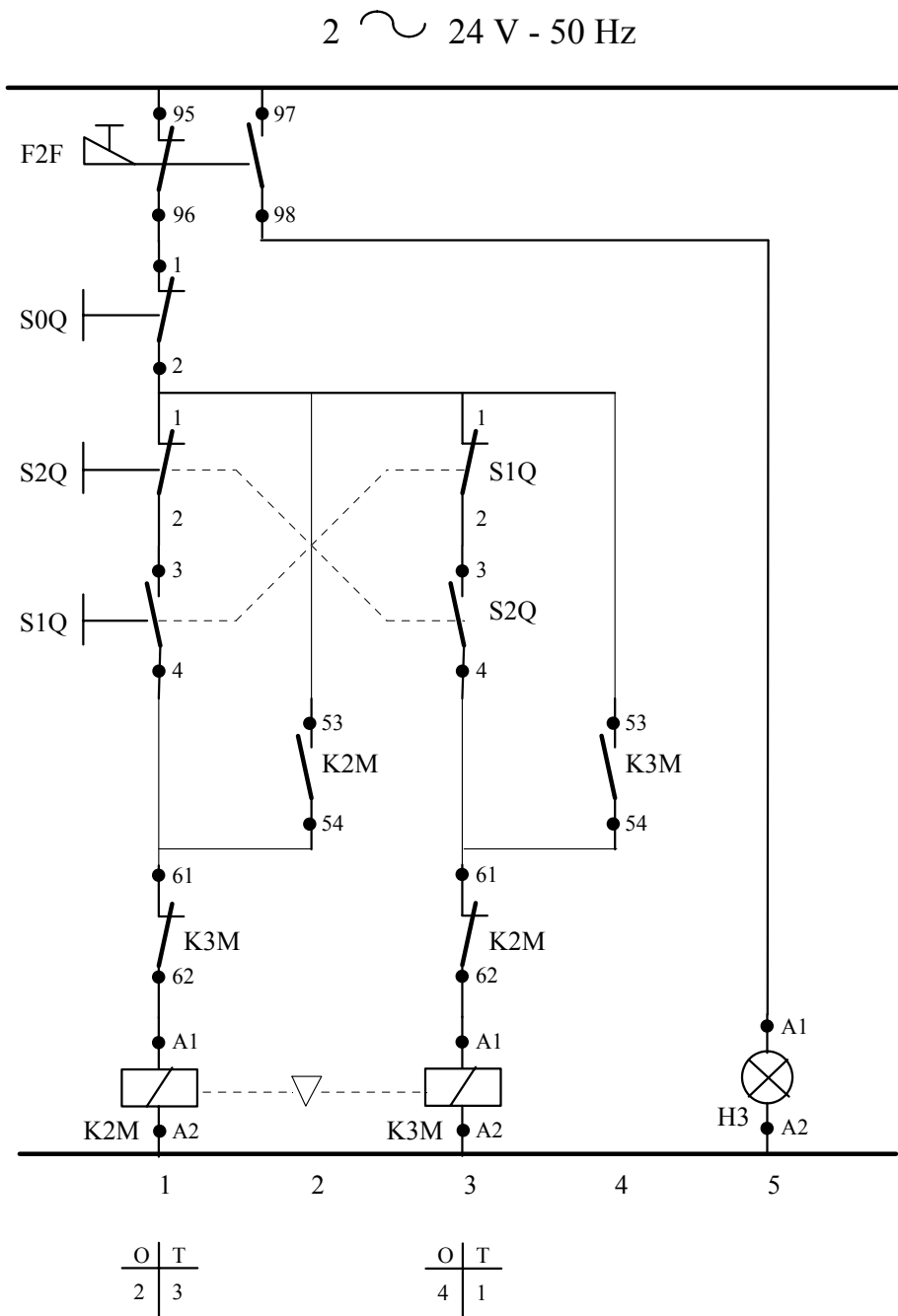


Inversió del sentit de gir. Circuit de maniobra.

Comprovem que el circuit de maniobra s'ha complicat respecte al primer automatisme. Observem les bobines dels dos contactors. Un cop més tota la lògica de control d'aquest circuit persegueix governar les bobines dels contactors per a que funcionin de la manera que hem descrit en el circuit de potència.

Tenim tres pulsadors:

- el pulsador S1Q és el de posada en marxa per girar en un sentit.
- el pulsador S2Q és el de posada en marxa per girar en l'altre sentit.
- el pulsador S0Q és el d'aturada.



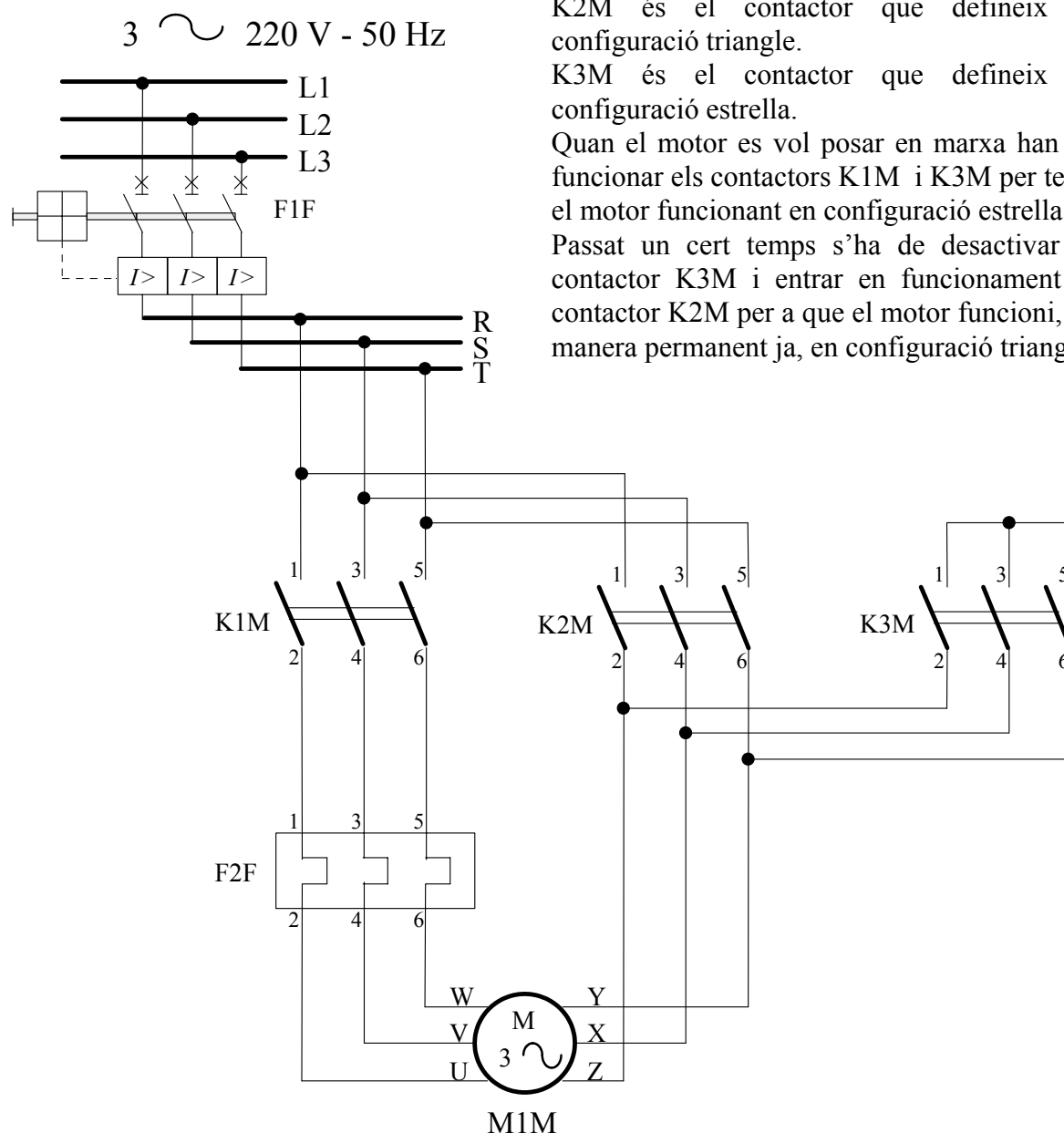
Arrencador estrella-triangle. Circuit de potència.

En l'arrencada d'un motor d'inducció trifàsic la intensitat del corrent pot arribar a pics de valor fins de 6 a 8 vegades el valor nominal, originant sobrecàrregues i caigudes de tensió a les línies que poden sobrepassar els límits tolerables de la instal·lació.

Per aquest motiu l'arrencada "directa" (com en els muntatges anteriors) sols és possible en motors de baixa potència. Els motors de mitjana i gran potència s'arrencuen utilitzant algun sistema que eviti aquests pics de corrent. Un dels sistemes clàssics, àmpliament utilitzat, és l'anomenat estrella-triangle.

En motors que hagin de ser connectats en triangle en règim nominal, si efectuem l'arrencada en estrella les tensions sobre cada bobina són 0,58 vegades la nominal, amb la qual cosa disminuïm el pic de corrent. Un cop el motor s'ha posat en marxa es canvia el connexionat a triangle mitjançant un automatisme.

A l'esquema següent es mostra el circuit de potència. Recordem que els ponts (làmines metàl·liques o cables) que defineixen la configuració s'han tret del motor.



K1M és el contactor general.

K2M és el contactor que defineix la configuració triangle.

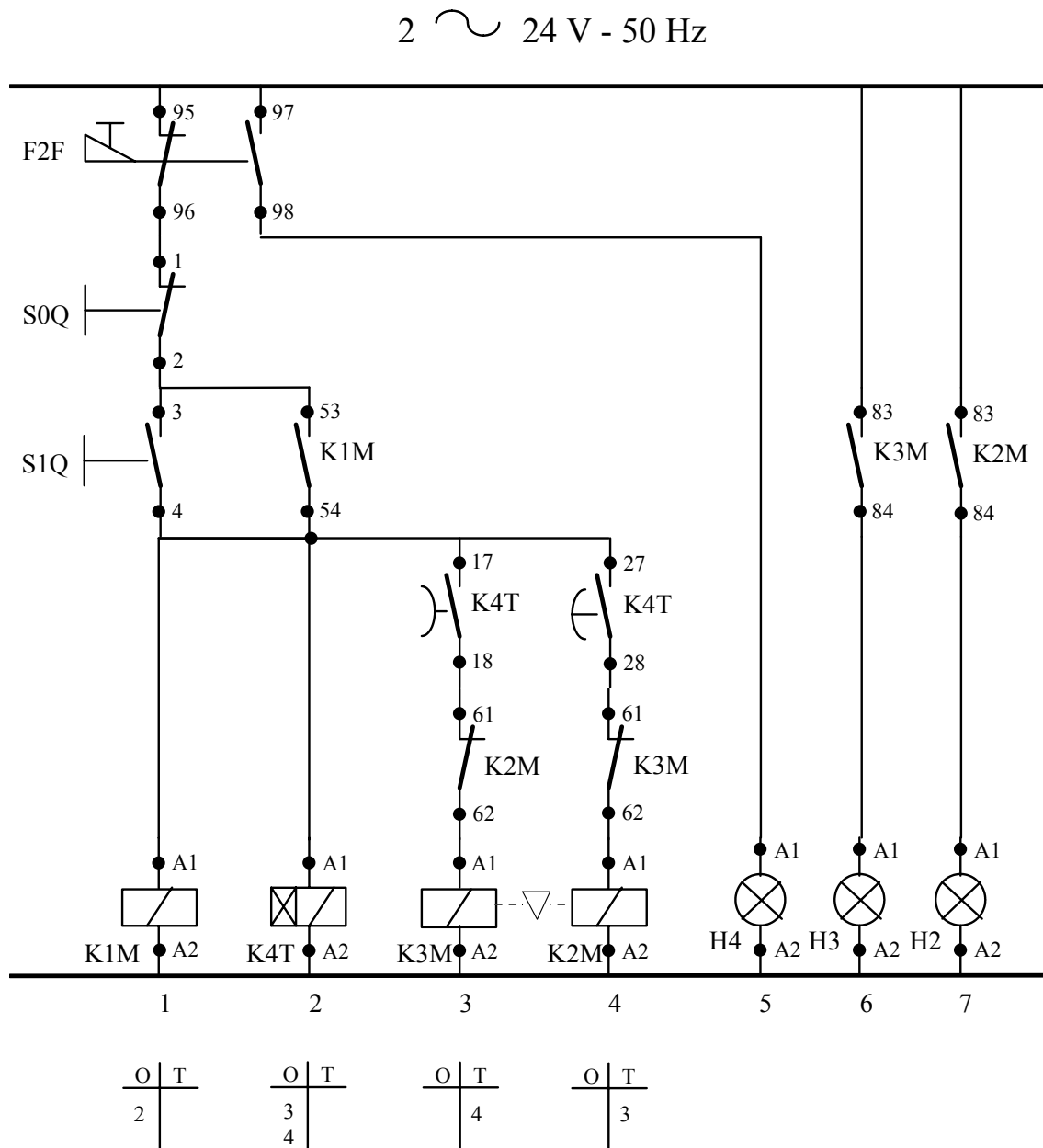
K3M és el contactor que defineix la configuració estrella.

Quan el motor es vol posar en marxa han de funcionar els contactors K1M i K3M per tenir el motor funcionant en configuració estrella.

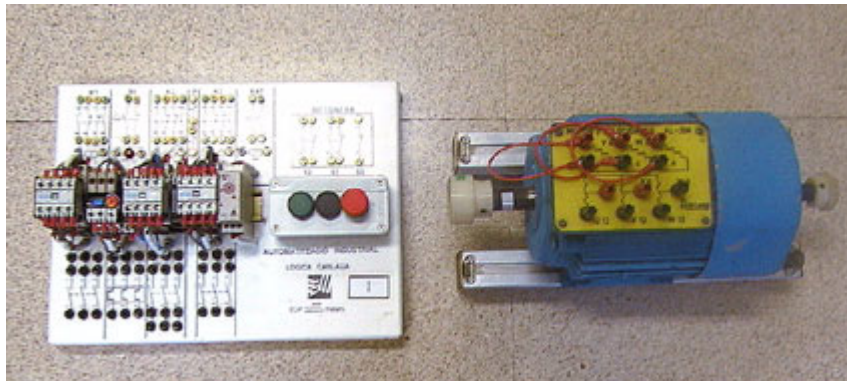
Passat un cert temps s'ha de desactivar el contactor K3M i entrar en funcionament el contactor K2M per a que el motor funcioni, de manera permanent ja, en configuració triangle.

Arrencador estrella-triangle. Circuit de maniobra.

A més a més d'elements ja coneguts d'esquemes anteriors (bobines de contactors, polsadors de marxa i d'aturada, contactes del relé tèrmic), aquí apareix un element nou: un temporitzador o relé temporitzat, K4T. Aquest relé temporitzat és l'encarregat de temporitzar el temps de funcionament en estrella. A més a més, proporciona un petit desfasament en la commutació: primer desactiva K3M i uns instants després activa K2M.



REALITZACIÓ PRÀCTICA



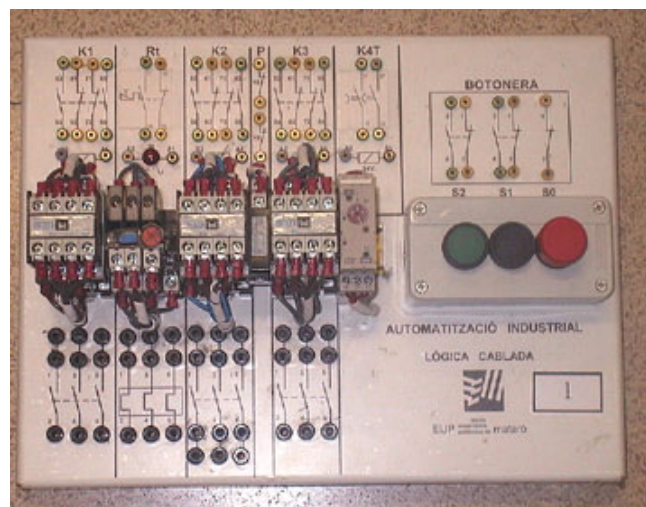
- Muntatge 1: Marxa / Aturada.
 Muntatge 2: Inversió del sentit de gir.
 Muntatge 3: Arrencador estrella-triangle.

Material:

- 1 motor AL-206.
- 1 maqueta de lògica cablejada.
- Cables per fer els ponts.
- Cables de potència.
- Cables de maniobra.

Objectius:

- Conèixer els automatismes cablejats bàsics.
- Conèixer alguns elements d'automatització de motors: contactors, relé tèrmic, etc.
- Conèixer l'existència de dos circuits diferents: el de potència i el de maniobra.
- Interpretar els esquemes elèctrics de potència i de maniobra.
- Cablejar els automatismes.
- Observar el funcionament dels automatismes.

Muntatge:

La maqueta de lògica cablejada conté tots els elements a utilitzar (contactors, relé tèrmic, temporitzador i botonera de pulsadors) amb un precablejat per facilitar el muntatge amb cables de banana de dues mides (gran per a la potència i petita per a la maniobra).

Procediment:

Muntar i comprovar el funcionament dels automatismes accionant els diferents pulsadors.