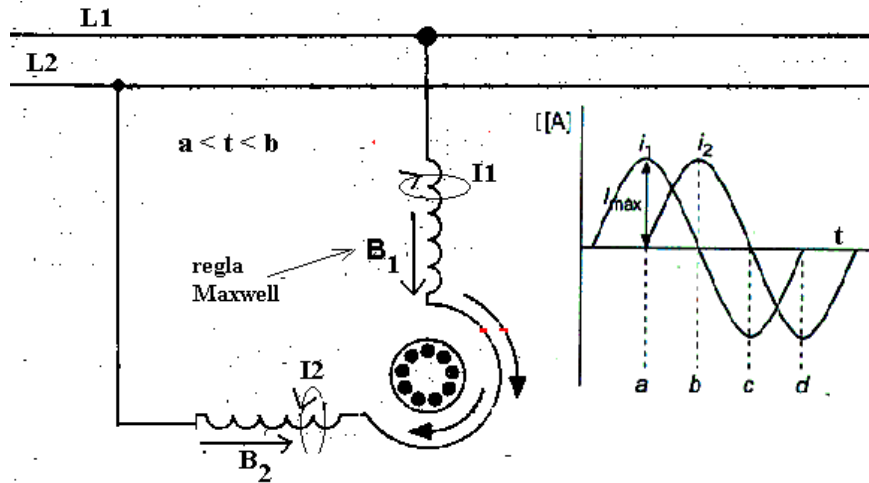


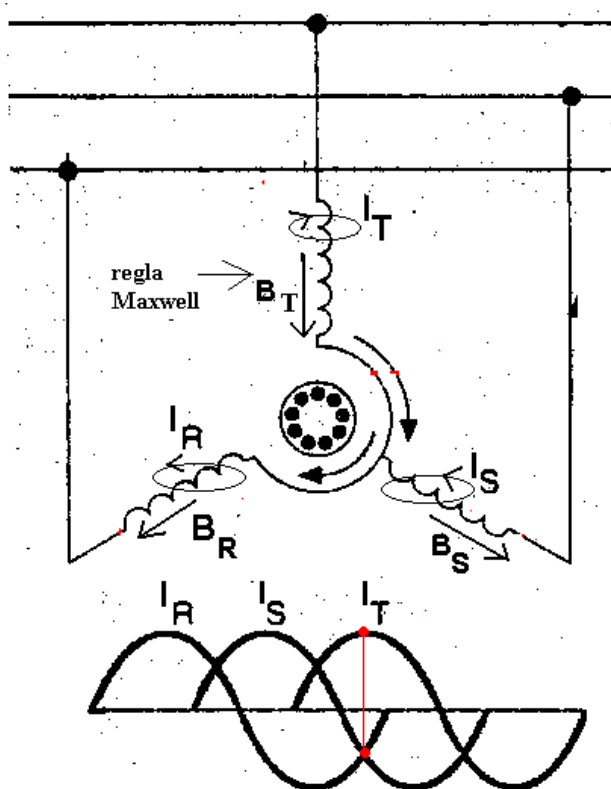
B giratoris



$$\overline{B_1} = \mu \frac{N}{2r} I_{\max} (\sin \omega t) \cdot (0,1)$$

$$\overline{B_2} = \mu \frac{N}{2r} I_{\max} \sin (\omega t - \pi/2) \cdot (1,0) = \mu \frac{N}{2r} I_{\max} \cos \omega t \cdot (1,0)$$

$$\overline{B_T} = \overline{B_1} + \overline{B_2} = \mu \frac{N}{2r} I_{\max} (\cos \omega t, \sin \omega t); B_{Tx}^2 + B_{Ty}^2 = K^2 \rightarrow \overline{B} \text{ és giratori}$$



$$\begin{aligned} \overline{B} &= \overline{B_T} + \overline{B_R} + \overline{B_S} = \\ &= knI_0 \sin (\omega t) (0,1) + \\ &= knI_0 \sin (\omega t - \frac{2\pi}{3}) (-\frac{\sqrt{3}}{2}, -0.5) + \\ &= knI_0 \sin (\omega t - \frac{4\pi}{3}) (\frac{\sqrt{3}}{2}, -0.5) \end{aligned}$$

$$B_x = \frac{\sqrt{3}}{2} knI_0 (\sin(\omega t - \frac{4\pi}{3}) - \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}))$$

$$\begin{aligned} B_y &= knI_0 (\sin \omega t - 0.5 \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3}) - \\ &= 0.5 \sin(\omega t - \frac{4\pi}{3})) ; \end{aligned}$$

Per t=0

$$B_x = \frac{\sqrt{3}}{2} knI_0 (\frac{\sqrt{3}}{2} - (-\frac{\sqrt{3}}{2})) = \frac{3}{2} knI_0$$

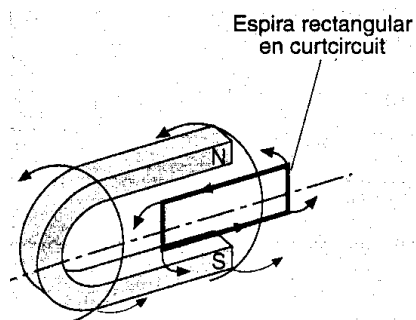
$$B_y = knI_0 (0 - 0.5 (-) \frac{\sqrt{3}}{2} - 0.5 \frac{\sqrt{3}}{2}) = 0$$

A més podem demostrar amb ajuda del Derive : $B_x^2 + B_y^2 = \left(\frac{3}{2}\right)^2 \rightarrow B$ giratori

$$\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\left(\sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) - \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)\right)\right)^2 + \left(\sin\omega t - 0.5\sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) - 0.5\sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)\right)^2 = \left(\frac{3}{2}\right)^2$$



El principi de funcionament d'un **motor de c.a. asíncron** (motor d'inducció trifàsics) és la creació d'un camp magnètic giratori a l'estator que fassi posible girar el rotor arrosegant-lo .



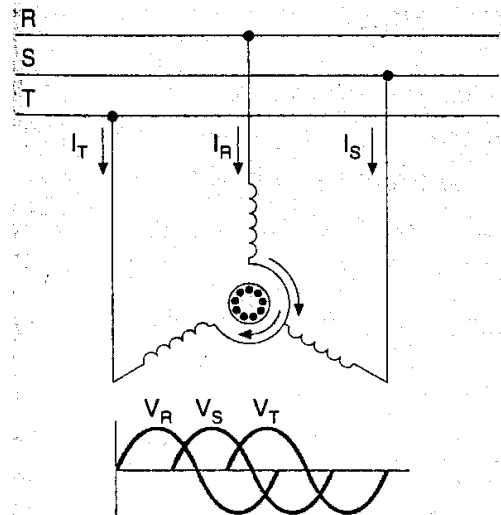
Si fem girar l'imant d'acord amb la llei de Lenz l'espira girarà en el sentit en que minve la causa que provoca que aparegui una intensitat a l'espira curtcircuitada , una variació de flux magnètic . Si gira en el mateix sentit aquesta variació minvarà . Per tant ,la intensitat que aparéix a l'espira es tal que la seva interacció amb el camp magnètic giratori provoca un parell de forces .

A la pràctica per obtenir el camp magnètic giratori es substitueix l'imant giratori per tres bobinatges equidistants a l'estator i alimentats per corrent altern trifàsic (tres corrents desfasats 120°).

$$v_s = \frac{60f}{p} \text{ velocitat de sincronisme del camp}$$

$$\text{magnètic giratori obtinguda a partir de : } f = \frac{v_s \cdot p}{60}$$

L'espira girarà a una velocitat inferior a la velocitat de sincronisme ja que si girés a la mateixa velocitat no estaria sotmesa a una variació de flux.



Lliscament : $S = \frac{v_s - v_{Rotor}}{v_s} = \frac{v_r}{v_s}$; v_r és la velocitat de lliscament .

Observació : Per un motor de c.a (trifàsic o monofàsic)

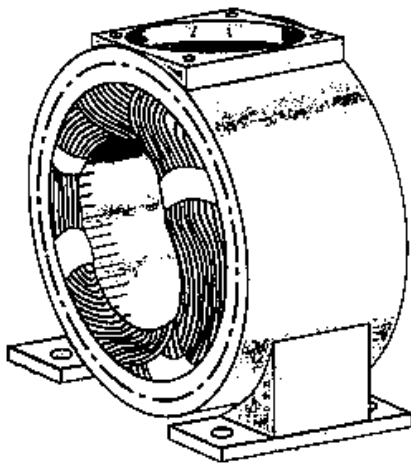
P : nombre de parells de pols per fase

$f_{rotor} = s f_{Bgiratori}$

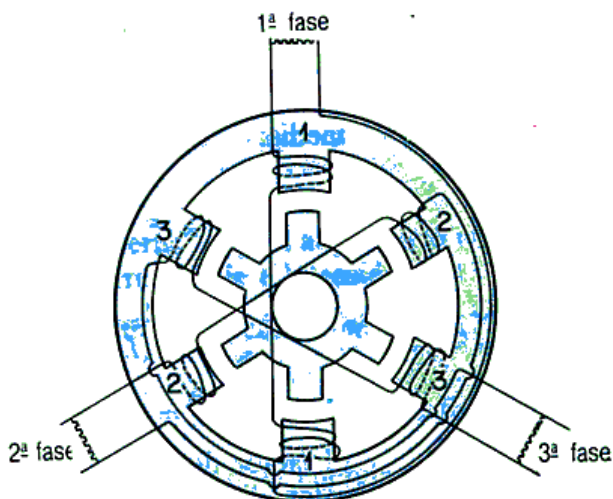
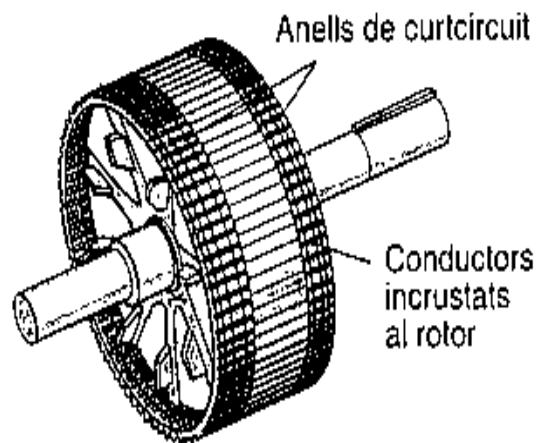
$f_{Bgiratori}$ (sincronisme) = $p f_{estator}$ (xarxa)

Esquema d'un motor c.a asíncron

Estator



Rotor

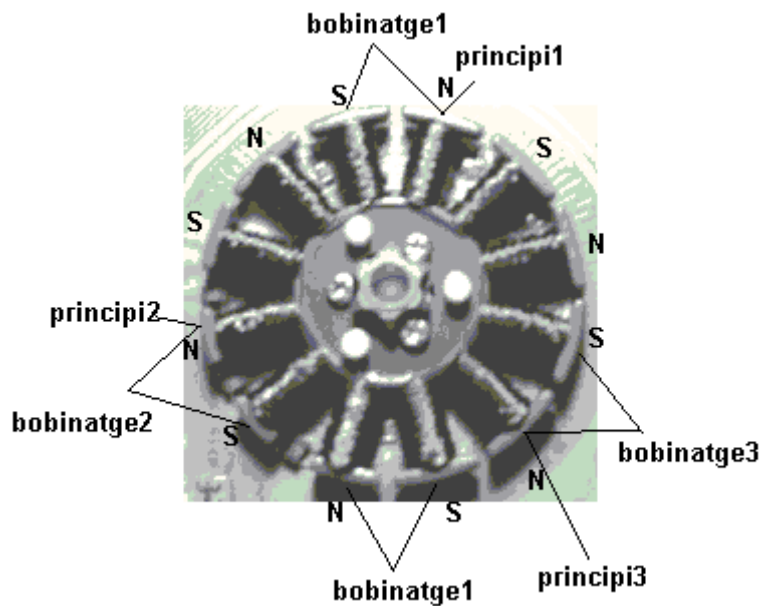


En un motor trifàsic a l'estator hem d'obtenir un camp magnètic giratori .L'obtindrem a partir de tres bobinatges **independents** decalats geomètricament 120° entre ells i amb corrents defassats 120° a més a més . Aquestos 120° geomètrics seria l'angle elèctric que necessitem entre fase i fase (entre bobinatge i bobinatge) per assolir un B giratori .

Ara bé potser que tinguem un estator hexapolar , tres parells de pols (situació més normal) , es a dir un parell de pols per fase . Al rotor hem de tenir el mateix nombre de pols (seria interessant si l'estator i el rotor

estan ranurats , que el nombre de ranures no fos el mateix per millorar la maniobra d'arrencada) .

Si augmentem el nombre de pols millorarem la maniobra d'arrencada en el cas d'un motor (augmentarem la freqüència del corrent obtingut en el cas d'un generador) ja que així serà més difícil deixar un punt mort . Per exemple un motor amb dotze pols ,



tindrà 6 parells de pols , $\frac{6}{3} = 2$

parells de pols per fassa . Ara la distribució elèctrica (120°) no coincideix amb la geomètrica :

$\alpha_{elèctric} = p \cdot \alpha_{geomètric} \rightarrow \frac{120^\circ}{2} = \alpha_{geomètric} = 60^\circ$. Cada 60° tindrà dos parells de pols que equivalen a una fassa .

Com els imants han d'anar alternats el sentit d'arrollament ha de ser diferent en cadascuna de les branques però continua .

Intensitat en un motor de c.a

En curtcircuit : rotor aturat $n=0 \rightarrow n_r = n_s - n = n_s$

La velocitat del camp magnètic giratori (n_s) respecte del rotor és n_s per tant la freqüència del rotor és la mateixa que la del camp magnètic f generat a l'estator .

$$\varepsilon'_{CC} = \varepsilon_{\max} = NBS\omega = N\phi_{\text{inductor}} 2\pi f = K \phi_{\text{inductor}} f \quad ; \quad I_{CC} = \frac{\varepsilon'_{CC}}{\sqrt{R_r^2 + X_r^2}}$$

En càrrega

$$n_s = \frac{60f}{p} ; n_r = n_s - n = \frac{60f_r}{p} \rightarrow s = \frac{n_r}{n_s} = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{60f_r}{pn_s} \rightarrow s \frac{pn_s}{60} = f_r = s \cdot f$$

$$\mathcal{E}'_r = K \phi_{\text{inductor}} f_r = K \phi_{\text{inductor}} s f = s \cdot \mathcal{E}'_{CC} ; X'_r = L\omega = L2\pi f_r = L2\pi s f = sX_r$$

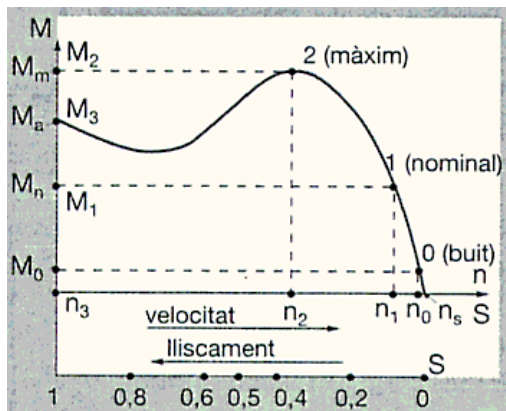
$$I_r = \frac{s \cdot \mathcal{E}'_{CC}}{\sqrt{R_r^2 + X_r'^2}} = \frac{s \cdot \mathcal{E}'_{CC}}{\sqrt{R_r^2 + s^2 \cdot X_r^2}} = \frac{\mathcal{E}'_{CC}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}}$$

$$\text{Factor de potència : } \cos \varphi_r = \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}}$$

$$\Gamma = K \phi_{\text{inductor}} I_{\text{rotor}} \cos \varphi_r = K \phi_{\text{inductor}} \frac{\mathcal{E}'_{CC}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s}\right)^2 + X_r^2}} \frac{R_r}{\sqrt{R_r^2 + s^2 X_r^2}} =$$

$$K \phi_{\text{inductor}} s \frac{\mathcal{E}'_{CC} \cdot R_r}{R_r^2 + s^2 X_r^2} = \Gamma_{\text{rotor}}$$

Si representem Γ_{rotor} en funció de s per un fluxe fixe a l'estator, tindrem el següent gràfic



Comentaris : l'eix horitzontal s'ha graduat des de $n=0$ fins a $n=n_s$ i correlativament en funció de s , des de $s=1$ fins a $s=0$. Quan el rotor està aturat $n=0$ i $s=1$. Quan el rotor gira a la velocitat de sincronisme (impossible) n_s tenim $s=0$.

$n=n_s$ el parell seria nul i no podríem compensar les pèrdues mecàniques i el motor s'aturaria. També podem dir que el motor, el rotor sempre haurà d'anar endarrerit respecte a la velocitat del camp magnètic giratori n_s si

volem que es generi una variació de flux i en conseqüència una intensitat que interaccione amb el camp magnètic giratori i provoqui un parell resultant.

$n=n_0$. Es el funcionament amb buit, sense càrrega, amb una velocitat pròxima a la de sincronisme n_s . M_0 seria el parell necessari per compensar fregament i resistències mecàniques.

$n=n_1=n_n$. Velocitat nominal. Funcionament amb càrrega nominal. $M_1 = M_n$ és el parell nominal necessari per arrossegar la màquina i la càrrega que tingui acoblada al seu eix.
 $90\% < n_n < 97\%$; $0,1 > s > 0,03$

$n=n_2$. Parell màxim Γ_m càrrega màxima recomanable. Si continuarem augmentant la càrrega , frenariem una mica el rotor, reduint la seva velocitat i el lliscament augmentaria , però d'acord amb el gràfic el parell també minvaria i això es tradueix en un funcionament inestable que en aquest cas en particular el portaria a aturar-se .

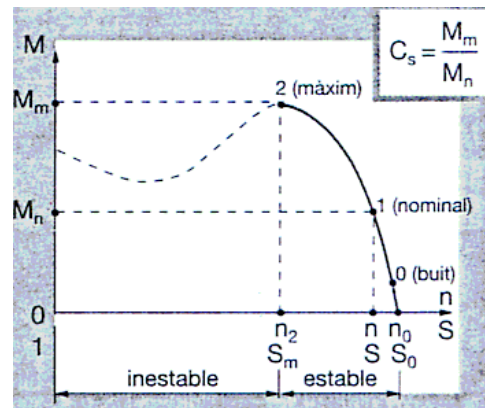
$n=n_3$, $s=1$, $n=0$ rotor aturat , moment de l'arrencada . El parell és M_a i compleix :
 $M_n < M_a < M_m$.

A partir del gràfic podem veure quan el motor té un comportament estable :

($n \uparrow \rightarrow \Gamma \downarrow$ o $n \downarrow \rightarrow \Gamma \uparrow$)

o quan és inestable :

($n \uparrow \rightarrow \Gamma \uparrow$ s'embalaria $n \downarrow \rightarrow \Gamma \downarrow$ s'aturaria)



$C_s = \frac{M_m}{M_n} * 100$ capacitat de sobrecàrrega % .

$200 \% < C_s < 300 \%$ El Parell ,paràmetre mecànic està relacionat amb els paràmetres elèctrics tensió i freqüència de la següent manera :

Variació del parell amb la tensió

$$M = \Gamma = K_r \phi_{\text{inductor}} I_{\text{induïda_rotor}} \cos \phi_r$$

- El ϕ_{inductor} de l'estator és proporcional a la intensitat que passa per l'estator i aquesta a la tensió de la xarxa elèctrica , U .
- $I_{\text{induïda_rotor}}$ és proporcional a la fem ϵ' induïda al rotor , que al mateix temps és

$$\text{proporcional a } \phi_{\text{inductor}} \text{ d'acord amb } \epsilon'_{\text{eficax}} = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}} = K_1 \phi \omega = K_1 \phi_{\text{inductor}} 2\pi f$$

per una f constant . Llavors per $f = \text{cte}$ $\epsilon'_{\text{eficax}}$ serà proporcional a ϕ_{inductor} i en conseqüència a U .

Juntant les dues proporcions obtenim que M és proporcional a U^2 . Per tant podem establir que la variació del moment amb la tensió de la xarxa ve expressada de la següent manera :

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{U_1^2}{U_2^2}$$



Variació del parell amb la freqüència

$$M = \Gamma = K_r \phi_{\text{inductor}} I_{\text{inducta_rotor}} \cos \phi_r$$

El ϕ_{inductor} és inversament proporcional a la freqüència ja que si mantenim ε' constant sense variar el voltatge d'acord amb $\varepsilon' = K_1 \phi_{\text{inductor}} 2\pi f$ podem establir aquesta dependència.

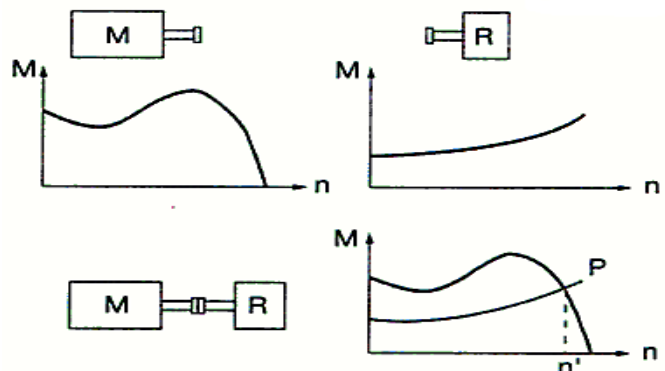
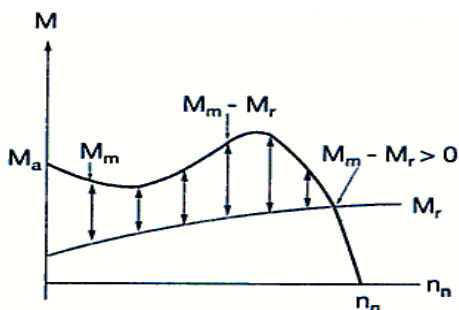
Per una altra part I_{rotor} és proporcional al ϕ_{inductor} . Llavors el parell és proporcional al

$$\phi_{\text{inductor}} \cdot \phi_{\text{inductor}} \text{ i per tant } \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{f} = \frac{1}{f^2} \dots \text{ es a dir } \frac{M_2}{M_1} = \frac{f_1^2}{f_2^2}$$

Arrencada

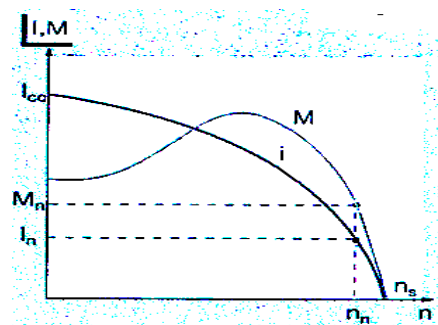
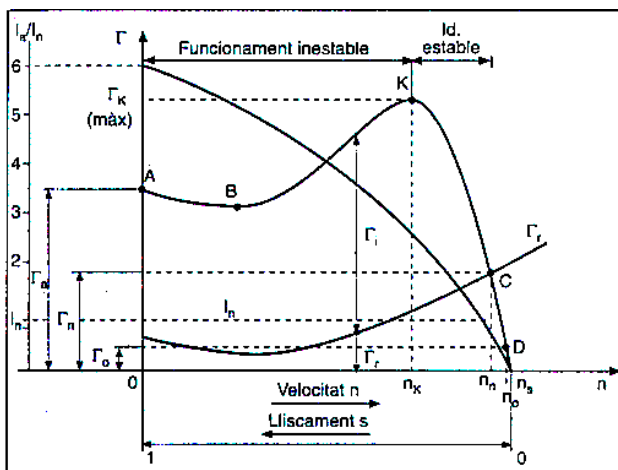
Hem de controlar la gràfica parell-velocitat de la càrrega acoblada al motor :

Al llarg de tota la maniobra d'arranc el $\Gamma_{\text{motriu}} = \Gamma_{\text{motor}} - \Gamma_{\text{càrrega}} > 0$, fins arribar al punt en que s'assoleix la velocitat nominal i el $\Gamma_{\text{motriu}} = 0$.



També es interessant controlar la intensitat en la maniobra d'arrencada :

Superposició de tots els paràmetres



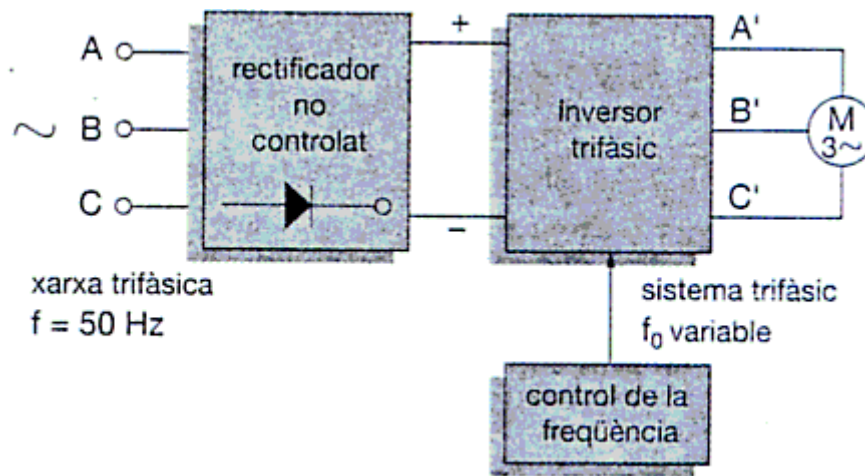
Per controlar la intensitat d'arranc ho farem mitjançant el muntatge estrella-triangle per exemple

Regulació de la velocitat en un motor de c.a

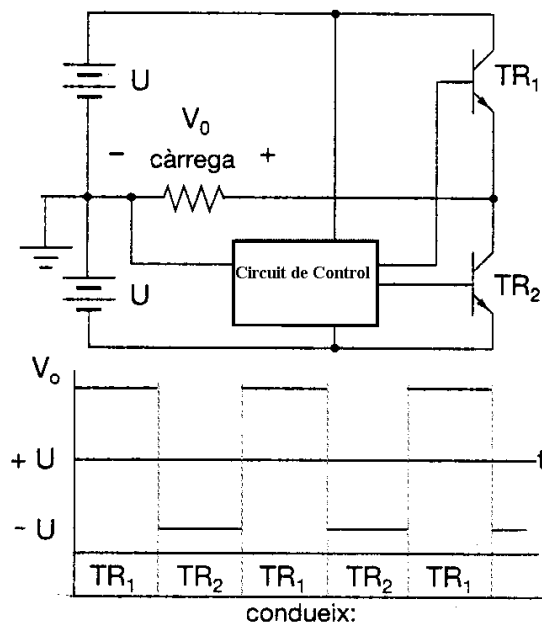
com $v_S = \frac{60f}{p}$ per variar la velocitat hem de variar la freqüència mitjançant el

dispositiu electrònic adient : variador de freqüència , aparell força complex anys enrere però molt perfeccionat en l'actualitat i a un preu més racional .

Aquest aparell electrònic el podem dissenyar a partir del següent esquema :



Inversor



Dels dos transistors només hi pot haver en conducció; l'altre ha d'estar tallat . Poden estar tots dos tallats però mai tots dos conduïnt : en aquest cas hi hauria un curtcircuit en el conjunt de les dues bateries .

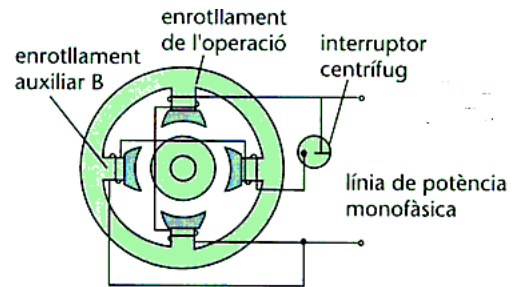
Si condueix TR₁ , la càrrega té una tensió +U respecte de massa ; si condueix TR₂ , la càrrega té una tensió -U respecte de massa . Si fem que els temps de conducció siguin iguals , tindrem per la càrrega una ona quadrada de la freqüència que vulguem . Si ens interessa una ona alterna sinusoidal muntarem un filtre conjuntament amb la càrrega.

Conversió d'un motor trifàsic en monofàsic

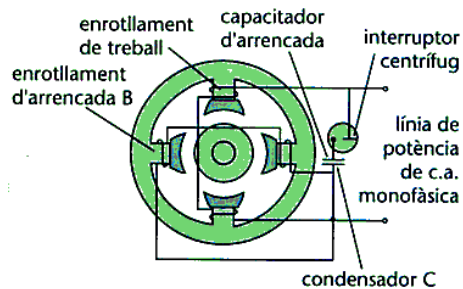
Consideracions

1. A l'hora d'arrancar un motor monofàsic haviem de pensar en crear un camp magnètic giratori durant un cert temps ja que després de l'arrencada el camp magnètic giratori era creat per la superposició del camp inductor i l'induït, desfasats aproximadament 90°. Això ho assolim de dues maneres possibles :

a) Mitjançant un bobinatge en fase partida amb impedàncies diferents a cada part del bobinatge per introduir aquest desfase temporal, a més de trobar-se desplaçats 90° geomètrics



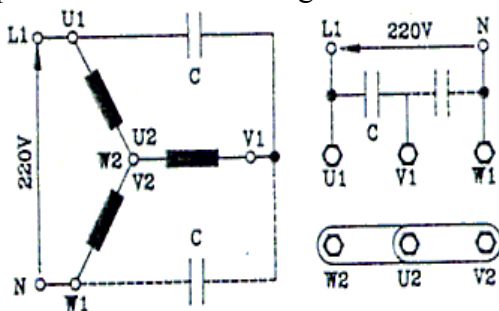
b) Afegint un condensador en sèrie amb el



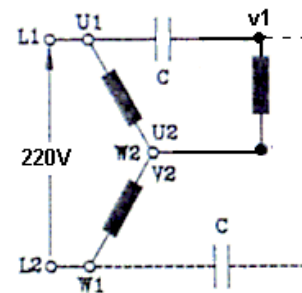
bobinatge auxiliar per introduir un desfase de 90° mes efectiu i que dongui un parell més elevat d'arrencada.

Fetes aquestes observacions podem entendre una mica millor la transformació de trifàsic a monofàsic :

- pasarem de tres bobinatges a dos .



Per entendreu millor l'esquema seria semblant al següent :



$$C = 36 \cdot P_{trif} \cdot \left(\frac{220}{U_L} \right)^2 \cdot \frac{50}{f} (\mu F)$$

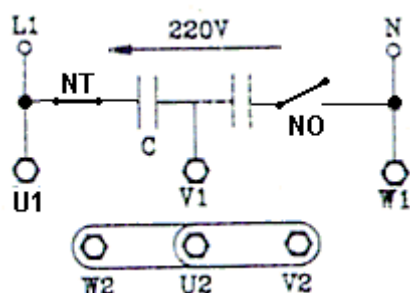
U_L : Tensió de al red monofàsica ; P_{trif} = Potencia del motort trifàsic

Però el que estem fent no es una transformació perfecta perquè els dos bobinatges resultants no estan desplaçats exactament 90° sino més a prop dels 120°. Per aquest motiu hem de parlar d'algunes limitacions amb aquesta transformació :

El parell d'engegada no serà tan elevat com si els bobinatges estiguessin desplaçats 90°, aleshores el parell d'arranc sollicitat estarà força limitat, i solament realitzarem aquesta transformació quan el motor hagi d'arrancar i treballar amb càrrega baixa o sense.

La potència obtinguda amb aquesta transformació tampoc serà la més òptima i eficient llavors la potència sol·licitada o de treball també estarà per sota de la del motor trifàsic, per tant no exigirem al motor que treballi a potències superiors al 70% de la que marca en trifàsic.

En darrer lloc estaria interessant com manipular aquesta transformació per assolir una inversió de gir. Si tenim present que en un motor trifàsic canviant dues fases fem una inversió de gir, podem entreveure que canviant la posició del condensador aconseguirem el mateix objectiu. Al gràfic està representat amb línia discontinua aquesta transformació. Si volguéssim que fos automàtica hauríem de pensar en relés o contactors, amb un contacte de potència NO i un altre de potència NT.



Sense activar la bobina del relé o contactor girarà en un sentit determinat. Quan activem la bobina girarà en sentit contrari ja que el contacte de potència NT s'obrirà i el NO es tancarà.

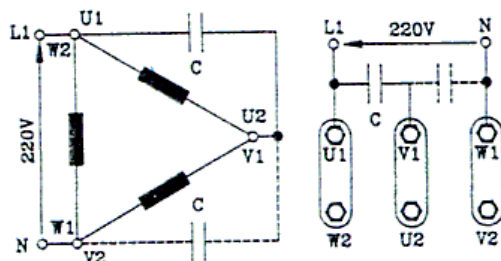
Però hem de pensar en afegir un circuit de control i seguretat a aquesta maniobra, per no fer un canvi bruscat en el sentit de gir. Ho farem a partir de controlar un relé amb el circuit de control o mitjançant la programació d'un automata:

- que converteixca el senyal polsat en un estat estable amb ajuda d'un biestable
- que no permeta girar a la' hora en els dos sentits
- que per canviar el sentit de gir s'hagi d'aturar abans el motor.

Altres transformacions alternatives i possibles de trifàsic a monofàsic serien :

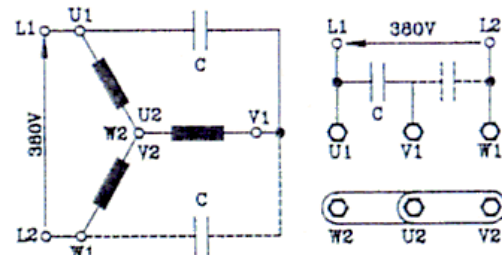
Observació : Hem de pensar també en els trets característics dels bobinatges del motor trifàsic : $125V_T / 220 V_E$; $220V_T / 380 V_E$ per que en funció d'aquests i del voltatge de la línia trifàsica podrem fer una con.nexió en estrella o en triangle o totes dues. El voltatge de l'esquerra és el que pot aguantar cada fase, llavors a partir d'aquí podrem deduir com fer la con.nexió :

El cas que hem tractat seria un bobinatge trifàsic : $125V_T / 220 V_E$. Amb la con.nexió en estrella, 220 V de línia es redueixen aproximadament a 125 V per fase ($V_L = \sqrt{3} \cdot V_F$). Si fèssim la con.nexió a 220V en triangle cremariem els bobinatges.



Triangle. En aquest cas hem de pensar que el motor ha de tenir les característiques :

$220V_T / 380 V_E$. Així si el con.nectem a 220 V en triangle com que cada fase pot aguantar 220 V no hi passaria res. També el podríem con.nectar a 380V en estrella pel mateix motiu explicat abans.



Observació : Si els motors al taller són 220/380 vol dir : si els volem con.nectar en triangle per tenir més potència com a màxim ho podrem fer a 220 V trifàsics. En estrella fins a 380 V trifàsics. Una arrencada estrella-triangle solament a 220 trifàsics.

Exercicis

1. Un motor asíncron trifàsic de 4 pols està connectat a la xarxa elèctrica trifàsica de 380 V i 50 Hz .El rotor gira a una velocitat de 1460 rpm .
 - a) Quina és la velocitat de sincronisme
 - b) Quin és el lliscament
2. El rotor d'un motor de 6 pols gira a la velocitat de 930 rpm, connectat a la xarxa de distribució elèctrica a 50 Hz . Quin lliscament té ?
3. Un motor trifàsic de potència 4 CV gira a 1450 rpm , connectat a la xarxa de distribució elèctrica a 50 Hz. Calcula :
 - a) El parell desenvolupat
 - b) El nombre de pols que té
 - c) El lliscament
4. Un motor asíncron trifàsic de 4 pols i rotor de gàbia d'esquirol està connectat a la xarxa trifàsica de 380 V i 50 Hz. La potència mecànica del motor és de 12 kW, amb un rendiment del 85 % i un lliscament del 4 % . Calcula :
 - a) velocitat de gir del rotor
 - b) parell desenvolupat
 - c) potència absorbida de la xarxa elèctrica
5. De la placa de característiques d'un motor obtenim les dades següents : tensió 220 V / 380 V ; potència : 5,5 kW ; intensitat: 15 A ; velocitat: 735 rpm ; $\cos \varphi = 0,8$. Calcula
 - a) parell
 - b) rendiment nominal .
6. Calcula la velocitat de gir , la velocitat de sincronisme , el lliscament absolut i el relatiu d'un motor d'inducció trifàsic hexapolar , funcionant a 60 Hz . La velocitat de gir és del 95% de la velocitat de sincronisme.
7. Les característiques d'un motor asíncron trifàsic són : 720 rpm ; 50 Hz .
 - a) Quants pols té ?
 - b) Quin lliscament absolut i relatiu té a plena càrrega ?
 - c) Quina és la freqüència de les intensitats en el rotor a plena càrrega ?
8. Un motor trifàsic d'inducció de quatre pols té una potència nominal de 15 kW ; consumeix una intensitat de 30 A amb un $\text{fdp} = 0,85$ quan el connectem a una línia de 380 V i 50 Hz . La velocitat de rotació és de 1430 rpm . En aquest règim de funcionament , calcula :
 - a) la potència que absorbeix el motor
 - b) el rendiment
 - c) el lliscament relatiu

9. Un motor trifàsic té una intensitat rotòrica d'una freqüència de 2,5 Hz a plena càrrega .El motor té dos pols i funciona connectat a una xarxa electrica de 50 Hz. Calcula'n la velocitat .

10 . Calcula el lliscament i la freqüència dels corrents del rotor d'un motor asíncron hexapolar connectat a una xarxa de 50 Hz , quan :

- a) el rotor està aturat
- b) el rotor gira a 100 rpm
- c) el rotor gira a 500 rpm
- d) el rotor gira a 920 rpm

11.Un motor asíncron hexapolar està connectat a la xarxa elèctrica de 50 Hz . A plena càrrega , el lliscament és del 98 % . Quina és la seva velocitat ?

12. Un motor d'inducció trifàsic es controla amb un equip electrònic que permet ajustar la freqüència entre 35 Hz i 75 Hz .Entre quins valors pot variar el parell ?

13.Calcula la velocitat i el lliscament s d'un motor trifàsic hexapolar de $P_n = 10 \text{ kW}$, si quan funciona a plena càrrega ens proporciona un parell útil de 102,73 Nm

14.Calcula la velocitat de sincronis i el lliscament s d'un motor d'inducció trifàsic bipolar que connectat a una xarxa de 220 V i 50 Hz gira a 2820 rpm .

15.EL rotor d'un motor tetrapolar d'inducció gira a 1460 rpm . Si la freqüència dels corrents induïts al rotor és de 50 Hz calcula el lliscament .

16. La placa de característiques d'un motor d'inducció trifàssic és la següent :

$U_N = 400 / 230 \text{ V}$ $P_N = 4,6 \text{ kW}$ $I_N = 10 / 17,27 \text{ A}$
 $f_N = 50 \text{ Hz}$ $\cos\phi_N = 0,78$ $n_N = 1450 \text{ rpm}$

Si el motor està treballant en condicions nominals connectat a una xarxa de 400 V, determina :

- a) El nombre de parells de pols
- b) El lliscament nominal
- c) La potència absorbida
- d) El rendiment
- e) La potència reactiva del motor



Dep. de Tecnologia

Unió Europea

Fons Social Europeu

