

Documentació i muntatge de màquines rotatives de corrent altern

Francesc Peralta serrano

Índex

Introducció	5
Resultats d'aprenentatge	7
1 Principis de les màquines rotatives de corrent altern	9
1.1 Característiques constructives de les màquines elèctriques rotatives de corrent altern	10
1.2 La màquina com a generador i motor	13
1.2.1 Rotació de la màquina	13
1.2.2 Força electromotriu induïda	15
1.2.3 Parell de forces	16
1.2.4 Pèrdues. Balanç de potències	16
1.2.5 Placa de característiques	19
1.3 Els bobinatges estatòrics i rotòrics	20
1.3.1 Els circuits magnètics. Rotor i estator	20
1.3.2 Els debanats estatòrics	20
1.3.3 El debanat rotòric. Harmònics pel pas de bobina	29
2 Tipus de màquines rotatives de corrent altern i documentació	33
2.1 Màquines síncrones	33
2.1.1 Alternador síncron	33
2.1.2 Motors síncrons	37
2.2 Màquines asíncrones	38
2.2.1 Motor asíncron trifàsic	38
2.2.2 Corbes característiques	41
2.2.3 Motor asíncron de pols commutables (motor Dahlander)	45
2.2.4 Camps d'aplicació dels motors asíncrons	45
2.2.5 Alternador asíncron	47
2.3 Màquines monofàsiques	47
2.3.1 Màquines universals	48
2.3.2 Motor monofàsic de fase trencada	49
2.3.3 Motor monofàsic de condensador	49
2.3.4 Motor monofàsic de condensador permanent	50
2.3.5 Motor monofàsic amb espira d'ombra o de pols ombrejats	51
2.3.6 Motor monofàsic d'histèresi	52
2.3.7 Motor monofàsic de reluctància	52
2.3.8 Motor monofàsic d'imant permanent o pas a pas	52
2.4 Documentació tècnica de màquines elèctriques rotatives de corrent altern	53
2.4.1 Aplicació de programari de dibuix tècnic i càlcul d'instal·lacions	54
2.4.2 Simbologia normalitzada i convencionalismes en la representació	55
2.4.3 Plànols i esquemes normalitzats	56

Introducció

Les màquines elèctriques rotatives de corrent altern són bàsicament els alternadors i els motors, tots ells monofàsics o trifàsics. Enteses com a transductors, les màquines rotatives fan la conversió de l'energia d'un format a un altre: si converteixen energia cinètica (moviment) en energia elèctrica (en el nostre cas, corrent altern), són alternadors, i si converteixen energia elèctrica en energia cinètica, són motors.

Els alternadors són la forma més generalitzada de generació d'energia elèctrica per a la distribució a usuaris, essent pràcticament aquesta la seva única aplicació. Els motors, no obstant, s'apliquen a usos diversíssims, des d'electrodomèstics (rentadores, assecadors, etc.) fins a maquinària pesada (cadena de muntatge, trituradores de ferralla, etc.), tant de baixa com d'alta potència.

En l'apartat "Principis de les màquines rotatives de corrent altern" es fa un repàs de les característiques de funcionament més importants d'aquest tipus de màquines elèctriques, de cara a una millor comprensió de les seves capacitats i tractament a nivell d'operari.

En l'apartat "Tipus de màquines i documentació" es fa una revisió dels diferents tipus de màquines per passar a continuació a una descripció de la documentació associada a aquestes màquines, en termes de plànols, simbologia i esquemes.

Resultats d'aprenentatge

En finalitzar aquesta unitat, l'alumne/a:

1. Elabora documentació tècnica de màquines elèctriques rotatives de corrent altern relacionant símbols normalitzats i representant gràficament elements i procediments.
 - Dibuixa croquis i plànols de les màquines elèctriques rotatives de corrent altern i els seus bobinats.
 - Dibuixa esquemes de plaques de borns, connexions i debanats segons normes.
 - Realitza esquemes de maniobres i assaigs de màquines elèctriques rotatives de corrent altern.
 - Utilitza programari de disseny per realitzar esquemes.
 - Utilitza simbologia normalitzada.
 - Redacta diferent documentació tècnica.
 - Analitza documents convencionals utilitzats en el manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern.
 - Realitza un informe de treball tipus.
 - Realitza un pla de muntatge i un de manteniment de màquines elèctriques rotatives de corrent altern.
 - Respecta els temps previstos en els dissenys.
 - Respecta els criteris de qualitat establerts.
2. Munta màquines elèctriques rotatives de corrent altern, acoblant els seus elements i verificant el seu funcionament.
 - Selecciona el material de muntatge, les eines i els equips.
 - Identifica cada peça de la màquina i el seu acoblament.
 - Utilitza les eines i equips característics d'un taller de bobinat.
 - Realitza bobines de la màquina rotativa de corrent altern.
 - Acobla bobines i altres elements de les màquines de corrent altern.
 - Connecta els bobinats rotòric i estatòric.
 - Munta les escobretes i anells lliscants connectant-los als seus borns.
 - Prova el seu funcionament realitzant els assaigs habituals.
 - Compleix les normes de prevenció de riscos laborals (incloses les de seguretat enfront el risc elèctric) i de protecció ambiental.
 - Respecta els temps previstos en els processos.
 - Utilitza catàlegs de fabricants per a la selecció del material.

- Respecta criteris de qualitat.
- Organitza les diferents fases del treball en les operacions de muntatge de màquines rotatives de corrent altern.
- Manté l'àrea de treball, les eines, utensilis i equips amb el grau apropiat d'ordre, conservació i netedat.
- Col·labora amb l'equip de treball amb actitud responsable, respectuosa i tolerant.

1. Principis de les màquines rotatives de corrent altern

Les màquines elèctriques, quant a la seva utilització, tant poden transformar energia elèctrica en energia mecànica com els motors o a l'inrevés, transformen energia mecànica en energia elèctrica com els alternadors. Segueixen l'equació de la llei de Laplace, que ens quantifica la força que rep un conductor pel qual passa un corrent i és exposat a un camp magnètic:

$$F = i \cdot (l \times \beta)$$

a on:

- i = intensitat
- l = longitud del conductor
- β = densitat de flux magnètic

I l'equació de la llei de Faraday que quantifica la força electromotriu (f.e.m.) induïda en un conductor que es mou en un camp magnètic:

$$E = l \cdot (v \times \beta)$$

a on:

- v = velocitat
- l = longitud del conductor
- β = densitat de flux magnètic

Qualsevol màquina complirà aquest dos principis, i el principi de força serà més revelant en les màquines elèctriques com un motor, ja que les càrregues afectaran aquest principi per aconseguir l'estabilitat de la màquina, i quant al principi de força electromotriu induïda, serà més específica dels alternadors, no perquè els motors no la pateixin, sinó perquè l'estabilitat de la tensió de sortida és característica dels alternadors.

Principalment hi ha dues classes de màquines respecte el seu funcionament intern, les **màquines síncrones** en què el camp magnètic es genera a partir d'una font externa de potència de CC, i les **màquines d'inducció** o **asíncrones**, en què el camp magnètic és generat per inducció dels seus debanats. Els seus estators són iguals, però els rotors també són diferents: el rotor de pols sortints és de màquines síncrones, el de gàbia és de màquines asíncrones i els rotors bobinats són comuns, però els de màquina síncrona porten excitatriu.

Les màquines síncrones indiquen, tal com s'anomenen, que el camp elèctric respecte del camp magnètic giren a la vegada, o sigui, sincrònicament, i principalment s'utilitzen com a generadors d'altern anomenats *alternadors*.

Les màquines d'inducció o asíncrones generalment són utilitzades com a motors, en què hi ha un lliscament (s), i aquest lliscament és expressat en percentatge:

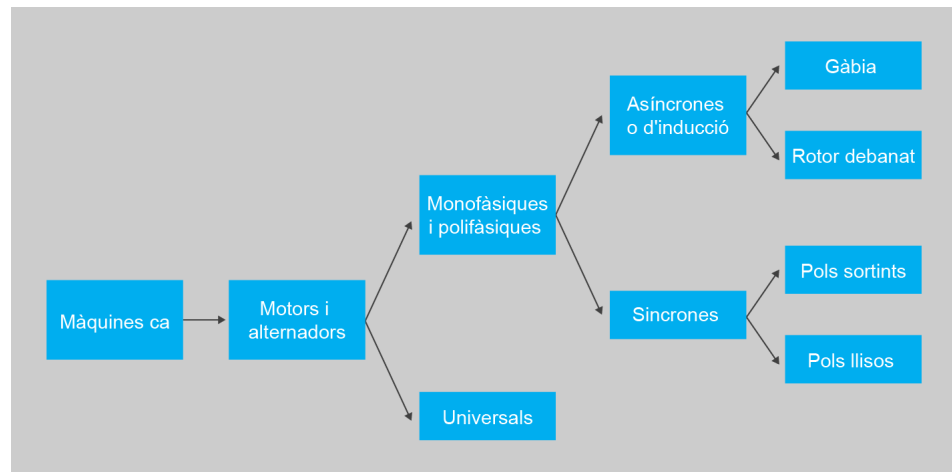
$$s = \frac{n_{sinc} - n}{n_{sinc}} \cdot 100$$

en què:

- n_{sinc} = velocitat de sincronisme, en rpm
- n = velocitat nominal, en rpm

A més, podríem classificar les màquines elèctriques d'altern segons la seva potència, però si ens fixem en l'alimentació elèctrica que ens diu l'entorn on treballaran, parlem de màquines universals, monofàsiques i trifàsiques.

FIGURA 1.1. Màquines monofàsiques



Les màquines monofàsiques s'utilitzen en un entorn més casolà i seran de menys potència que les trifàsiques, que són més utilitzades a la indústria. En la figura 1.1 podeu veure una classificació de les màquines monofàsiques.

1.1 Característiques constructives de les màquines elèctriques rotatives de corrent altern

Les màquines rotatives d'altern bàsicament estan constituïdes pel següent:

- Carcassa, que serveix per aïllar-la elèctricament amb l'exterior; si aquesta és metàl·lica evita cops mecànics i forma part de la protecció elèctrica, i si a més porta aletes refrigera la màquina.
- Estator, que, com indica la paraula, és estàtic, no es mou i té les bobines de l'induït sobre un nucli d'aliatge fèrric o ferromagnètic format per una corona de xapes magnètiques aïllades entre si i amb ranures on estan allotjades

els debanats (figura 1.2); els terminals dels debanats estan connectats en la placa de borns.

- El rotor, que gira sobre el seu eix i té les bobines de camp allotjades en les ranures del nucli ferromagnètic, format per un cilindre de xapes magnètiques aïllades entre si.

FIGURA 1.2. Estator asíncron



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

A més de les diferències del seu estator (monofàsiques, trifàsiques,...), i les diferències de com són els seus camps magnètics rotacionals (asíncrons i síncrons), tenen altres diferències específiques respecte a la seva constitució del rotor, si és bobinat (rotor debanat) o d'aliatge d'alumini (gàbia d'esquirol), de pols sortints, etc.

FIGURA 1.3. Rotor bobinat.



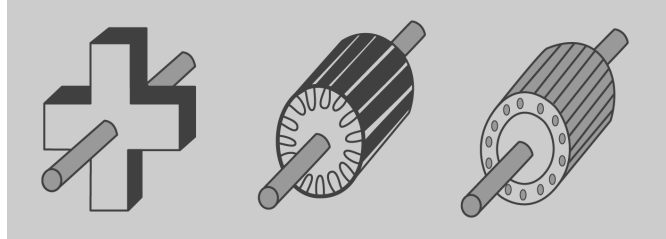
Imatge: Viatger a <http://goo.gl/9jrcC>

El rotor pot ser en gàbia d'esquirol (format per unes barres d'alumini, unides pels extrems a dos anells) o de rotor bobinat (format per un debanat, construït pel mateix nombre de pols que el de l'estator i connectat en estel a tres anells,

connectats en curtcircuit amb un reòstat). El rotor de pols sortints (figura 1.3) s'utilitza en màquines síncrones, normalment quan són de dos o quatre pols, i també s'utilitza el rotor no sortint si té quatre o més pols.

Els tipus de rotors existents apareixen a la figura 1.4.

FIGURA 1.4. Tipus de rotors



El rotor de gàbia (figura 1.5) està format per fines làmines ferromagnètiques encunyades i muntades en una estructura d'alumini, i amb dues tapes laterals d'alumini. És el més utilitzat als motors asíncrons, pel rendiment i el cost de fabricació.

FIGURA 1.5. Rotor en gàbia d'esquirol



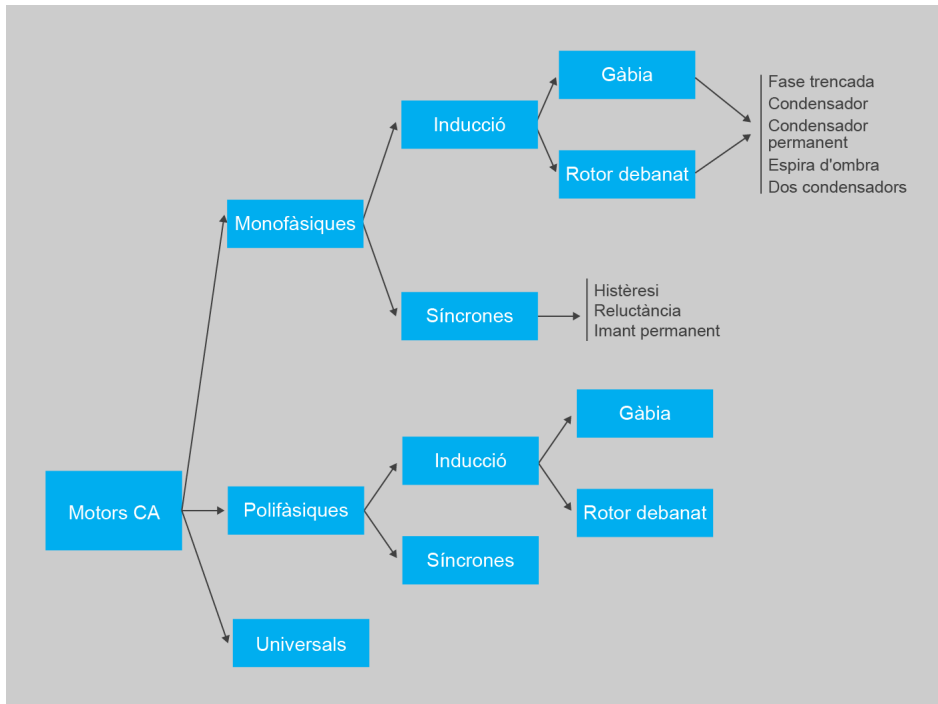
Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

Els motors de corrent altern se subdiveixen en tres tipologies:

1. Motors universals
2. Motors síncrònics
3. Motors d'inducció o asíncrons

En la figura 1.6 hi ha una classificació més específica dels motors de corrent altern.

FIGURA 1.6. Classificació dels motors d'alterna



1.2 La màquina com a generador i motor

En totes les màquines hi ha una sèrie de magnituds comunes, com són:

- El moviment o la rotació de la màquina.
- La força electromotriu induïda.
- El parell de forces.
- Les pèrdues.
- La placa característica.

1.2.1 Rotació de la màquina

En una màquina bipolar el recorregut mecànic o polar coincideix amb el recorregut geomètric o real (la volta real de la màquina són 360°).

$$\theta_m = 360^\circ$$

El recorregut elèctric és el que fa el rotor per generar un cicle elèctric, i es genera un cicle elèctric cada vegada que es passa per un conjunt N-S o joc de pols (p); per tant, en una màquina bipolar coincideix amb el recorregut polar, que és el nombre de jocs de pols que ha recorregut la màquina. A cada volta real de la màquina és:

$$\theta_e = p \cdot \theta_m$$

La freqüència elèctrica (f_e) s'expressa en hertz (Hz), que són cicles per segon. La freqüència mecànica (f_m) s'expressa en revolucions per segon, que és exactament la mateixa cosa designada de manera diferent per diferenciar el concepte (però físicament és el mateix).

La velocitat mecànica es mesura en **rpm** = cicles per minut. Utilitzant el factor de conversió de temps podrem passar de Hz a rpm:

$$1 \frac{\text{cicle}}{\text{s}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 60 \text{ rpm}$$

La velocitat mecànica també es pot mesurar en **rad/s**. Utilitzant el factor de conversió de temps podrem passar a rpm.

$$1 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ cicle}}{2 \cdot \pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 9,55 \frac{\text{cicles}}{\text{min}} = 9,55 \text{ rpm}$$

Què passa quan la màquina té més de dos pols?

$$f_e = p \cdot f_m \omega_e = p \cdot \omega_m f_m = \frac{n_m}{60}$$

Passa que l'angle recorregut, la freqüència i la velocitat elèctrica queden igualats als paràmetres mecànics per la meitat del nombre de jocs de pols, i si expressem la freqüència mecànica f_m en rps, podem dir que la relació entre la freqüència elèctrica f_e i la velocitat de rotació del camp magnètic (n) és:

$$f_e = \frac{n_m \cdot p}{60}$$

en què:

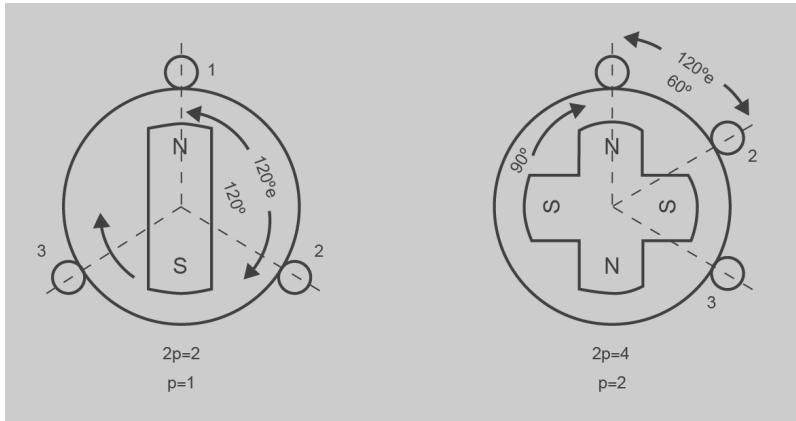
- n_m = velocitat mecànica, en rpm
- p = parells de pols

Cada volta real concebrà tants cicles elèctrics de fase com jocs de pols tingui la màquina. En cas d'una màquina trifàsica funciona igual, si suposem que cada p = tres jocs de parells de pols (un per a cada fase):

- Si $p = 1$ tindrem un recorregut polar de 120°
- Si $p = 2$ el recorregut serà de 60°
- ... i així successivament

$$\theta_e = 3 \cdot p \cdot \theta_m \rightarrow \theta_m = \frac{\theta_e}{3 \cdot p}$$

FIGURA 1.7. Angle polar segons el nombre de pols



Amb velocitats relativament lentes de la màquina, agafant un gran nombre de pols a l'inductor es pot arribar a freqüències com 50 cicles/s amb $n = 250$ rpm, i calen 12 parells de pols en l'inductor.

$$f_e = \frac{n_m \cdot p}{60} = 50 \frac{\text{ciclos}}{s} = \frac{250 \cdot 12}{60}$$

1.2.2 Força electromotriu induïda

Quan parlem de força electromotriu induïda estem parlant d'alternadors. En els alternadors observem que el valor màxim de la f. e. m. induïda és:

$$E_0 = N' \cdot \omega \cdot \phi_0$$

Com que $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, i en ser sinusoidal l'ona, el valor eficaç és el màxim dividit per $\sqrt{2}$, es tindrà per al valor eficaç de la f. e. m. induïda l'expressió:

$$E = \frac{E_0}{\sqrt{2}} = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N' \cdot \phi_0 = 4,44 \cdot f \cdot N' \cdot \phi_0$$

Si anomenem N el nombre de feixos actius, suposant que cada espira té dos feixos o conductors totals de la màquina ($N = 2 \cdot N'$), l'expressió es podrà escriure:

$$E = 2,22 \cdot f \cdot N \cdot \phi_0$$

en què:

- Φ_0 és el flux, en Wb
- E = f. e. m. induïda, en V
- Debanat *concentrat* amb un total de N conductors

En la pràctica, el debanat està **distribuït** sobre tota la perifèria de l'estator, cosa que fa que la suma de les f. e. m. de cada espira estigui desfasada, i per això la f. e. m. total haurà de ser la *suma geomètrica* i no aritmètica de les f. e. m. de cada espira. A més a més, el gruix d'una bobina no correspon al pas polar, o sigui, que

si un conductor d'una espira està a sota i al centre d'un pol nord i l'altre conductor no està al centre del pol sud següent, es produeix un *escurçament* de la bobina.

$$E = 2,22 \cdot f \cdot K_d \cdot K_a \cdot \phi_0$$

en què:

- K_d = coeficient de distribució
- K_a = coeficient d'escurçament

Com que $K_d \cdot K_a \approx 1$, no tindrem en compte aquests coeficients al mateix temps, i llavors suposarem que és exacta l'expressió de la f.e.m. induïda en un alternador.

Si en lloc de col·locar un joc N' d'espires es col·loquen tres jocs d'espires desfasades en l'espai 120° elèctrics o magnètics, es tindrà un sistema trifàsic de tensions, i l'expressió anterior indicarà el valor de la tensió induïda **per fase** a la màquina **si N és el nombre de conductors per fase**.

1.2.3 Parell de forces

Les màquines elèctriques desenvolupen una força centrífuga, més característica als motors com a força d'arrossegament, o moment intern. Si es fa nominal (M_n), es dóna com a valor característic del motor. És una força a una distància, expressat en N·m:

$$M_n = \frac{9,55 \cdot P_n}{n_n}$$

en què:

- P_n = potència nominal, en W
- n_n = velocitat nominal, en rpm

A tota acció correspon una reacció. Davant el moment intern M_i , que és el moment de força que pot arrossegar la màquina, apareix el moment resistent M_r , que representa la càrrega que ha d'arrossegar el motor. Si $M_i > M_r$ el motor girarà, i apareixerà una velocitat de gir n .

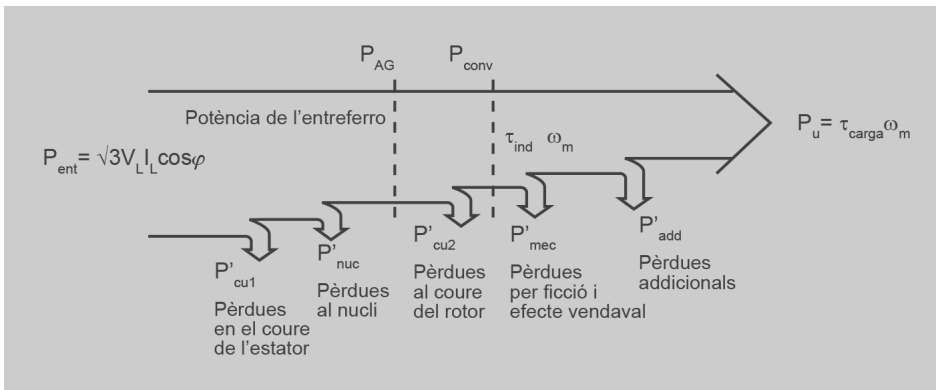
1.2.4 Pèrdues. Balanç de potències

Les pèrdues a les màquines elèctriques tenen les mateixes denominacions (CC o CA) i segueixen un ordre o l'altre, segons siguin generadors o motors. Les pèrdues són:

1. Pèrdues del coure, del rotor i de l'estator, degudes a l'escalfament dels conductors.
2. Pèrdues del nucli, degudes a la histèresi i als corrents parasitaris.
3. Pèrdues mecàniques, degudes a la fricció dels rodaments i als efectes vendaval; si s'ajunten amb les del nucli s'anomenen *pèrdues rotacionals de la màquina en buit*.
4. Pèrdues addicionals; per convenció els assignem 1% de la potència de sortida de la màquina.

Les potències van disminuint, des de la lliurada fins a l'aprofitable, a mesura que es produeixen les pèrdues (figura 1.8). La relació que tenen entre elles s'anomena *balanç de potències*.

FIGURA 1.8. Balanç de potències



S'anomena **balanç de potències** la relació entre la potència subministrada o d'entrada, la potència aprofitable o útil i les pèrdues. Les potències van disminuint des de l'entrada fins a l'aprofitable, a mesura que es produeixen les pèrdues.

Bàsicament, les potències que intervenen són:

- La potència d'entrada (P_{ent} o P_i), potència consumida (P_{con}) o potència absorbida (P_{abs}); és la potència elèctrica d'alimentació de la màquina.
- Les pèrdues del coure, del rotor (P'_{cu1}) i de l'estator (P'_{cu2}), degudes a l'escalfament dels conductors, donaran pas a la potència convertida (P_{conv}) o potència mecànica (P_{mec}), menyspreant les pèrdues en el ferro produïdes en l'estator.

$$P_{mec} = P_{conv} - P'_{nuc1}$$

$$P'_{nuc1} = 0$$

$$P_{conv} = \tau_{ind} \cdot \omega_m = P_{ent} - P'_{cu1} - P'_{cu2}$$

- Les pèrdues del nucli (P'_{nuc}) són degudes a la histèresi i als corrents parasitaris, produïts al rotor.

- Les pèrdues mecàniques (P'_{mec}), degudes a la fricció dels rodaments i als efectes ventdaval; si s'ajunten amb les del nucli s'anomenen *pèrdues rotacionals* (P'_{rot}).
- Pèrdues addicionals (P'_{add}); per convenció els assignem un 1% de la potència de sortida de la màquina i donen pas a la potència útil (P_u).

$$P_u = P_{conv} - P'_{nuc} - P'_{mec} - P'_{add}$$

El rendiment, expressat en percentatge, és:

$$\eta = \frac{P_u}{P_{ent}} \cdot 100$$

Exemple de balanç de potències

Un motor asíncron trifàsic indica en la seva placa de característiques 230 V/50 Hz, a plena càrrega i amb $\cos \varphi = 0,85$, i té un rendiment del 83%. Si la seva potència útil és de 15,1 kW, la intensitat en buit és el 33,2% de la intensitat a plena càrrega, amb un $\cos \varphi = 0,2$ en buit. Calculeu:

1. La potència absorbida
2. El corrent consumit a plena càrrega
3. Les pèrdues rotacionals
4. El rendiment en buit.

Solució

La potència absorbida és:

$$P_{abs} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{15.100}{0,83} = 18.192,77 \text{ W}$$

El corrent a plena càrrega:

$$I_L = \frac{P_{abs}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos \varphi} = \frac{18.192,77}{\sqrt{3} \cdot 230 \cdot 0,85} = 53,73 \text{ A}$$

Les pèrdues rotacionals, menyspreant les pèrdues addicionals, són la diferència entre la potència útil i la potència convertida. Per tant, equival a la potència en buit:

$$P'_{rot} = P'_{nuc} + P'_{mec} = P_{conv} - P_u = P_{buit}$$

$$I_{buit} = I_L \cdot 0,332 = 53,73 \cdot 0,332 = 17,84 \text{ A}$$

$$P_{buit} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_{buit} \cdot \cos \varphi_{buit}$$

$$= \sqrt{3} \cdot 230 \cdot 17,84 \cdot 0,2 = 1.421,39 \text{ W}$$

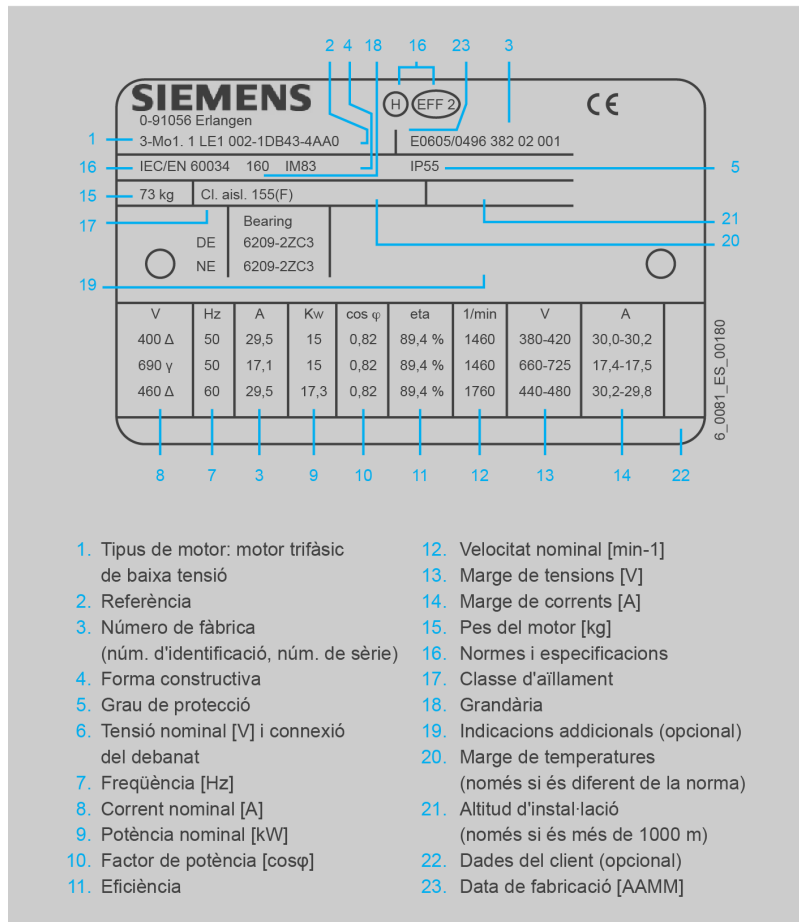
El rendiment en buit:

$$\eta_{buit} = \frac{I_{L_{buit}}}{I_{L_{ent}}} \cdot 100 = 33,2\%$$

1.2.5 Placa de característiques

La placa de característiques d'una màquina elèctrica és la identificació de la màquina; té dos tipus de dades, anomenades *nominals*. A la figura 1.9 en veiem un exemple desglossat, amb:

FIGURA 1.9. Dades de la placa de característiques d'un motor



Imatge cortesia de SIEMENS (<http://www.siemens.es/>)

1. Dades constructives, de control i d'identificació.

2. Dades tècniques:

- Potència de plena càrrega (potència útil que és capaç de subministrar en règim de funcionament continu sense que l'escalfament sigui excessiu).
- Tensió per a la qual està construït.
- Freqüència de la xarxa d'alimentació.
- Intensitat que absorbeix a plena càrrega.
- Velocitat a plena càrrega en rpm.
- Factor de potència a plena càrrega.

El motor asíncron trifàsic tindrà dues tensions i dues intensitats nominals, perquè la connexió pot ser en estrella o triangle segons la tensió de la xarxa.

1.3 Els bobinatges estatòrics i rotòrics

Els bobinatges de les màquines de corrent altern tenen les mateixes denominacions que els de continu, amb les variacions pertinents als trifàsics de col·locació dels jocs de bobines a 120° .

Aquest bobinatges estan enrotllats als nuclis formant els circuits magnètics.

1.3.1 Els circuits magnètics. Rotor i estator

La missió del nucli ferromagnètic és que la inducció sigui màxima i les pèrdues mínimes, tenint en compte la corba de saturació del material ferromagnètic; aquesta va en consonància amb la potència nominal del motor, i si no sobrecarreguem el motor estarem treballant dins d'un marge en què el nucli no se saturarà. Els corrents parasitaris o de Foucault es minimitzen amb les làmines fines, separades per l'aïllament de vernís, que redueixen els corrents paràsits que hi circulen. El baix contingut de carboni fa del nucli un material magnètic suau amb pèrdues baixes per histèresi.

1.3.2 Els debanats estatòrics

En la pràctica cada fase del debanat estatòric està formada per diversos conductors formant bobines, connectades de manera que se sumen les forces electromotrius engendrades als conductors i es col·loquen en les ranures del seu nucli. El bobinatge de cada fase és de tipus tambor i obert (amb principi i final). Les fases han de ser idèntiques i desfasades entre si l'angle característic del sistema (120° elèctrics en el debanat trifàsic).

Les bobines del debanat estan reunides formant grups, que poden ser, segons la seva forma:

- **Concèntrics:** els costats actius d'una mateixa fase, situats sota els pols consecutius, units per caps concèntrics, segons la figura [1.10](#).
- **Excèntrics:** els costats actius d'una mateixa fase, situats sota pols consecutius, units per caps iguals, segons la figura [1.11](#).

FIGURA 1.10. Bobinatge concèntric

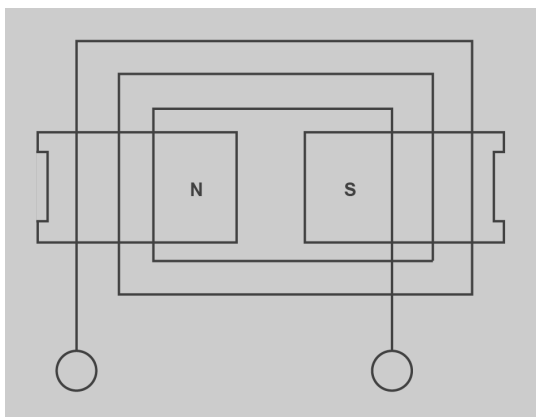
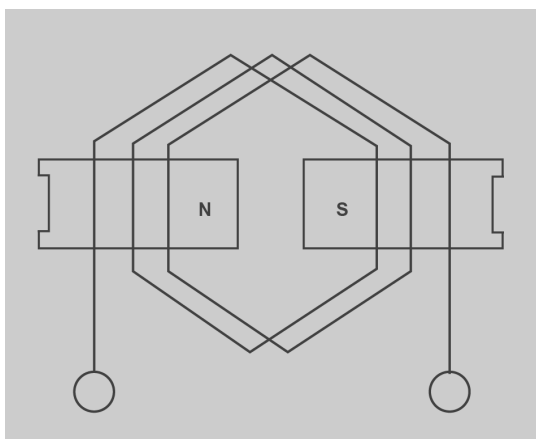
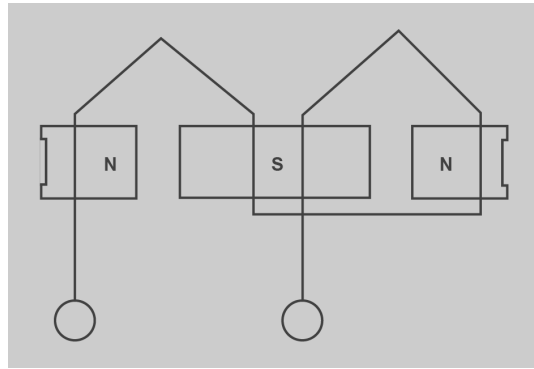
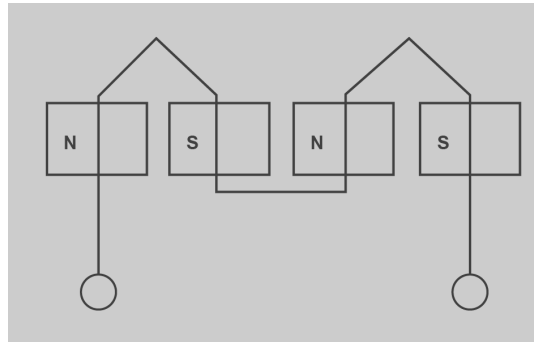


FIGURA 1.11. Bobinatge excèntric



Segons la forma de connexió dels grups de bobines d'una mateixa fase, el debanat pot ser connectat:

- **Per pols** (figura 1.12): el final d'un grup de bobines està connectat amb el final del següent i el principi d'un grup amb el primer del següent deixant sense connectar el principi del primer grup i el principi de l'últim, que seran el principi i el final, respectivament, de la fase. El nombre de grups per fase és igual que el nombre de pols ($G = 2 \cdot p$). El nombre total de grups és el nombre de grups pel nombre de fases ($G = 2 \cdot p \cdot q$).
- **Per pols consecüents** (figura 1.13): el final d'un grup de bobines està connectat amb el principi del següent deixant sense connectar el principi del primer grup i el final de l'últim, que seran el principi i el final, respectivament, de la fase. El nombre de grups per fases és igual que el nombre de parell de pols ($G = P$). El nombre total de grups és el nombre de grups per fase ($G = P \cdot q$).

FIGURA 1.12. Connexió del grup de bobines de fase per pols**FIGURA 1.13.** Connexió del grup de bobines de fase per pols consecüents

Bobinatges generals

Les ranures que ocupa el bobinatge per pol magnètic i per fase és, anomenant n el nombre de ranures:

$$K_{pq} = \frac{K \cdot n}{p \cdot q}$$

El nombre de bobines:

- **Bobinatge d'una capa:** el nombre de bobines B és la meitat de ranures $B = K/2$
- **Bobinatge de dues capes:** el nombre de bobines B és igual que el nombre de ranures: $B = K$

El nombre de bobines per grup u és el nombre de bobines total dividit pels grups totals de bobinatge:

$$u = \frac{B}{G}$$

El pas dels principis de fase en un bobinatge trifàsic, amb un angle de desfàs de 120° , per a bobinatges trifàsics, és el nombre total de ranures entre principis de fase del bobinatge:

$$Y = \frac{K}{3 \cdot p}$$

L'amplada de ranura o pas de ranura (Y) és l'espai mesurat en graus entre ranures adjacents. Excepte en màquines molt petites, el bobinatge serà de doble capa, amb menys ranures per bobina i connexions terminals més senzilles.

$$Y_K = \frac{360^\circ}{n}$$

El pas de bobina o pas polar (ϕ) és l'angle entre els dos feixos actius de la bobina; si el mesurem en nombre de ranures Y per a cada pol de la màquina tindriem: $Y = K/2 \cdot p$.

Els pols magnètics naturals, sense tenir en compte el nombre de pols, estan posicionats en les màquines a 180° elèctrics, però quan es bobinen les màquines, com que s'ha de tenir en compte el nombre de pols, no és possible sempre fer-ho a 180° , i això dóna pas a noves denominacions; per exemple, en els generadors es poden bobinar igual que el pas polar (i s'anomena bobina de **pas diametral**), o a menys del pas polar (i són bobines de **pas fraccionari** o de **pas encordat**; per exemple, $5/6$ de 180° , que són 150°).

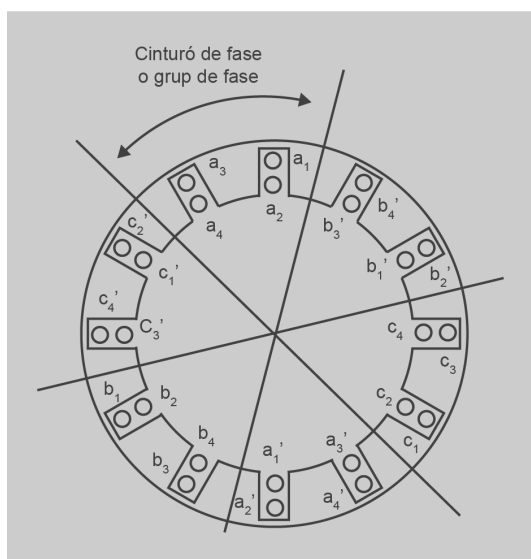
$$\phi = \frac{360^\circ}{2} \cdot \text{fraccio de pas}$$

El **factor de pas de bobina**, **factor de pas polar**, o també anomenat **factor d'escurçament** quan la bobina és de pas fraccionari, és:

$$K_p = \sin\left(\frac{\phi}{2}\right)$$

El **cinturó de fase** o grup de fase és l'espai de ranures on es col·loquen les bobines de cada fase. Hi ha $3 \cdot p$ cinturons de fase en un estator de p pols; en el pas fraccionari a la mateixa ranura poden coincidir bobines de dues fases quan el bobinatge és de doble capa. En la figura 1.14 teniu representat un cinturó o grup de fase.

FIGURA 1.14. Cinturó o grup de fase d'un bobinatge de pas diametral amb doble capa



El factor d'amplitud o **factor de distribució** (K_d) és la reducció de tensió entre la bobina en ser distribuïda i la bobina concentrada.

$$K_d = \frac{\sin\left(\frac{n \cdot Y}{2}\right)}{n \cdot \sin\left(\frac{Y}{2}\right)}$$

en què n és el nombre de ranures per fase.

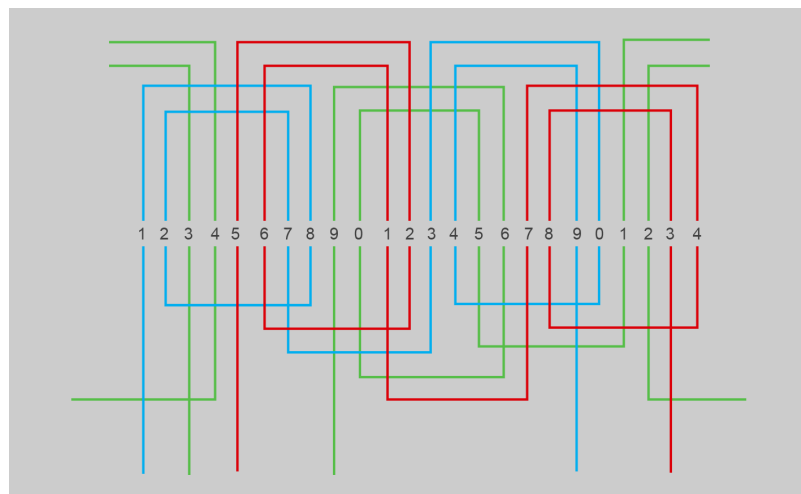
El factor de pas i el factor de distribució es combinen en el **factor de bobinatge** K_{pd} i la tensió per fase en l'estator queda:

$$E_E = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot K_{pd} \cdot N_p \cdot \phi \cdot f$$

Bobinatges concèntrics

Aquests bobinatges se solen fer d'una capa i connectats per pols consecüents (figura 1.15).

FIGURA 1.15. Bobinatge concèntric de 3 fases, 24 ranures i 4 parells de pols



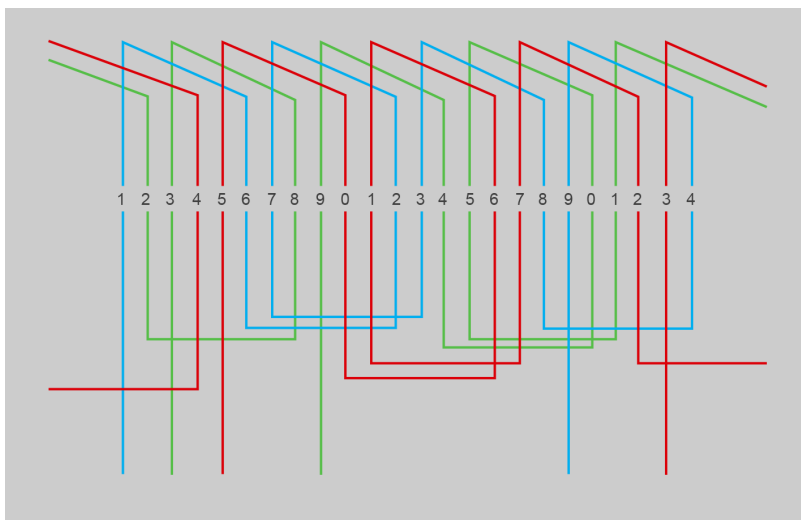
L'amplitud m del grup és el nombre de ranures que es troben en l'interior del grup de bobines: $m = (q - 1) \cdot K$.

Si el nombre de bobines per grup u no fos un nombre enter $n + 1/2$, es col·loquen alternativament grups de n bobines i de $n + 1$ bobines.

Bobinatges excèntrics intercanviats sencers

Aquests bobinatges (figura 1.16) se solen fer d'una o dues capes i es caracteritzen per tenir un nombre de ranures per pol i fase enter $K = \text{nombre enter}$.

L'amplada de bobina o pas de ranura Y_k pot ser menor o igual que el pas polar Y_p . En el bobinatge d'una capa el pas de ranura ha de ser senar.

FIGURA 1.16. Bobinatge excèntric de 3 fases, 24 ranures i 4 parells de pols

Bobinatges excèntrics imbricats fraccionaris

Aquests bobinatges s'executen en dues capes i connectats per pols. Es caracteritzen per tenir el nombre de ranures per pol i fase com un nombre fraccionari de la forma $u = A/B$, i la fracció és **irreductible** i B múltiple de 3.

Per saber la distribució en el bobinatge dels grups de ranures es fa una taula de distribució:

1. En tres columnes es tracen B files de A punts.
2. Es traça un senyal en el primer punt de la primera fila i en tots el que disten d'aquestes B unitats.
3. Els senyals de la primera fila indiquen el nombre de ranures que corresponen a cada fase en primer pol.
4. Els senyals de la segona fila indiquen el nombre de ranures que corresponen a cada fase en segon pol, etc.

L'amplada de bobina o pas de ranura Y_k pot ser menor o igual que el pas polar Y_p .

Exemple de bobinatge excèntric per pols

Farem un bobinatge d'un motor trifàsic bipolar excèntric de $K = 24$ ranures, $2p = 2$ parells de pols, $q = 3$ fases, amb bobinatge d'una capa per pols.

Les característiques per fer el muntatge del motor són les mostrades a la taula 2.1.

TAULA 1.1. Requisits del motor

Estator de tipus xapa	IEC 80/6-8.80	Ranures	24
Diàmetre exterior	120 mm	Longitud	75 mm
Diàmetre interior	80 mm	Esquema	Bipolar
Tipus de bobinatge	Trifàsic excèntric bipolar per pols consecüents		
Grups	6	Bobines/grup	2

Pas de bobina	de 1 a 10	Espires/bobina	120
Pes del coure	110 g	Resistència fases	21 Ω

Descripció del muntatge

Ordre en el procés de bobinatge de les màquines de corrent altern:

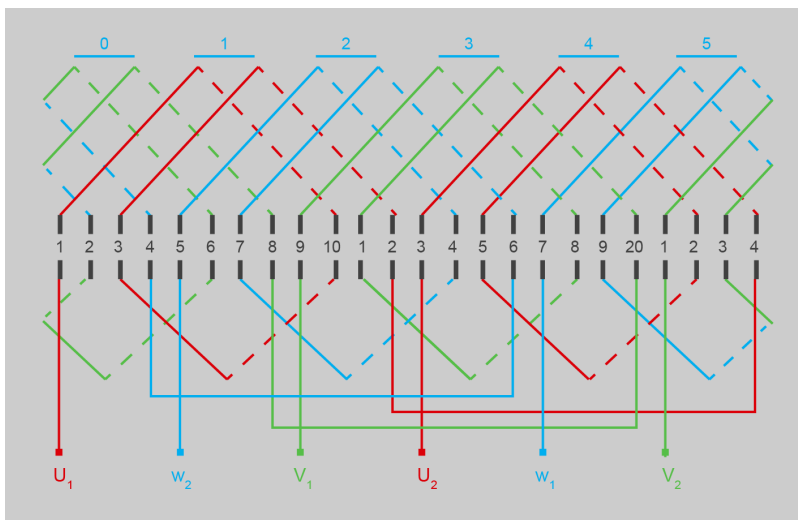
1. Càlculs del bobinatge i esquema
2. Confecció de les bobines
3. Aïllament de les ranures estatòriques
4. Confecció de les bobines
5. Col·locació de les bobines en les ranures
6. Connexió de les bobines entre si
7. Lligament del bobinatge
8. Verificació elèctrica de l'enrotllament

TAULA 1.2. Càlculs del bobinatge

Tipus de bobinatge	Excèntric, per pols	Ranures	$K = 24$
Nombre de ranures per pol i fase	$K_m = \frac{K}{2 \cdot p \cdot q} = \frac{24}{2 \cdot 3} = 4$	Bobines	$B = \frac{K}{2} = \frac{24}{2} = 12$
Pols	$2 \cdot p = 2$	Fases	$q = 3$
Grups del bobinatge	$G = 2 \cdot p \cdot q = 2 \cdot 3 = 6$	Bobines per grup	$U = B/G = 12/6 = 2$
Grups	6	Pas polar	$Y_k = \frac{K}{2 \cdot p} = \frac{24}{2} = 12$
Principi de fase	$\frac{K}{3 \cdot p} = \frac{24}{3} = 8$	Passos de bobina	$Y_B = 1$ a 13, s'escurça 3 unitats
Principis de fase	U-1, V-9, W-17		

Càlculs del bobinatge i esquema

Els càlculs del bobinatge per muntar estan a la taula 1.2, i l'esquema del bobinatge excèntric es mostra a la figura següent:

FIGURA 1.17. Esquema del bobinatge excèntric

Aïllament de les ranures estatòriques

L'aïllament es farà amb 24 cartons aïllants, tallats de manera que sobresurtin pels extrems de les ranures, el suficient perquè els conductors no arribin a tocar el nucli en cap moment, per evitar contactes en massa.

Confecció de les bobines

Amb un fil de coure es farà una espira i es deixarien lliures la resta de les ranures.

Motlle de la bobina

Es fa el motlle de la bobina; la mesura del motlle és de 12,5 cm.

Es col·loca el fil de coure sobre el motlle del conjunt de motlles excèntrics, es pren la distància que hi ha entre motlle i motlle, i per fer la resta de bobines es posa el comptador a 0 i es comença a bobinar; el nombre d'espires de cada bobina depèn del tipus de ranura del motor (en aquest cas és de 120 espires amb fil de 0,5 mm de diàmetre). Una vegada introduït el grup de bobines s'observa que no sigui ni gran ni petit, i si ho fos es modificarà. Cada bobina té un pes de 200g.

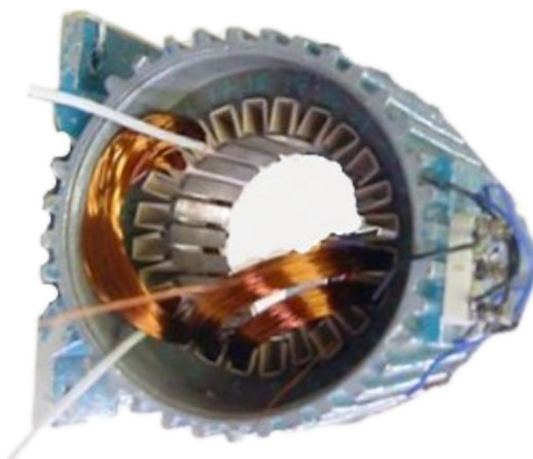
Col·locació de les bobines en les ranures

Les bobines han d'entrar en les ranures suaument; no les creuarem, ni les posarem a l'inrevés, perquè frenarien elèctricament el motor. S'alinearan les bobines consecutivament; en ser un bobinatge excèntric, el bobinatge quedarà trenat. Abans d'acabar el bobinatge aixecarem la 1, 3, 5, 7 perquè el trenat sigui perfecte. Finalment es posaran les cunyes de plàstic per aïllar les ranures de les bobines.

Connexions dels debanats

Connectarem el bobinatge comprovant que cada principi i final de grup surten de la ranura corresponent, segons l'esquema. Cadascun dels fils de l'empalmament portarà el tub aïllant de silicona. Es pelen els extrems del fil, sense deixar vernís, s'empalma en prolongació i s'estanya. Es desplaça el tub de silicona sobre l'empalmament fins que quedi cobert.

Tant el principi com el final de cada fase arriben a la placa de borns amb conductor flexible; aquests empalmaments també estaran lligats al cap del bobinatge. La vista de l'estator amb algun grup de bobines s'aprecia a la figura següent:



També s'hi poden apreciar els cartons i cunyes aïllants.

Lligament del bobinatge

El lligament del bobinatge es fa amb lliç engreixat, i aprofitant un tros de fil per confeccionar un tipus d'agulla. Les distàncies de les voltes amb el lliç seran uniformes, iguals que la subjecció. Utilitzarem el *presspan*, que és un cartró per separar els grups de bobines. Una vegada finalitzat el lligam amb un martell de goma o plàstic, es col·locarà el bobinatge al seu lloc, de manera que no toqui el rotor en el seu gir o l'induït.

Verificació elèctrica de l'enrotllament

Durant el procés de connexió, s'anirà comprovant la continuïtat del circuit. Una vegada acabades de connectar les bobines, se sotmetrà als assajos d'aïllament, formació de pols, derivacions a massa, etc.

Per comprovar la continuïtat del bobinatge s'utilitza un multímetre, posant les puntes en els extrems. Una altra comprovació és la derivació a massa, que consisteix que els principis de fase i la carcassa no donin continuïtat amb el mesurador.

Tanquem el motor amb els cargols i connectem les fases a una font d'alimentació, posem un amperímetre en sèrie amb el bobinatge i el mesurador per comprovar la tensió entre dos terminals. Els increments els farem de 20 en 20 volts i mesurarem els corrents i les rpm amb un tacòmetre, així fins a 230 V. A la taula 1.3 hi ha els resultats en estrella i triangle de consum, i la velocitat a cada graó de 20 V.

TAULA 1.3. Resultats de consum i velocitat

V (V)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
Estrella I (A)	0,24	0,49	0,33	0,23	0,19	0,17	0,15	0,16	0,16	0,17	0,2
rpm	55,6	424,4	2.430	2.786	2.882	2.982	2.944	2.958	2.966	2.972	2.978
Triangle I (A)	0,8	0,4	0,3	0,29	0,28	0,31	0,35	0,39	0,44	0,5	0,6
rpm	355,6	2.725	2.895	2.946	2.966	2.976	2.983	2.986	2.989	2.990	2.991

Bobinatges trifàsics de pols commutables

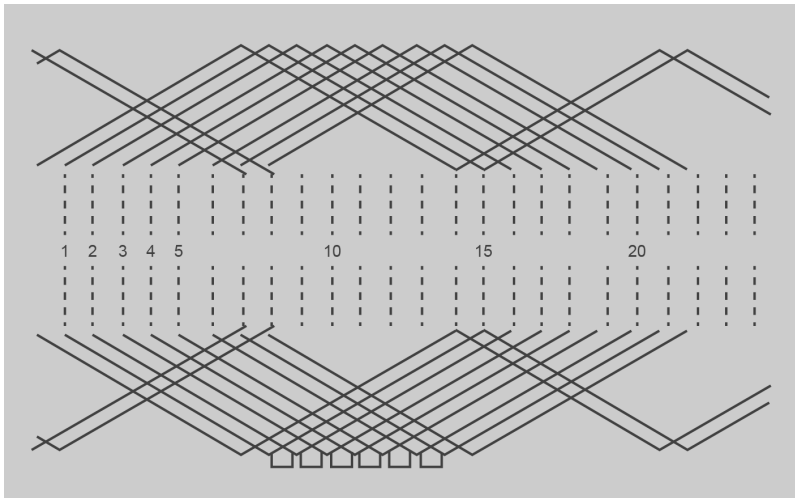
Aquests bobinatges es connecten per pols conseqüents per la major polaritat i del punt mitjà de cada fase es treu una connexió per a la commutació del nombre de pols.

El pas de bobina, d'1 a 15 per a la doble capa, ens adverteix de la connexió de 6

ranures per les quals passarà la mateixa intensitat de fase.

A la figura 1.18 apareix un esquema trifàsic de bobinatge amb pols commutables.

FIGURA 1.18. Esquema trifàsic de bobinatge amb pols commutables



Bobinatges del motor asíncron monofàsic

Aquests bobinatges se solen fer concèntrics i d'una capa:

- El bobinatge principal ocupa dos terços de les ranures i el grup de bobines té l'amplitud d'un terç del pas polar.
- El bobinatge auxiliar o d'arrencament ocupa l'altre terç de les ranures i el grup de bobines els dos terços restants fins a arribar al pas polar.

El desfasament entre els principis de fase dels dos bobinatges (90° elèctrics) és, en ranures:

$$Y = \frac{K}{4 \cdot p}$$

1.3.3 El debanat rotòric. Harmònics pel pas de bobina

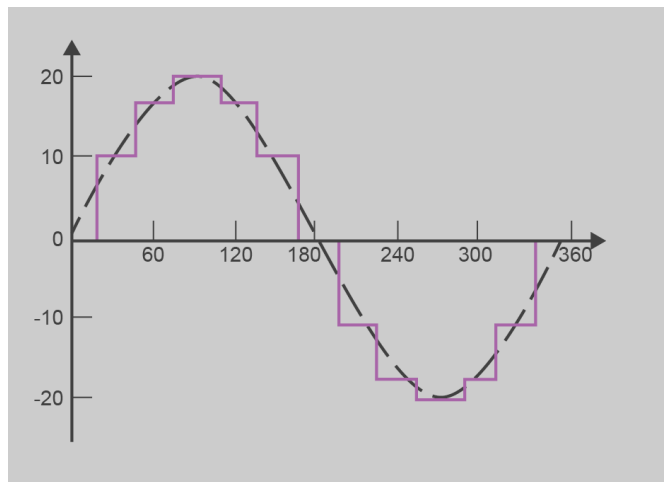
Els harmònics són el resultat d'una sèrie de variacions adequadament acomodades en un rang o freqüència d'emissió electromagnètica i que afecten l'ona de tensió generada en una màquina o un altre sistema elèctric; aquesta freqüència dels harmònics és una freqüència múltiple de la freqüència fonamental.

Així, en sistemes amb freqüència de 50 Hz els n harmònics corresponen a $n \cdot f$, el 2n., 3r., 4t. harmònics correspondrien a 100 Hz, 150 Hz i 200 Hz, i així successivament.

Els pas de bobina diametral genera harmònics de cinturó, i el pas de ranura genera harmònics de dent o de ranura, que ocasionen problemes, com són:

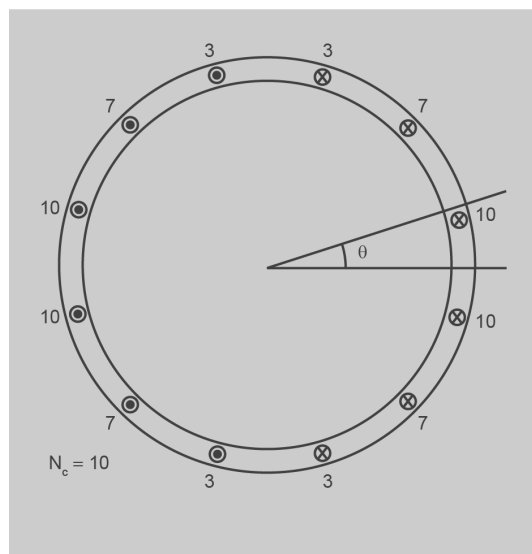
- Inducció d'harmònics en la tensió de sortida de la màquina.
- Interacció entre els harmònics de l'estator i el rotor que produeix moments de torsió, que en les màquines d'inducció poden afectar la corba parell de torsió - velocitat del motor.
- Introducció de vibracions i sorolls.
- Augment de les pèrdues de nucli en introduir components de tensió a alta freqüència i corrents en les dents de l'estator.

FIGURA 1.19. Distribució de l'f.m.m. resultant (graons) comparada amb la distribució ideal



En la figura 1.19 es pot apreciar la comparació de la distribució de la força magnetomotriu (f.m.m.) resultant amb la distribució ideal, de l'estator distribuït de la figura 1.20.

FIGURA 1.20. Estator amb bobinatge distribuït



La tensió és simètrica cap al centre del flux del rotor, de manera que no hi ha harmònics parells en la tensió de fase. Els tercers harmònics són idèntics en les

màquines trifàsiques: aquest harmònics es contraresten en estrella, i en triangle queden aplicats a les impedàncies internes de la màquina i no afecten tampoc la tensió de sortida. Són anomenats *tercers* perquè als seus múltiples també els passa (sisè, novè...). Les freqüències harmòniques restants perilloses són la cinquena i la setena, anomenades també *harmònics de cinturó*, i les freqüències harmòniques més altes (onzena cap amunt) es menyspreen, perquè pràcticament ja no afecten la tensió de sortida.

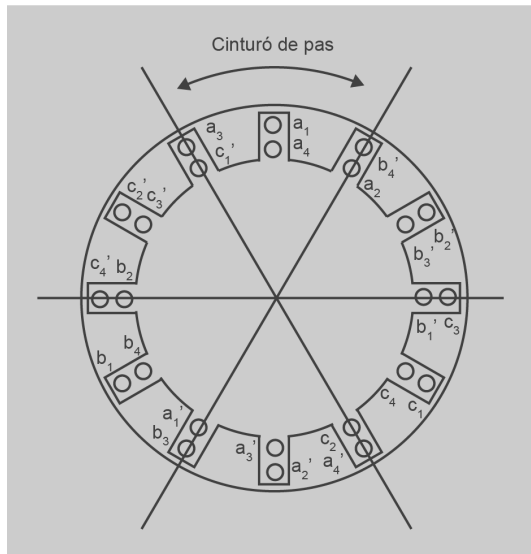
El factor del pas de bobina a la freqüència harmònica és:

$$K_p = \sin\left(\frac{n \cdot P_p}{2}\right)$$

en què n es refereix a l'harmònic n .

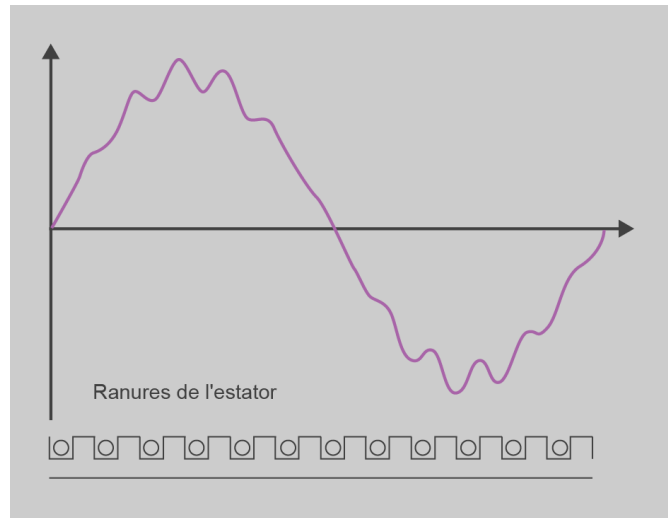
El pas fraccionari en l'estator evita severament la deformació en la tensió de sortida del generador deguda als harmònics que apareixen en la distribució sinusoidal de la densitat de flux, i produeix una petita disminució en la tensió de sortida. El bobinatge de pas fraccionari millora la qualitat de la forma d'ona. A la figura 1.21 tenim el cinturó de pas en un bobinatge de pas diametral amb doble capa.

FIGURA 1.21. Cinturó de pas en el bobinatge de pas diametral amb doble capa



Els espais que hi ha entre les ranures formen variacions regulars de reluctància que originen harmònics en la tensió de sortida; en la figura 1.22 apreciem els harmònics de ranura generats en la densitat de flux de l'entreferro d'aire.

FIGURA 1.22. Harmònics de ranura en la densitat de flux en l'entreferro d'aire



Aquests harmònics de dent o ranura són els número n en funció del nombre de pols (P) i ranures de l'estator (S):

$$K_{ranura} = \frac{2 \cdot M \cdot S}{P} \pm 1$$

A on:

- M = enter que amb valor 1 produeix els harmònics de menor freqüència.
- S = nombre de ranures de l'estator
- P = parells de pols

Si $M = 1$, obtenim les freqüències menors: els harmònics de dent o ranura de menor freqüència són els que faran més nosa.

D'una altra banda, els bobinatges de ranura fraccionària en el rotor per pol, per exemple amb 2,5 ranures per pol, redueixen els harmònics de cinturó i de ranura.

Un altre procediment més comú, fonamentalment en els motors d'inducció, és que els conductors del rotor tenen una lleugera inclinació, de manera que quan mig conductor del rotor està sota una ranura de l'estator l'altra meitat està sota la ranura adjacent. Correspon a una distància d'un cicle elèctric complet de la menor freqüència harmònica de la ranura, i fa que les variacions de flux per harmònics en la ranura es cancel·lin entre elles.

2. Tipus de màquines rotatives de corrent altern i documentació

De màquines elèctriques rotatives de corrent altern, n'hi ha dues grans categories:

- Màquines síncrones
- Màquines asíncrones

Tots dos tipus es poden fer servir tant com a motors com a alternadors, però les síncrones són més aplicades com a alternadors.

Un capítol apart mereixen les màquines monofàsiques, en concret funcionant com a motors, doncs n' existeixen molts tipus diferents, amb característiques de funcionament molt concretes, fruit de les molt diverses aplicacions que tenen.

D'una altra banda, la documentació tècnica relativa a màquines rotatives de corrent altern pot ser molt diversa:

- Documentació tècnica sobre la fabricació (processos, dissenys, etc.)
- Documentació tècnica sobre la instal·lació (esquemes, simbologia, etc.)
- Documentació tècnica sobre manteniment i seguretat

2.1 Màquines síncrones

De màquines síncrones tenim alternadors i motors, i aquestes màquines són més utilitzades com a alternadors.

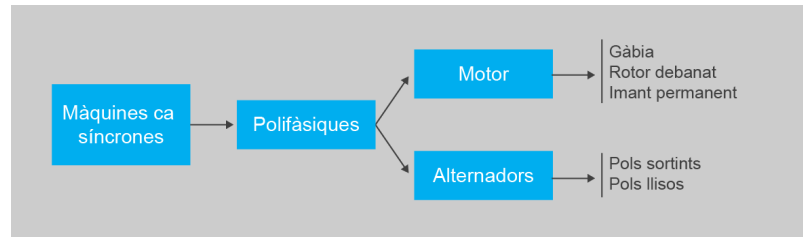
Les característiques diferencials són:

1. Velocitat polar de l'estator igual que la velocitat de gir del rotor, de sincronisme.
2. Velocitat constant en el seu funcionament.
3. Regulació pel bobinatge de camp o excitació.

2.1.1 Alternador síncron

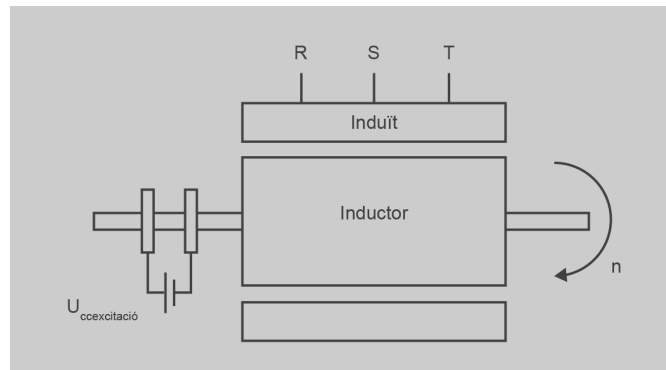
Les màquines síncrones trifàsiques es classifiquen bàsicament segons la figura [2.1](#).

FIGURA 2.1. Classificació de màquines síncrones trifàsiques



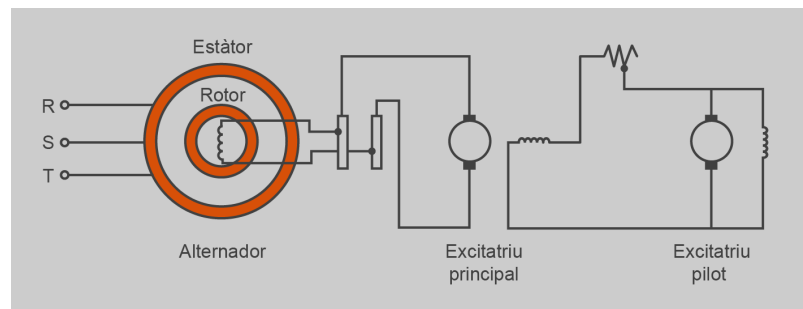
L'induït normalment és trifàsic i se sol col·locar en l'estator (en màquines de petita potència, menor que 10 kW, de vegades se situa l'inductor en l'estator i l'induït en el rotor, i llavors hi ha tres anells en el rotor) com a la figura 2.2.

FIGURA 2.2. Alternador síncron trifàsic



Les grans centrals generadores, per tal de controlar la tensió de sortida, munten grups excitadors, com a sistema d'excitació de grups generadors per l'acoblament amb turbines de gas, vapor i hidroturbines. Aquests sistemes d'excitació consten, tradicionalment, d'una dinamo excitatriu en derivació muntada en l'eix del grup, i la seva sortida s'aplica al rotor de l'alternador per mitjà d'uns anells lliscants amb les seves escombretes respectives. L'excitatriu és un generador de CC convencional, en el qual de vegades se substitueix tota o part de la seva excitació per una excitatriu pilot amb l'objectiu de millorar la rapidesa de resposta. En la figura 2.3 es mostren les excitatrius pilot i principal.

FIGURA 2.3. Excitatriu principal i pilot

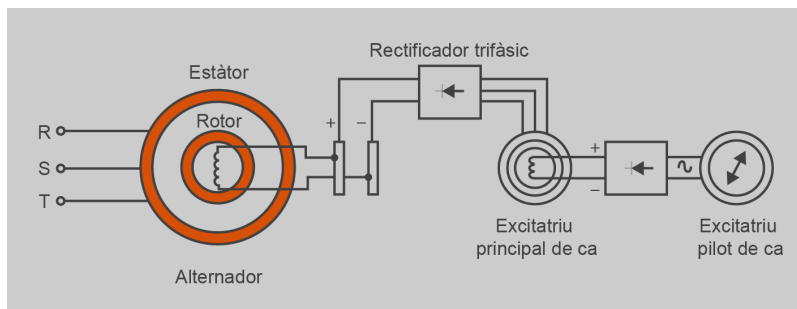


Les màquines síncrones més petites no solen tenir excitatriu pilot i l'excitatriu principal treballa en mode derivació alimentada directament de l'inductor o el camp de l'alternador.

Actualment la regulació de la tensió és electrònica, amb rectificadors controlats de silici que obtenen una amplitud variable de corrent continu segons la figura 2.4.

Per al subministrament de l'energia elèctrica a instal·lacions aïllades, s'utilitzen grups electrògens, en què els seus alternadors utilitzen l'autoexcitació, aprofiten la tensió dels pols de la pròpia sortida del generador i la rectifiquen a corrent continu. El magnetisme restant existent en els pols de la màquina generadora encebarà la màquina. Estem parlant d'un sistema realimentat que permet estabilitzar la tensió de sortida de la màquina, encara que aquesta treballi amb càrregues variables, cosa que dóna una gran autonomia i seguretat al seu servei.

FIGURA 2.4. Regulació de la tensió per rectificador



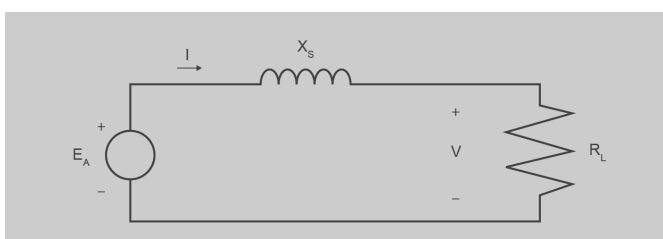
Principi de funcionament de l'alternador síncron

A les màquines síncrones el rotor actua com un electroimant, i un flux de CC ha d'alimentar el circuit de camp del rotor. Aquest corrent, anomenat d'**excitació**, es pot subministrar per una font muntada directament al rotor o per una font externa que el subministri amb escombretes i anells fregants; la font externa s'utilitza en les màquines petites.

Per a una excitació constant la màquina síncrona es mou a velocitat estrictament constant. La freqüència de la càrrega coincideix amb la freqüència de l'induït i és directament proporcional a la velocitat de gir del rotor. És important que la turbina o motor primari que l'arrossega treballi a velocitat constant, i pugui fer el servei de generador de tensió a freqüència constant.

En augmentar la càrrega, com que la f.e.m. (E_A) serà constant si el corrent d'excitació és constant, farà augmentar el corrent (I) i augmentarà la caiguda de tensió en la reactància síncrona (X_s), cosa que es tradueix en una reducció de la tensió de sortida (V). Podeu veure representat l'esquema simplificat de l'alternador asíncron en la figura 2.5.

FIGURA 2.5. Esquema simplificat d'alternador asíncron



$$V = E_A - j \cdot X_s \cdot I$$

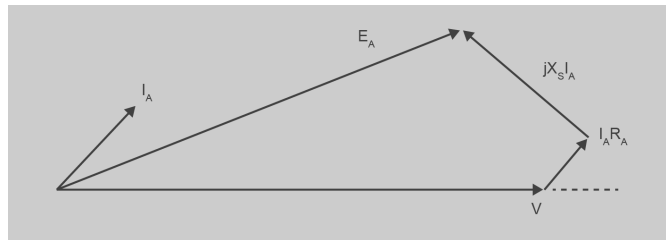
Ara (E_A) la podem variar, variant el corrent de camp en el bobinatge d'excitació; així controlem la tensió de sortida.

Independentment que la màquina síncrona actuï com a generador o com a motor, sempre que consumeixi potència reactiva (Q) es donarà que:

$$E_A \cdot \cos \varphi > V$$

El cas del factor de potència avançat es mostra a la figura 2.6.

FIGURA 2.6. Diagrama vectorial amb FP avançat

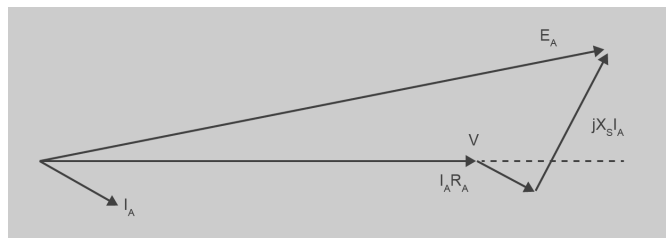


I una màquina síncrona lliura potència reactiva si:

$$E_A \cdot \cos \varphi < V$$

I el seu diagrama està representat a la figura 2.7.

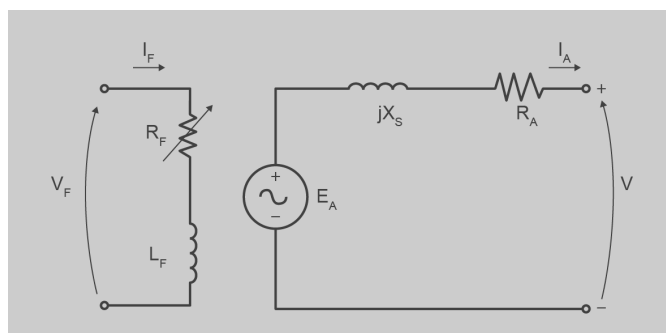
FIGURA 2.7. Diagrama vectorial amb FP en retard



Circuit elèctric equivalent de l'alternador síncron

El circuit equivalent de l'alternador síncron es mostra a la figura 2.8.

FIGURA 2.8. Circuit equivalent sense simplificar



Els valors utilitzats al circuit equivalent per a un generador síncron es determinen en els assajos de buit, curtcircuit i mesura del corrent i tensió de camp, en què es determina la f. e. m. induïda en l'estator (E_A), la reactància sincrònica (X_s) i la resistència de l'induït (R_A).

2.1.2 Motors síncrons

La màquina síncrona, com a motor es diu *motor síncron*. A les figures 32 i 33 en tenim l'esquema per fase i el diagrama vectorial.

FIGURA 2.9. Equivalent per fase del motor síncron

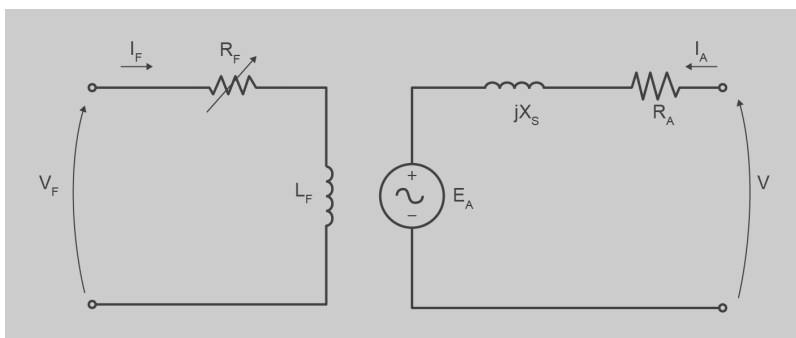
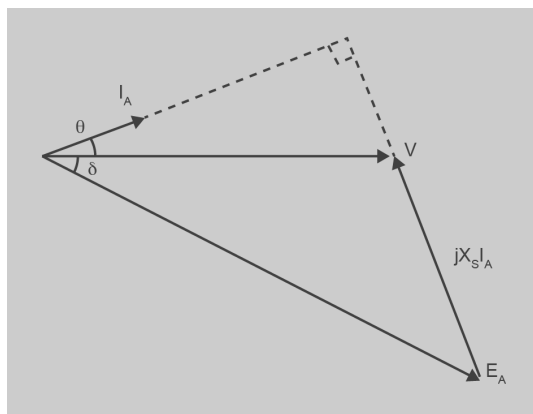


FIGURA 2.10. Diagrama vectorial per fase del motor síncron



La seva utilització és més restringida que els motors asíncrons; encara que s'utilitzen en qualitat de potents motors per a les instal·lacions de força que requereixen velocitat constant. També s'utilitzen aquests motors com a compensadors del factor de potència, ja que tenen la propietat de poder regular el $\cos \varphi$, variant l'excitació, la qual cosa és rentable en grans instal·lacions, com centrals, o fàbriques com les de ciment, on veiem sovint motors sincrònics de velocitat constant en el moviment de les tremuges principals, i així s'aprofiten doblement, i eviten a més la despesa de condensadors addicionals.

En petites instal·lacions, no val la pena utilitzar motors síncrons per corregir el $\cos \varphi$, i la correcció es fa per mitjà de condensadors. Els motors síncrons en petites potències s'utilitzen en servomecanismes i sistemes de control, sistemes

de seguiment, posició, *sincros*, rellotges elèctrics, etc., atès que la seva propietat de mantenir la velocitat constant els fa idonis per a aquests objectius.

Incrementant el corrent de camp, el motor es comporta com una càrrega capacitiva.

2.2 Màquines asíncrones

En màquines asíncrones destaca la fabricació de motors sobre alternadors.

Les característiques diferencials són:

1. Velocitat polar de l'estator (sincronisme) major que la velocitat de gir del rotor.
2. Velocitat variable dins d'un marge.
3. Autoregulació dins d'aquest marge.

2.2.1 Motor asíncron trifàsic

De màquines síncrones, en tenim alternadors i motors, i aquestes màquines són més utilitzades com a alternadors.

Les tipologies de les màquines trifàsiques d'inducció o asíncrones les tenim a la figura 2.11, i les seves representacions a la figura 2.12.

FIGURA 2.11. Tipologies de rotor en les màquines d'inducció

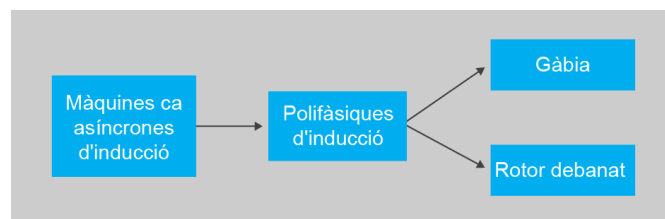
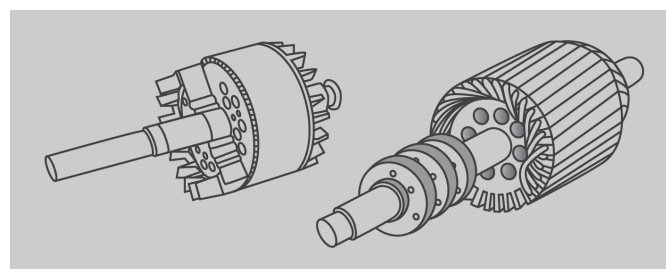


FIGURA 2.12. Rotor de gàbia i rotor debanat



En la caixa de borns, els borns estan disposats de manera que es facilita l'operació d'efectuar la connexió en estrella o triangle segons la tensió de la xarxa que admetin els debanats (la màquina té dues tensions normals, la menor per al triangle i la major per a l'estrella).

El rotor dels motors asíncrons es fabrica en dues varietats diferents, l'enrotllament en curtcircuit, anomenat també *gàbia d'esquirol*, i l'enrotllament debanat, anomenat també d'*anells fregants* (figura 2.12 dreta).

En els rotors en curtcircuit o en la gàbia d'esquirol, hi ha un paquet magnètic amb ranures, similars a les de l'estator; en aquestes ranures es col·loquen barres de coure tancades en curtcircuit per mitjà de dos anells laterals. Aquest tipus s'adopta en motors de potència compresa entre 4 i 15 CV. En els motors de potència inferior a 4 CV, dels que s'utilitzen i fabriquen en grans sèries, la gàbia es fa d'alumini fos, de tal forma que els anells extrems constitueixin també les aletes del seu propi ventilador (figura 2.12 esquerra). En fondre l'alumini, es construeixen d'una vegada les barres, els anells frontals i els dos ventiladors, i s'aconsegueix, d'aquesta manera, gran rapidesa en la fàbrica.

El nombre de ranures de l'estator i del rotor no ha de coincidir, per tal de disminuir al màxim les vibracions i els *parells paràsits* que poden originar inconvenients en el gir de motor, deguts a l'enfrontament entre ranures. A més, les ranures del rotor no segueixen la línia paral·lela a l'eix, sinó que estan lleugerament inclinades, ja que d'aquesta manera es millora l'estabilitat de la màquina.

El rotor amb anells lliscants consta d'un enrotllament trifàsic amb conductors aïllats connectats en estrella; els extrems lliures d'aquest enrotllament estan units amb els anells lliscants fixats a l'arbre del rotor; sobre els anells llisquen unes escombretes per mitjà de les quals l'enrotllament del rotor s'uneix amb un reòstat trifàsic. Aquesta disposició s'utilitza en motors de potència superior a uns 15 CV, i amb aquest procediment s'aconsegueix variar la resistència efectiva del rotor, cosa molt important per a la posada en marxa del motor.

En les ranures ubicades al costat interior de l'estator trifàsic es col·loquen tres debanats idèntics, desfasats 120° elèctrics, i a cada enrotllament trifàsic (entrades U, V, W i sortides, X, Y, Z) els corrents produeixen un camp magnètic giratori.

Es poden construir motors amb 2, 4, 6... i fins a 80.

Principi de funcionament del motor asincron trifàsic

La velocitat de sincronisme del camp magnètic inductor de l'estator en rpm compleix la general de màquines de CA:

$$n_{sinc} = \frac{60 \cdot f}{p}$$

en què:

- p = nombre de parells de pols

- f = freqüència

El parell o moment nominal M_n , és la força d'arrossegament del motor en els valors nominals, expressat en N·m, una força a una distància:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$$

en què:

- P_n = potència nominal

Substituint el valor de la velocitat angular en rpm tenim:

$$M_n = \frac{60 \cdot P_n}{2 \cdot \pi \cdot n_n}$$

I simplificant els valors constants:

$$M_n = \frac{9,55 \cdot P_n}{n_n}$$

El parell i la potència estan lligats proporcionalment al consum de corrent, i podem veure a la figura 2.13 part d'una taula comercial on consten aquests corrents en el motor asíncron a diferents tensions i nombre de pols.

Els corrents estatòrics produeixen un camp magnètic giratori de velocitat síncrona (n_{sinc} , en rpm) que és directament proporcional a la freqüència f dels corrents de l'estator. Aquest camp estatòric actua sobre l'enrotllament del rotor, creant corrents induïts en el debanat rotòric. Els corrents induïts en el rotor també generen un altre camp magnètic giratori, i els camps es concatenen i obliguen el rotor a seguir el moviment.

FIGURA 2.13. Corrents de la sèrie 1LE1 de Siemens

Corrientes nominales con rango de tensión nominal entre 380 V y 420 V a 50 Hz									
Tipo de motor	Tamaños	Corrientes con tensión y nº de polos							
		380 V 2 polos		420 V 4 polos		380 V 6 polos		420 V 8 polos	
		I A	I A	I A	I A	I A	I A	I A	I A
Motores General Line con plazo de entrega muy corto									
Motores con ventilación propia de bajo consumo, de eficiencia aumentada, serie de aluminio 1LE1									
Motores con ventilación externa sin ventilador externo ni capota, de eficiencia aumentada, serie de aluminio 1LE1									
1LE1002-1A.4	100 L	6,2	5,9	5,0	4,9	3,9	4,1	2,49	2,71
1LE1002-1A.5	100 L	–	–	6,4	6,1	–	–	3,55	3,81
1LE1002-1B.2	112 M	8,1	8,1	8,4	8,1	5,4	5,5	4,45	4,6
1LE1002-1C.0	132 S	10,9	10,3	11,5	11,4	7,3	7,7	6,2	6,5
1LE1002-1C.1	132 S	14,5	13,9	–	–	–	–	–	–
1LE1002-1C.2	132 M	–	–	15,2	15,2	9,3	9,4	8,4	8,8
1LE1002-1C.3	132 M	–	–	–	–	13,7	12,9	–	–
1LE1002-1D.2	160 M	21,7	20,7	22,4	22,8	17,0	17,7	10,5	11,6
1LE1002-1D.3	160 M	29,6	28,9	–	–	–	–	13,8	14,6
1LE1002-1D.4	160 L	35,0	33,5	30,0	30,2	23,9	23,8	18,9	19,4

Imatge cortesia de SIEMENS (<http://www.siemens.es/>)

El moviment del rotor s'efectua a una velocitat n en rpm, i per això la velocitat relativa de camp respecte del moviment del rotor serà $n_{sinc} - n$ rpm, de tal manera que com més pròxima sigui la velocitat del rotor respecte a la velocitat del camp giratori n_{sinc} , es tindrà una velocitat de tall de flux del bobinatge del rotor inferior, i llavors la f. e. m. induïda en el rotor deguda al camp disminueix, i també es redueixen els corrents del rotor. La reducció dels corrents rotòrics disminueix el

parell que actua sobre el bloc giratori, per la qual cosa el rotor ha de girar més lentament que el camp ($n < n_{sinc}$); ha de girar asincrònicament.

Aquesta diferència de velocitats ($n_{sinc} - n$) expressada en rpm s'anomena **lliscament absolut**.

El paràmetre s s'anomena *lliscament relatiu* i es mesura en %:

$$s = \frac{n_{sinc} - n}{n_{sinc}}$$

El quocient entre les velocitats ens dóna el lliscament unitari:

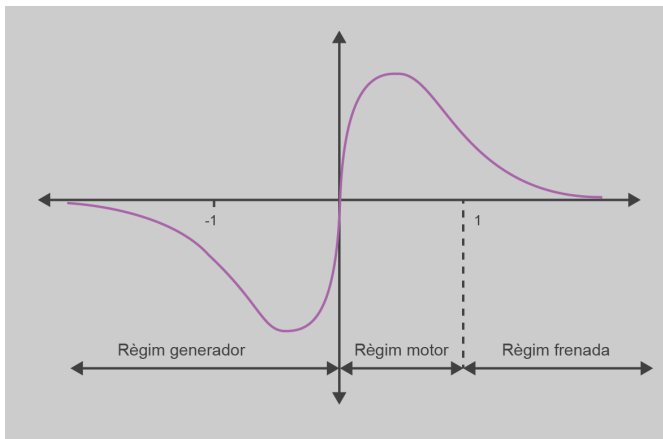
$$\frac{n}{n_{sinc}} = 1 - s$$

El valor del parell intern de la màquina (τ_i) deriva del valor de lliscament (s) a què està funcionant la màquina. Una gràfica de τ_i enfront de s resultaria com la figura 2.14.

La relació segons el lliscament unitari serà:

1. Si $s < 0$ ($1-s$ està aprox. 0%) la màquina està en règim de frenada; s'està aturant.
2. Si $0 < s < 1$ ($1-s$ està entre el 1 i el 100%) la màquina treballa com a motor.
3. Si $s > 1$ ($1-s$ està a més del 100%) la màquina treballa com a generador.

FIGURA 2.14. Règim de treball del motor segons el lliscament unitari



2.2.2 Corbes característiques

Les corbes característiques d'una màquina relacionen entre si diferents magnituds i permeten analitzar el seu comportament en diferents règims de funcionament de manera precisa.

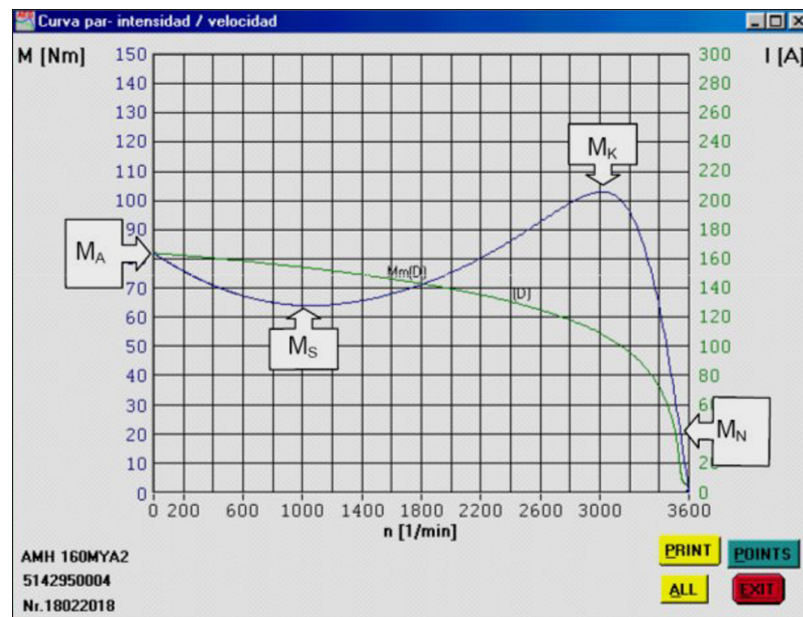
Per a la màquina asíncrona, les corbes característiques més importants són:

1. Corba parell-velocitat
2. Corba corrent-velocitat
3. Característica de velocitat
4. Característica de factor de potència
5. Característica de rendiment

Parell motor i parell resistent

El terme **parell motor** és el mateix que **parell intern**, *moment de rotació*, *moment induït* o *moment de torsió*. La representació parell motor - intensitat en un motor asíncron trifàsic la veiem a la corba de la figura 2.15, i la relació de les corbes parell motor i parell resistent per trobar el punt òptim les trobem a la corba de la figura 2.16.

FIGURA 2.15. Corba del parell motor - intensitat



Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

A la figura 2.15 es pot apreciar el següent:

- M_N : parell nominal o moment a plena càrrega (a la velocitat nominal).
- M_K : parell màxim o moment de desacoblament (màxim en marxa); està situat entre 3 o 4 vegades el nominal.
- M_A : parell d'arrencada (estàtic); està entre 2 i 3 vegades el nominal. Això implica que pot arrencar a plena càrrega.
- M_S : parell de sotrac (mínim entre la parada i el màxim).
- M_M : parell motor.

El parell motor és:

$$M_M = \frac{P_u}{\omega_u}$$

La zona del parell motor per sota del parell nominal s'anomena **zona de baix lliscament**. En aquesta zona la càrrega pot augmentar o disminuir entre el buit i el parell nominal, i dóna un comportament lineal a la velocitat (de sincronisme en buit i menor que el valor nominal) i al parell (0 en buit i fins al parell nominal). La reactància del rotor es menysprea i tenim un $\cos \varphi = 1$. És la zona de comportament normal en estat estable del motor.

La zona del parell motor, entre el parell nominal i el parell màxim, s'anomena **zona de lliscament moderat o alt**. En aquesta zona la càrrega pot augmentar o disminuir entre el parell nominal sense sobrepassar el parell màxim (rotor aturat), i dóna a la velocitat i al parell un comportament lineal perquè el rotor balanceja l'augment del seu corrent amb la disminució del seu $\cos \varphi$. Com més a prop del parell màxim, més lliscament i menys $\cos \varphi$ al rotor.

Si fem girar el rotor a més velocitat que la de sincronisme, el moment de torsió s'invertirà i el motor passarà a ser un generador.

Si canviem dues fases del motor canviarem el sentit dels camps magnètics i el moment induït que generi en sentit contrari el frenarà ràpidament; això s'anomena **fre d'intercanvi de fase**.

La capacitat de sobrecàrrega és:

$$C_s = \frac{M_K}{M_N}$$

El valor de C_s està comprès normalment entre 2 i 3.

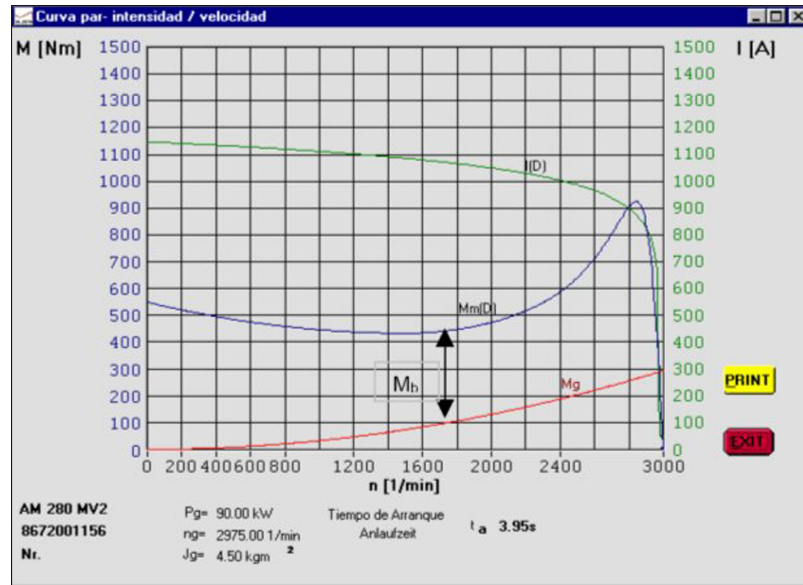
En la corba de la figura 2.16 apreciem:

- M_b : parell d'acceleració, $M_b = M_M - M_g$ (fa que iniciï el gir la màquina)
- M_M : parell motor
- M_g : parell resistent

En el moment que es troben la corba de M_g i la de M_M s'estabilitza la velocitat a nominal.

En augmentar la càrrega mecànica del motor asíncron, el parell resistent del rotor es fa més gran que el parell de rotació i el lliscament (s) creix, mentre que la velocitat (n) disminueix. L'increment del lliscament provoca el creixement de la f. e. m. i dels corrents del rotor, gràcies a la qual cosa augmenta el parell de rotació i s'estableix l'equilibri dinàmic dels moments de rotació i resistent. D'aquesta manera l'augment de càrrega del motor asíncron provoca l'augment del seu lliscament.

FIGURA 2.16. Corba parell motor - parell resistent

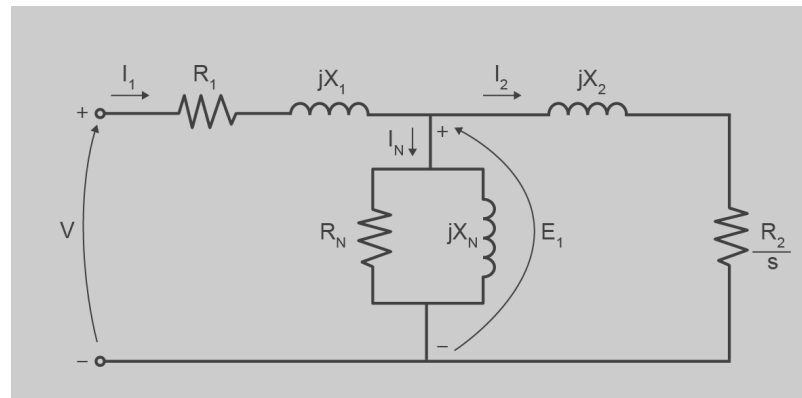


Imatge cortesia de <http://www.motors-electrics.com/>

El lliscament comprés en motors industrials entre el 3 i el 8% i augmenta o disminueix amb l'augment o disminució de la càrrega mecànica. Un augment de càrrega fa el parell resistent més gran que el parell intern, cosa que provocaria un augment de lliscament i de corrent al rotor; això produeix augment del parell motor fins que s'estableix l'equilibri dinàmic amb el moment resistent.

En la figura 2.17 trobem l'esquema equivalent com a transformador del motor asíncron.

FIGURA 2.17. Equivalent com a transformador del motor asíncron



La potència trifàsica és:

$$P_n = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos\varphi \cdot \eta$$

en què:

- U_L = tensió de línia
- I_L = corrent de línia
- φ = l'angle de desfasament

- η = rendiment

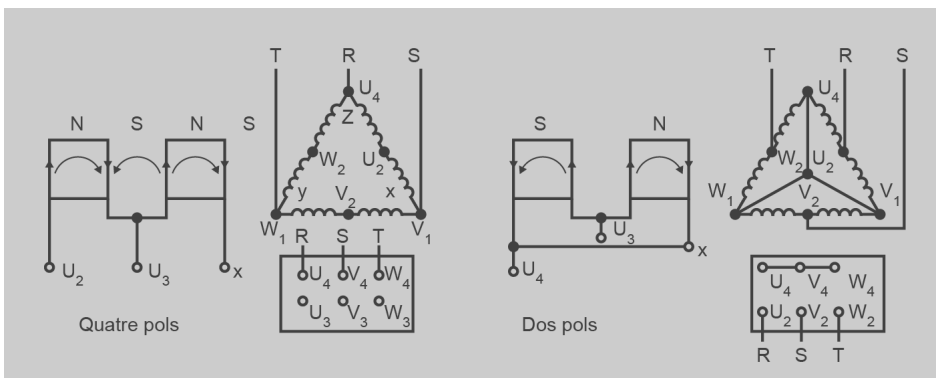
2.2.3 Motor asíncron de pols commutables (motor Dahlander)

La velocitat dels motors asíncrons depèn de la freqüència de la xarxa de l'alimentació i del nombre de pols del debanat, i és sensiblement constant, encara que pot variar una mica amb la càrrega segons la característica mecànica.

Pot variar la velocitat amb el canvi del nombre de pols. Com més gran sigui el nombre de pols del debanat menor serà la velocitat de rotació.

La variació de la velocitat es fa amb diversos debanats trifàsics independents, amb diferent nombre de pols, o amb debanats especials de pols commutables anomenats **Dahlander** (amb relació de pols 2:1), mitjançant preses de connexió intermèdia en cada fase, segons la figura 2.18, amb debanat Dahlander de 2 i 4 pols.

FIGURA 2.18. Connexions del motor Dahlander.



La velocitat dels motors trifàsics asíncrons de rotor bobinat es pot regular variant la resistència d'un reòstat connectat als anells del bobinatge rotòric. L'augment de resistència intercalada en el debanat del rotor obliga a baixar la velocitat de gir del motor per a seguir movent la càrrega mecànica acoblada. Aquest sistema és poc utilitzat perquè disminueix el rendiment del motor per la pèrdua de potència del reòstat.

La velocitat es controla de manera molt completa amb el canvi de freqüència de la xarxa d'alimentació. S'utilitza un convertidor de freqüència associat a un sistema que ajusta la tensió, i la varia en el mateix sentit que la freqüència.

2.2.4 Camps d'aplicació dels motors asíncrons

Els camps d'aplicació dels motors asíncrons es determinen a la taula 2.1.

TAULA 2.1. Aplicacions del motors asíncrons

Aplicació	Tipus 1	Tipus 2	Tipus 3	Tipus 4	Tipus 5	Tipus 6	Tipus 7
Tipus de càrrega	Constant	Variable	Constant	Variable	Variable	Variable	Variable
Arrencades	Rarament	Rarament	Rarament	Rarament	Freqüents	Freqüents	Freqüents
Pics de càrrega	Baixos	Alts	Alts	Alts i freqüents	Alts i de curta durada	Alts	Alts
Parell d'arrencada	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal a alt	Normal
Potència del sistema	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Baixa	Molt alta

Exemples d'aplicació de cadascun dels tipus són:

1. Tipus 1. La majoria de les aplicacions: bombes centrífugues, ventiladors, compressors sense càrrega.
2. Tipus 2. Màquines eina: torns, serres, fresadores, etc.
3. Tipus 3. Compressors, bombes oscil·lants, transportadors carregats.
4. Tipus 4. Premses punxadores d'alta velocitat.
5. Tipus 5. Premses d'estirament, plegadores.
6. Tipus 6. Grues, elevadors.
7. Tipus 7. Extractors.

Aquests exemples de motors són alguns dels que requereixen una execució especial:

1. Motors per a serveis intermitents emprats en mecanismes d'elevació, cabrestants, etc. Requereixen gran robustesa mecànica.
2. Motors per a telers. Tenen un funcionament cíclic ràpid, la marxa és irregular i ruda, i llavors el motor ha de ser excepcionalment robust.
3. Motors per a l'accionament de la maquinària de coberta en els vaixells. L'ambient de treball és molt desfavorable, i s'ha de posar especial atenció en l'aïllament.
4. Motors per a la indústria làctica. La carcassa ha de ser sense nervadures i recoberta d'un vernís especial que en faciliti la neteja.
5. Motors destinats a funcionament sota l'aigua. Han de fer front al problema de funcionament en immersió.
6. Motors per a servei en atmosferes inflamables o explosives. Són motors de seguretat augmentada, amb carcassa blindada per contenir les possibles explosions.

7. Motors de diverses velocitats, per a aquells processos tecnològics que no requereixen una variació contínua de la velocitat, sinó únicament diversos nivells de velocitat diferents.

2.2.5 Alternador asíncron

En l'alternador induït fix es produeixen tres forces electromotrius desfasades entre si un terç de període en tres conductors separats entre si 120° elèctrics ($1/3$ de la distància entre pols del mateix nombre); en total l'induït d'un alternador té (p) parells de pols de 360° elèctrics, perquè en una volta de la roda polar passen sota un conductor p pols del mateix nombre.

En la pràctica, cada fase del debanat induït de l'alternador està format per diversos conductors que formen bobines, connectades de manera que se sumen les forces electromotrius engendrades en els conductors. El bobinatge de cada fase és obert (amb un principi i un final). Les fases han de ser idèntiques i desfasades entre si l'angle característic del sistema (120° elèctrics en el debanat trifàsic).

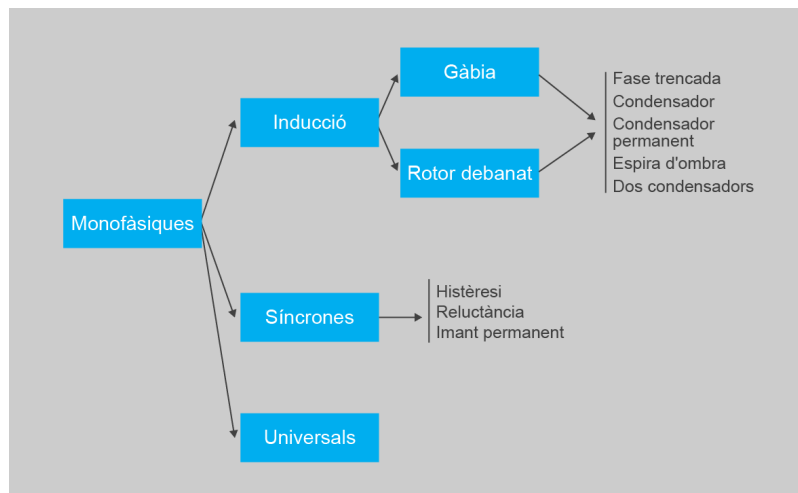
2.3 Màquines monofàsiques

Els motors monofàsics s'utilitzen en multitud d'electrodomèstics, i es classifiquen en els tipus següents:

- Motors amb debanat auxiliar
- Motors universals

Tant els síncrons com els asíncrons tenen debanat auxiliar, exceptuant el de *bobina d'ombra* que no en té, i pertany als asíncrons.

Un motor asíncron o d'inducció monofàsic consisteix en un debanat monofàsic muntat a l'estator i un debanat en una gàbia d'esquirol connectat al rotor. L'estator es connecta a la xarxa d'altern i es produeixen dos camps giratoris que giren a la mateixa velocitat però en sentit oposat; per això per a l'arrencada s'ha de buscar un parell addicional que faciliti la rotació i comenci a girar el motor. A la figura [2.19](#) tenim la classificació de les màquines monofàsiques.

FIGURA 2.19. Classificació de les màquines monofàsiques

2.3.1 Màquines universals

Les màquines universals poden funcionar tant en CC com en CA; també anomenades *monofàsiques en sèrie*, tenen quantitat d'aplicacions, des d'una maquineta d'afaitar fins a una locomotora.



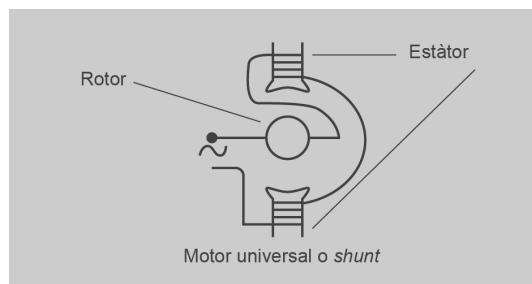
El trepant portàtil és un exemple d'aplicació de motor universal.

Les parts principals del motor de les màquines universals són l'estator i el rotor amb col·lector.

Els bobinatges de l'estator i del rotor estan connectats en sèrie a través d'unes escobretes. El parell d'arrencada se situa en 2 o 3 vegades el parell normal. La velocitat canvia segons la càrrega. Quan augmenta el parell motor disminueix la velocitat.

Se solen construir per a velocitats de 3.000 a 8.000 rpm, i en podem trobar per a 2.000 rpm. Per poder variar la velocitat necessitem variar la tensió d'alimentació, cosa que normalment es fa amb un reòstat o resistència variable.

La figura 2.20 en mostra un esquema.

FIGURA 2.20. Esquema de bobinatge (d'un trepant portàtil)

El canvi de gir és controlable, i només hem d'intercanviar una fase en l'estator o en el rotor (mai en tots dos); això ho farem en la caixa de borns o connexions.

Quan el motor és alimentat, es produeixen corrents que circulen en el mateix sentit, tant a l'estator com al rotor, però en el canvi de cycle canvia el sentit en tots dos, i això provoca l'arrencada del motor. S'utilitzen on es requereix gran velocitat amb càrregues febles.

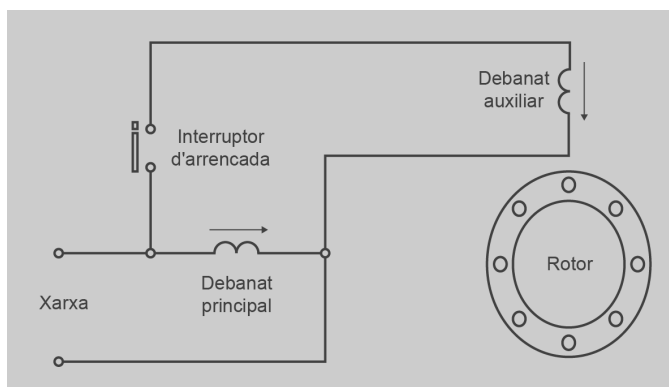
2.3.2 Motor monofàsic de fase trencada

El motor monofàsic de fase trencada consta de dos bobinatges independents a l'estator:

1. Bobinatge de treball.
2. Bobinatge auxiliar, normalment d'alta resistència i baixa reactància; està desplaçat 90° elèctrics i serveix per arrencar el motor.

Per la diferència de reactàncies dels debanats els corrents van desfasats gairebé 90° , i produiran un camp giratori (com si es tractés d'un sistema bifàsic). Tots dos bobinatges es connecten directament a la xarxa, però com l'auxiliar no es dissenya per a servei continu, un cop que la màquina arrenca, un interruptor centrífug treu el debanat auxiliar fora de servei, de manera que el motor queda girant en el sentit de l'arrencada, encara que ara hi ha un camp monofàsic. És un motor amb parell d'arrencada moderat, utilitzat en rentadores, ventiladors, petites bombes centrífugues, mescladores... A la figura 2.21 podeu veure el debanat de fase trencada.

FIGURA 2.21. Debanat de motor monofàsic de fase trencada



2.3.3 Motor monofàsic de condensador

Si al motor de fase trencada li afegim un condensador electrolític, connectat en sèrie amb el bobinatge d'arrencada (figura 2.22), s'aconsegueixen parells

d'arrencada 3,5 vegades per sobre del parell nominal. El rendiment i el factor de potència seran també elevats.

Aquests motors s'utilitzen com a petites bombes de pistó, compressors d'èmbol, cambres de refrigeració, molinets de cafè, màquines eina... A la figura 2.23 teniu la corba parell induït - velocitat del motor amb condensador.

FIGURA 2.22. Motor d'inducció amb debanat trencat i condensador permanent

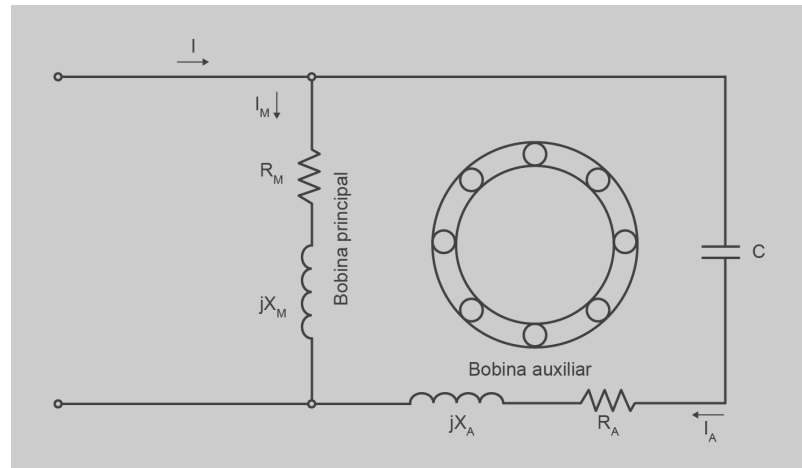
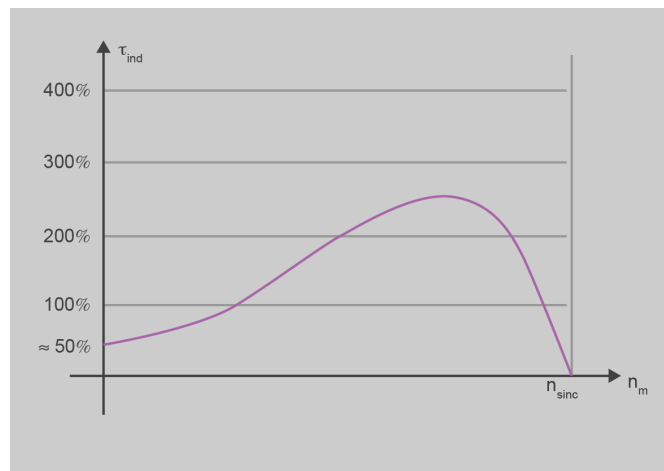


FIGURA 2.23. Corba moment de torsió - velocitat del motor d'inducció amb condensador trencat permanent



2.3.4 Motor monofàsic de condensador permanent

El motor monofàsic amb condensador permanent i la seva corba parell-velocitat els trobem, respectivament, a les figures 47 i 48. Es tracta de mantenir el condensador constantment perquè el gir sigui uniforme; no necessiten interruptor centrífig, són més eficients, amb un moment de torsió més uniforme i més factor de potència que els d'inducció monofàsics, però tenen menys moment d'arrencada que el de condensador.

Hi ha motors que porten dos condensadors: un d'arrencada, que queda desconectat pel centrífug, i un altre per a quan es desconnecta el d'arrencada, anomenats

motor amb condensador d'arrencada i gir; el condensador d'arrencada sol ser entre el 10 i el 20% del condensador de gir. Si canviem les connexions al bobinatge auxiliar canvia el sentit de gir del rotor.

FIGURA 2.24. Motor d'inducció amb condensador d'arrencada i de gir

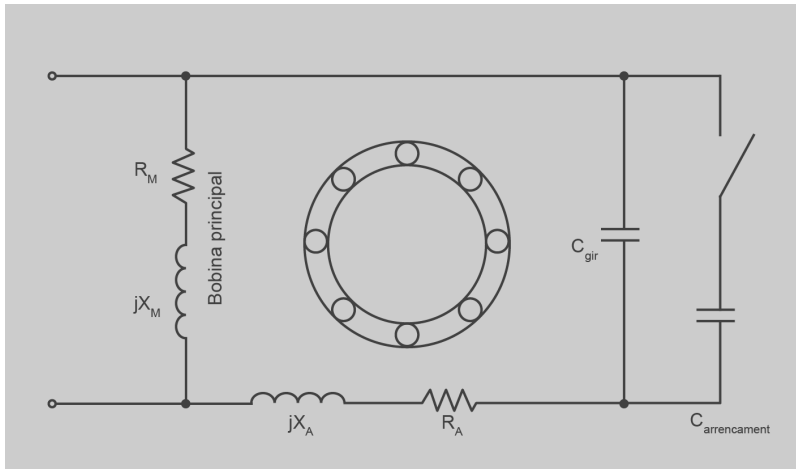
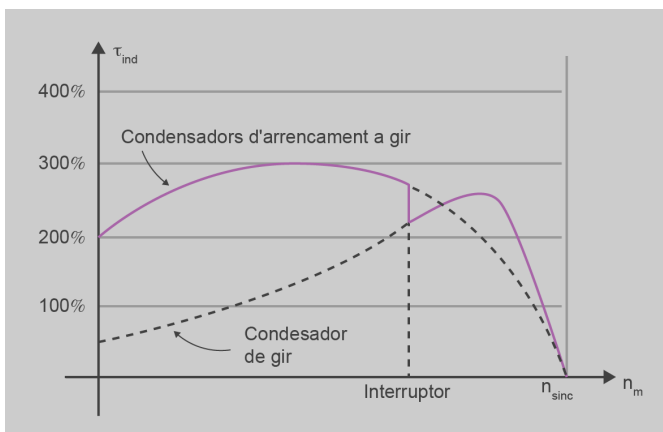


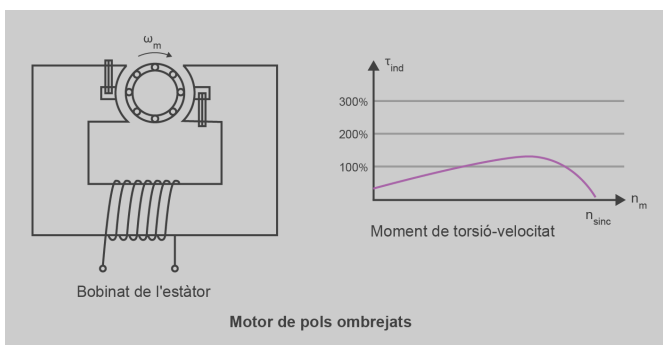
FIGURA 2.25. Corba moment de torsió - velocitat de motor d'inducció amb condensador d'arrencada i de gir



2.3.5 Motor monofàsic amb espira d'ombra o de pols ombrejats

El motor monofàsic amb espira d'ombra és el representat a la figura 2.26.

FIGURA 2.26. Motor d'inducció amb pols ombrejats



Aquest tipus de motor és el més econòmic de fabricar, però al mateix temps no arrossega pràcticament càrrega, i la seva utilització és molt limitada.

2.3.6 Motor monofàsic d'histèresi

El motor monofàsic d'histèresi té un rotor de material ferromagnètic sense sortints ni bobines; és la histèresi la que provoca un camp magnètic que es concatena amb el de l'estator i arrossega el motor.

El parell de torsió serà més gran com més histèresi proporcioni el material del rotor; es comporta com el lliscament en els motors d'inducció. Els rellotges tenen aquest motor amb autoarrencada d'espina d'ombra.

2.3.7 Motor monofàsic de reluctància

En els motors monofàsics de reluctància, el moment de torsió es presenta quan s'introdueix un objecte de ferro, per exemple, i per reluctància genera un altre camp que es concatena amb el de l'estator; el model podria arrencar per si mateix amb un rotor de gàbia o amortidors.

Una variació és el Syncrospede, fabricat als EUA, que introdueix unes guies al rotor per augmentar l'acoblament entre cares polars adjacents. Augmenta en un 150% el moment de torsió màxim, i dona una mica més de moment de torsió nominal que un motor de reluctància convencional.

2.3.8 Motor monofàsic d'imant permanent o pas a pas

El motor monofàsic pas a pas és un tipus especial de motor síncron; el teniu representat a la figura 2.27, i amb un esquema de tensions de control a la figura 2.28.

FIGURA 2.27. Motor pas a pas

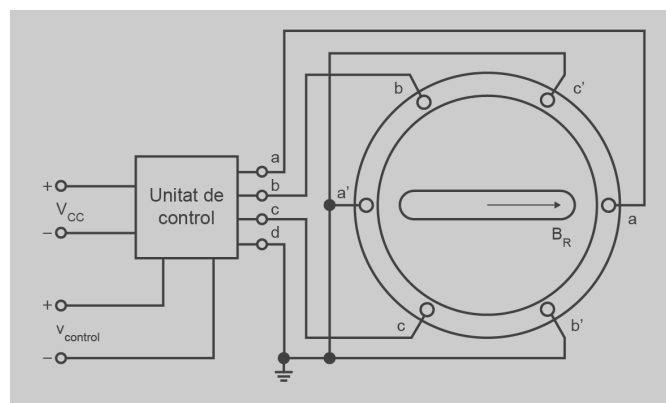
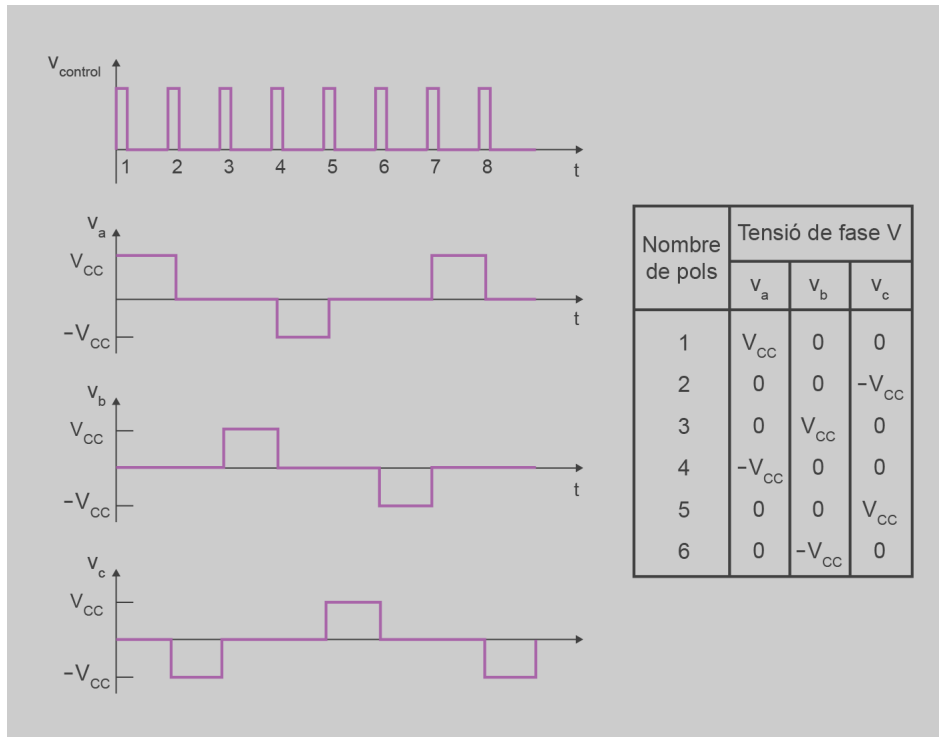


FIGURA 2.28. Tensions al motor pas a pas

El motor pas a pas rota un determinat angle a cada impuls elèctric. Els passos habituals són $7,5^\circ$ o 15° , i són motors molt utilitzats en sistemes de control, ja que l'eix es pot controlar de manera precisa.

Cada vegada que només s'apliqui tensió al bobinatge a , b o c el rotor girarà 120° , i a més podem canviar la polaritat als bobinatges, de manera que ja el farem girar 60° ; si augmentem el nombre de pols a 8 pols ja tindrem el motor pas a pas amb una variació de 15° .

2.4 Documentació tècnica de màquines elèctriques rotatives de corrent altern

L'ús de motors actualment és molt divers; podríem estar parlant de motors de joguines o motors perforadors com els que fan les excavacions dels túnels del metro.

Penseu on s'utilitzen motors de kW actualment: qui els instal·la i en porta el manteniment. Estem parlant de cintes transportadores, bombes impulsores... Tenim una connotació d'entorn industrial, on l'electricista industrial tindrà unes necessitats d'informació diferents si està en el procés de disseny, en el procés de fabricació, en el procés de muntatge o en el procés de manteniment o revisió. Per tant, l'elaboració tècnica de documentació haurà de ser diferent:

- Entrada de matèria primera. Albarans de recepció.
- Disseny. Càlcul i modelatge.

- Fabricació. Fulls de seguiment de les etapes.
- Assajos de verificació de qualitat. Programari tècnic.
- Emmagatzematge. Llista d'estoc.
- Expedicions i servei postvenda. Manuals d'instal·lació i funcionament, normes de seguretat, garanties, certificacions de qualitat, revisions i manteniment.
- Manteniment. Pla de manteniment, full d'avaries i reparacions.

FIGURA 2.29. Característiques de motors per a ventiladors

Motores para ventiladores														Referencia	Precio	Peso
Ventilación externa, sin ventilador externo ni capota, potencia aumentada – Serie de fundición 1PP4																
Datos para selección y pedidos																
Potencia nominal a 50 Hz	Tamaño	Valores de servicio a potencia nominal						Par de arranque	Corriente de arranque	Par máximo	Clase de par	Momento de inercia	Complementos de la referencia para tensión y forma constructiva; ver tabla inferior	Forma constructiva IM B3 aprox.		
P_N kW	Tam.	Velocidad nominal a 50 Hz	Par nominal a 50 Hz	Eficiencia a 50 Hz	Factor de potencia a 50 Hz	Coeficiente de potencia a 50 Hz	Coeficiente de potencia a 50 Hz	Coeficiente de potencia a 50 Hz	Coeficiente de potencia a 50 Hz	Coeficiente de potencia a 50 Hz	Cl.	J				
		n_N min ⁻¹	M_N Nm	η_N %	$\cos\phi_N$ %	$\cos\phi_{0.75}$ %	$\cos\phi_{0.5}$ %	I_N A	M_A/M_N	I_A/I_N	M_K/M_N					
2 polos, 3000 min⁻¹ a 50 Hz, clase de aislamiento 155 (F), grado de protección IP55																
30	180 L	2950	97	93,2	93,3	0,86	0,82	54	2,4	7,1	3,4	16	0,086	1PP4 188-2FA□□	170	
45	200 L	2955	145	94,0	94,1	0,89	0,87	78	2,5	6,9	3,2	16	0,182	1PP4 208-2FA□□	245	
55	225 M	2960	177	95,1	95,3	0,89	0,86	94	2,6	7,3	3,2	16	0,266	1PP4 228-2FA□□	325	
75	250 M	2970	241	94,9	94,9	0,88	0,85	130	2,4	7,1	3,1	16	0,483	1PP4 258-2FA□□	405	
110	280 M	2975	353	95,8	95,9	0,90	0,88	184	2,5	7,0	3,0	13	1,00	1PP4 288-2FB□□	610	
4 polos, 1500 min⁻¹ a 50 Hz, clase de aislamiento 155 (F), grado de protección IP55																
30	180 L	1465	196	92,0	92,2	0,80	0,76	59	2,6	6,3	2,9	16	0,144	1PP4 188-4FA□□	175	
37	200 L	1465	241	92,8	93,1	0,83	0,78	70	2,6	6,5	3,0	16	0,234	1PP4 208-4FA□□	220	
55	225 M	1475	356	93,6	94,1	0,86	0,83	99	2,5	6,5	2,7	16	0,486	1PP4 228-4FA□□	320	
75	250 M	1482	483	94,5	94,6	0,85	0,81	136	2,5	7,0	3,0	16	0,856	1PP4 258-4FA□□	445	
110	280 M	1488	706	95,5	95,2	0,84	0,78	198	2,8	7,9	3,3	16	1,71	1PP4 288-4FA□□	660	

Imatge cortesia de SIEMENS (<http://www.siemens.es/>)

A la figura 2.29 hi ha un fragment d'una taula comercial on teniu les característiques per a motors de ventiladors.

2.4.1 Aplicació de programari de dibuix tècnic i càlcul d'instal·lacions

La singularitat dels programes tècnics estarà d'acord amb la part del procés que estiguem efectuant:

Matlab

El Matlab és un programa de càlcul matemàtic molt avançat i complet, que pot fer càlculs de tot tipus, des de matrius i integrals fins a processos industrials de tota mena.

- El programari de **disseny** correspondrà més a un Matlab.
- Des del punt de vista de **modelatge, esquema de fabricació** i mesures, a la tipologia d'un AutoCAD.
- Si estem en el **procés de muntatge** o volem una presentació més adequada d'un quadrista o un muntador industrial, estariem parlant d'un Elcad, per exemple.
- Les **bases de dades** funcionen en la recepció de matèries primeres, estoc, vendes...

- Un programa de tractament de textos per fer els **manuals** de funcionament, de manteniment...
- El Psim és un programa semblant al Pspice en què es poden simular i visualitzar gràfiques de magnituds característiques en el temps; serveix tant per **entendre el funcionament** o per a **proves i assajos** complicats.

2.4.2 Simbologia normalitzada i convencionalismes en la representació

La simbologia normalitzada s'utilitza en esquemes d'automatismes, instal·lacions, i altres aplicacions, i amb la majoria de programes de representació actuals de dibuix es poden tenir els símbols desats, per a quan es necessiti utilitzar-los, fent la crida al símbol desat i enganxant-lo en el lloc adequat de l'esquema que s'està confeccionant.

Per exemple, es poden fer els símbols amb l'AutoCAD i posteriorment inserir-los com a blocs. A la figura 2.30, figura 2.31, figura 2.32 i figura 2.33 podeu veure símbols utilitzables amb l'AutoCAD i altres programes, amb les seves designacions.

FIGURA 2.30. Símbols

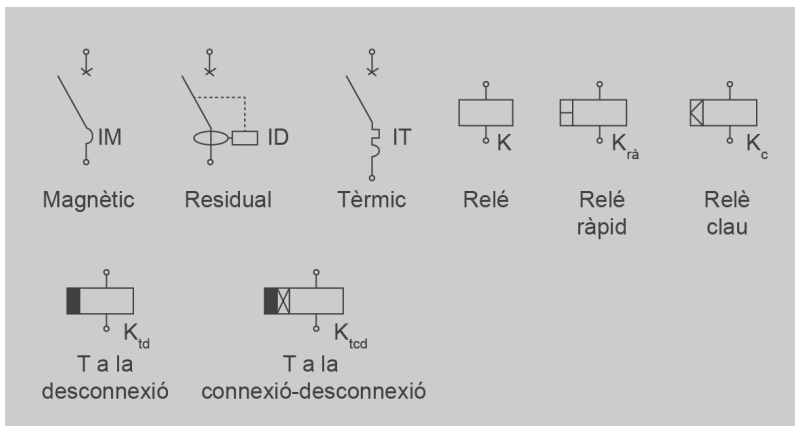


FIGURA 2.31. Símbols

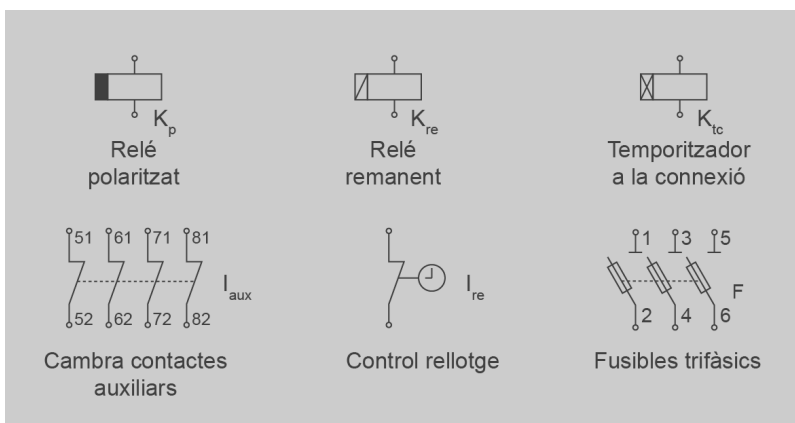
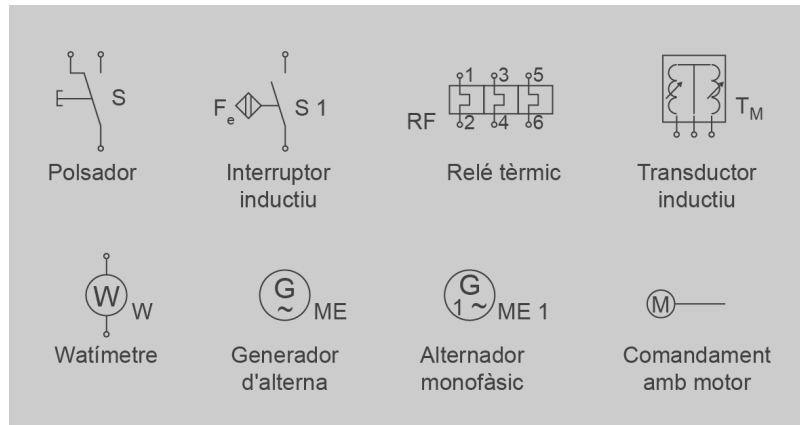
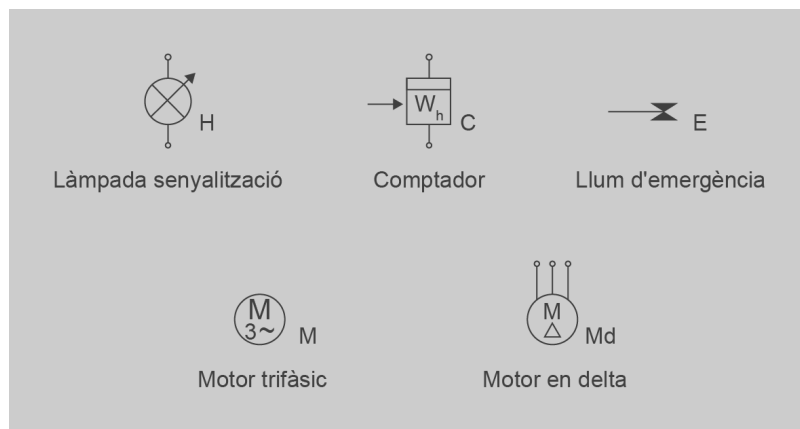


FIGURA 2.32. Símbols**FIGURA 2.33.** Símbols

2.4.3 Plànols i esquemes normalitzats

En terminologia elèctrica els esquemes responen a tres necessitats:

1. Com funciona?
2. Com es connecta?
3. On es col·loca?

En les representacions elèctriques de muntatge d'instal·lacions és molt habitual sentir parlar d'esquemes:

1. Funcionals
2. Multifilars
3. Unifilars

Quan la dificultat de la connexió creix, ja necessitem una representació amb més cura de la importància de les connexions; aquesta tipologia de connexions, que

pertany més a l'ocupació de quadrista o electricista industrial, té dos esquemes diferenciats, que responen a la pregunta de com funciona:

- El de control o maniobra
- El de potència o treball

Aquests esquemes es complementen amb esquemes addicionals:

- De connexions d'armaris
- Unifilars

A la figura 2.34 tenim una marxa-aturada d'un motor trifàsic, i a la figura 2.35, un generador trifàsic arrossegat pel seu motor de continu.

FIGURA 2.34. Marxa-aturada d'un motor trifàsic

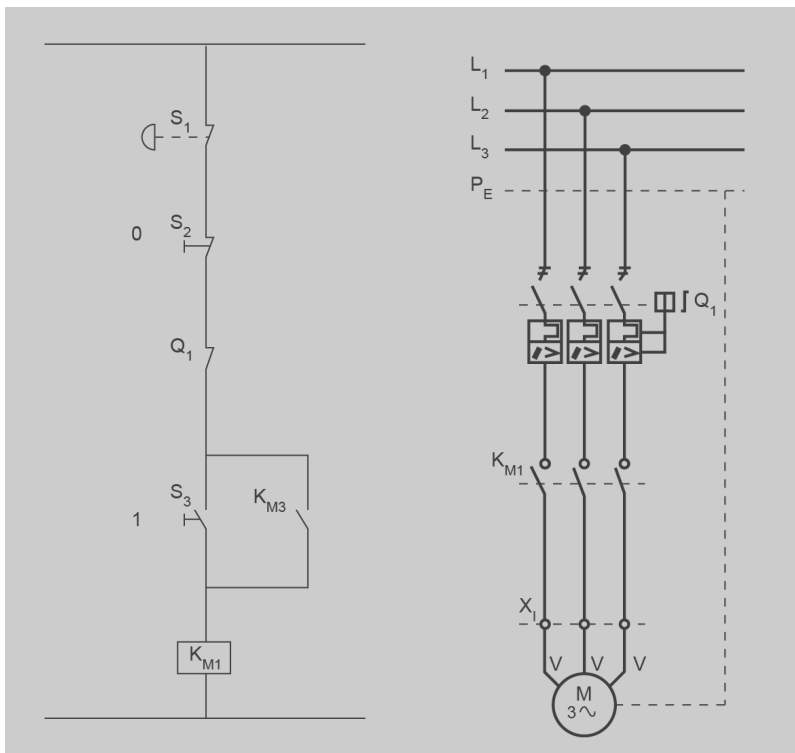


FIGURA 2.35. Generador trifàsic