

Forma constructiva

El estator tiene la forma de un cilindro hueco, ranurado en su parte interior, constituido por chapas de hierro silicio de pequeño espesor, aisladas entre sí. (Fig.1)

En las ranuras van alojados los devanados de alambre de cobre esmaltado.

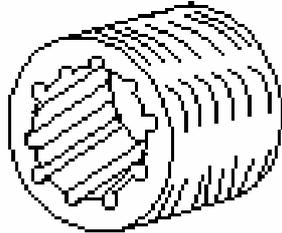


Figura 1

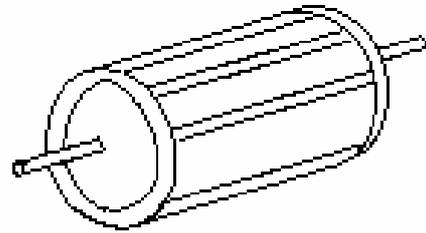


Figura 2

El rotor es en jaula de ardilla, (Fig.2), y en algunos casos, en un extremo del eje es la parte interior del motor. Tiene un condensador, en la parte superior externa del estator (Figura 3).

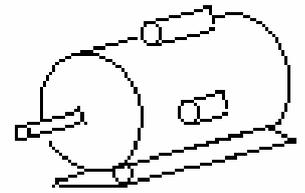


Figura 3

Principio de funcionamiento

Campos rodantes cruzados

Si a una bobina la alimentamos con corriente alterna monofásica, producirá un flujo alternativo, siempre en la misma dirección (el eje de simetría de la bobina). Este flujo sobre una espira, produce fuerzas opuestas que no generan movimiento alguno, por consiguiente esta no gira (figura 4).

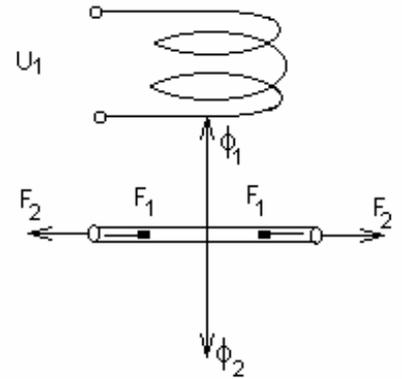


Figura 4

Físicamente, se comprueba que, si a la espira originalmente detenida, se la impulsa en uno u otro sentido, girará a una velocidad n_2 , menor que la síncrona (Figura 5) en el mismo sentido que se la impulsó. Nos preguntamos: ¿cómo es posible esto?; ¿Por qué si lo impulso en una u otra Dirección, continua girando, incrementa su velocidad y desarrolla par motor?

Con el objeto de explicar esto vamos a descomponer el flujo alternativo en dos rotantes de sentido contrario, que giren a la velocidad de sincronismo n_1 , y de Módulos igual a la mitad del flujo máximo.

$$|\phi_a| = |\phi_b| = \left| \frac{\Phi}{2} \right| \quad (\text{figura 5})$$

Esto último puede comprobarse gráficamente o bien matemáticamente, de la siguiente manera:

$$\phi = \Phi \cos \omega t ; \cos \omega t = \frac{e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}}{2} ; \phi = \frac{\Phi}{2} \cdot (e^{j\omega t} + e^{-j\omega t})$$

Esto se debe a que ahora, la espira gira bajo la acción del campo rotante que corresponde al impulso dado. Indudablemente que el otro campo, ejerce su acción negativa sobre éste.

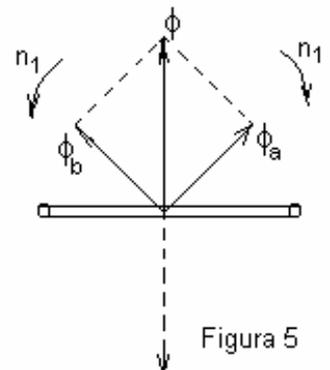


Figura 5

Como tenemos dos campos rotantes, podemos

definir dos resbalamientos: $s_a = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ y $s_b = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1}$

y el resbalamiento total será la suma: $s_a + s_b = 2$ de manera que uno de ellos $s_b = 2 - s_a$

lo que significa que, el resbalamiento del flujo contrario, es muy grande y por consiguiente produce un momento antagónico pequeño (ver fórmula siguiente de M_b).

Momento motor

Para los dos resbalamientos dados, corresponden los momentos:

$$M_a = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{m_1}{n_1} \cdot \frac{R_{21} \cdot I_{21a}^2}{s_a} \quad \text{y} \quad M_b = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{m_1}{n_1} \cdot \frac{R_{21} \cdot I_{21b}^2}{2 - s_a}$$

para los que, dando valores y representando gráficamente (Figura 6), se obtiene:

- $s = 0$; $M_a = 0$; $M_b = k / 2$
- $s = 1$; $M_a = k$; $M_b = k$
- $s = 2$; $M_a = k / 2$; $M_b = 0$

y el momento total: $M_r = M_a + M_b$

De esto último concluimos:

1. Este motor no tiene momento de arranque, no arranca solo. Habrá que proveerlo de un medio auxiliar para ello.
2. Gira en ambos sentidos con el mismo momento.
2. El campo antagónico, disminuye el momento que tendría sin éste.

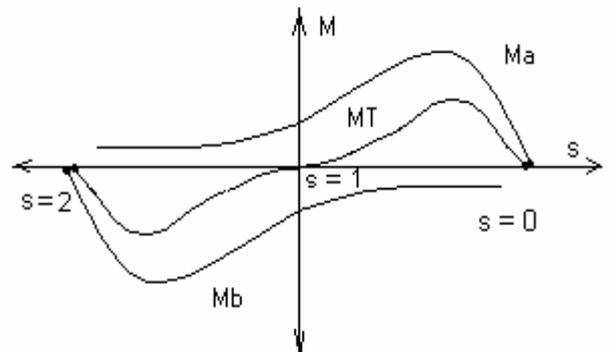


Figura 6

Por esto es que este motor tiene menor momento que un trifásico equivalente. No obstante, se construyen los motores monofásicos con igual momento que los trifásicos, a igual potencia y velocidad, pero para tener igual M que el trifásico necesitamos mayor Φ ($M = k \cdot \Phi \cdot I$) y por consiguiente mayor acción del circuito magnético ($\Phi = B \cdot S$).

4. Toma más corriente que el trifásico de igual potencia.

Arranque

Como este motor no tiene momento de arranque, se recurre a un artificio para obtener un campo rotante, que lo saque de esa posición de equilibrio estático. Según las formas que se adopten para obtener dicho campo rotante, dan origen a distintos tipos de motores.

TIPOS DE MOTORES

1. Motor con fase auxiliar arranque resistivo

El estator posee dos devanados, uno principal o de marcha y otro auxiliar o de arranque (Figura 7), colocados a 90° eléctricos entre sí. Las impedancias de los devanados son distintas, produciendo un desfase del orden de los 25°. Esto se obtiene con distinto número de espiras y construyendo además el devanado de arranque con alambre más delgado (mayor R, menor costo). Al tener dos corrientes

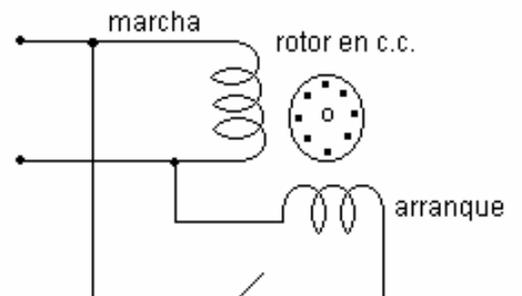


Figura 7

desfasadas 25° que circulan en dos devanados desfasados 90° , se obtiene un campo rotante imperfecto (Figura 8) pero suficiente para sacar de su posición de reposo al rotor, el que se pone en movimiento.

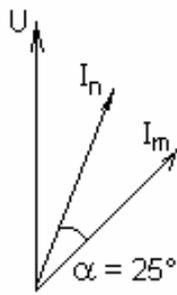


Diagrama vectorial

Figura 8

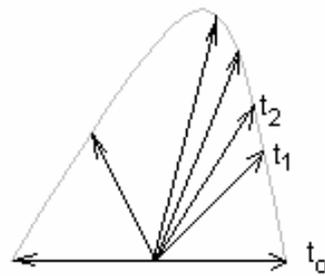
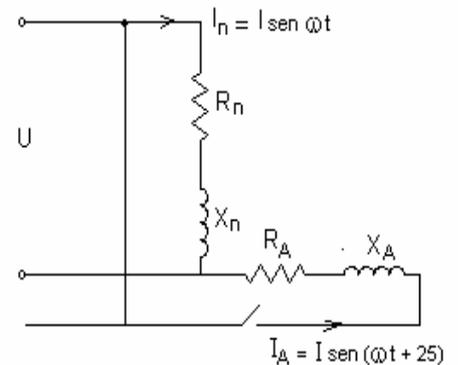


diagrama de flujos

Figura 9



Circuito Figura 10

Cuando el motor alcanza una velocidad de alrededor del 75% al 80% de n_l , un interruptor centrífugo o un relé desconecta el devanado auxiliar, ya que, al estar construido con alambre más delgado, se quemaría en trabajo continuo. El motor continúa trabajando con el flujo alternativo. Es decir, arranca con campo rodante imperfecto y gira bajo la acción del campo alternativo.

2. Motor con capacitor de arranque

Este motor posee un condensador, del orden de 75 a 350 μF , en serie con la fase auxiliar (Figura 10).

Al aumentar el ángulo entre las corrientes, cercano a los 90° (Figura 11), mejora notablemente el momento de arranque.

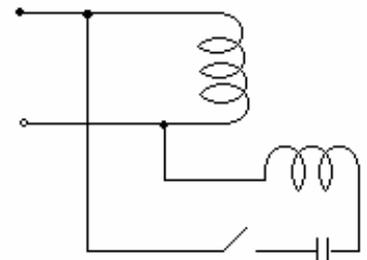


Figura 10

El condensador utilizado es del tipo electrolítico, (recordar que es polarizado), especificado para corta duración en alterna, por ejemplo, para no mas de 20 operaciones de 3 segundos por hora.

En este caso, el interruptor también cumple la función de desconectar al condensador electrolítico porque sino se destruiría.

Debe tenerse en cuenta que es posible que la tensión en el condensador, sea considerablemente mayor que la de línea, debido a los fenómenos de resonancia en los circuitos R-L-C.

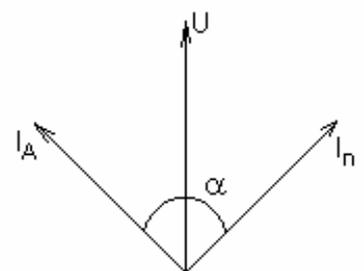


Figura 11

Como todos los motores mencionados anteriormente, funcionan con el devanado principal solamente, por consiguiente sus características de funcionamiento son similares.

Cálculo del capacitor

El valor de la capacidad se puede elegir de modo que, en el arranque, las corrientes y por consiguiente los flujos generados por ellas, estén desfasados 90° . De este modo se tendrá un campo giratorio circular, no habrá campo antagónico, y se desarrollará un gran momento de arranque. Por supuesto que esto es sólo válido para el arranque, lo que ya es una gran ventaja, porque después las corrientes varían en módulo y fase.

Se demuestra que la capacidad necesaria para crear un campo rotante circular, esta determinada cuando la potencia del condensador Q_c , es igual a la potencia aparente del motor a plena carga Q_m .

Ejemplo

Un motor monofásico, con fase auxiliar, arranque con capacitor, tiene las siguientes características:

0,5 CV; 2.800 rpm ; 4.1 A; $\cos \varphi = 0.74$

$M_a / M_n = 2$; $I_a / I_n = 3,4$; condensador de 40 μF en 280 V.

Verificación:

potencia aparente del motor: $Q_m = 220 \text{ V} \cdot 4.1 \text{ A} = 902 \text{ VA}$

la potencia del condensador es: $Q_c = w \cdot C \cdot u^2$

como deberá ser: $Q_c = Q_m$

será: $C = Q_m / w U^2 = (902 \text{ VA} / 314 \cdot (280)^2) \cdot 10^6 = 36,6 \mu\text{F}$

donde el comercial más próximo es de 40 μF .

3. Motor con capacitor permanente

Este motor funciona con los dos devanados conectados permanentemente, el auxiliar en serie con un condensador para corriente alterna (aceite, cerámico, etc.) (Figura 12).

Trabaja como motor bifásico, produciendo un campo rotante imperfecto, pero mejor que en los anteriores (Figura 13). Por el tipo de condensadores disponibles, éstos son de baja capacitancia, lo que resulta en momentos de arranque bajos, hasta un 50% del nominal.

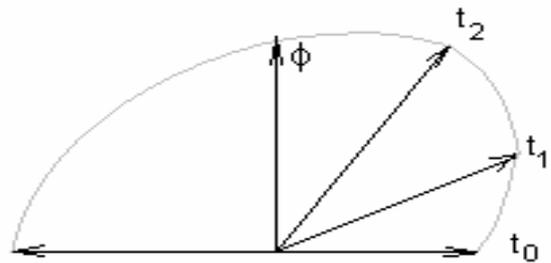
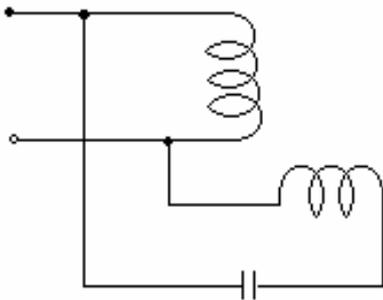


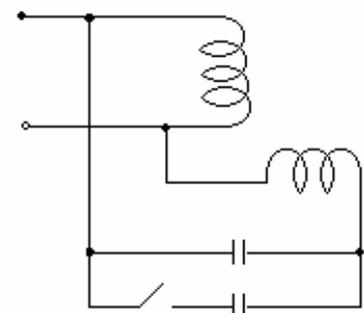
Figura 13

4 Motor con capacitor de arranque y marcha

Para que el motor con condensador permanente sea capaz de desarrollar un alto momento de arranque, es necesario tener una gran capacidad en ese momento

I_s grande y muy desfasada) y si al mismo tiempo se requiere un funcionamiento satisfactorio en marcha, se necesitará otro valor de capacidad para ello, menor en este caso I_n menor y poco desfasado. O sea necesita valores distintos de capacidad para el arranque que para la marcha.

Para el arranque se dispone de un condensador electrolítico, que tiene gran capacidad, 10 o más veces que el de marcha, a través de un interruptor, por ser de servicio intermitente. Para la marcha, de un condensador en aceite o cerámico, de baja capacidad y funcionamiento permanente.



Son los motores mejores pero más caros, dentro de su tipo.

5. Motor con polos sombra

Características constructivas

Los motores bipolares son como los de la Figura 15 y los tetrapolares como los de la Figura 16.

El estator se caracteriza por tener, en un extremo de la expansión polar, una espira cortocircuitada de gran sección.

El rotor, es normalmente en jaula de ardilla.

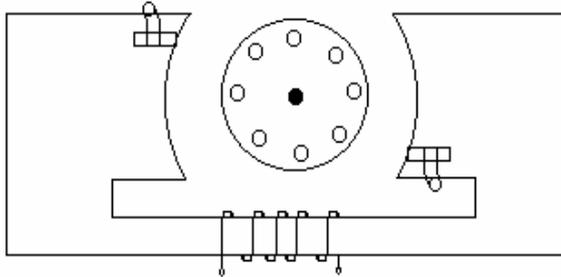


Figura 15

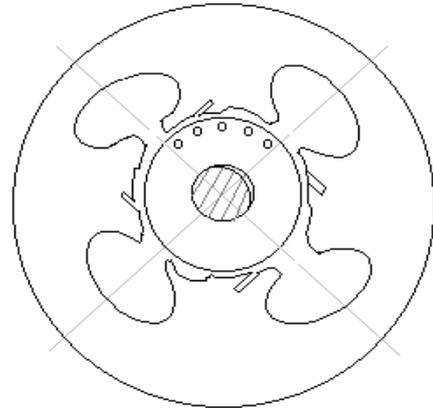


Figura 16

Principio de funcionamiento

Analizando un ciclo de la onda de alter principal ϕ_p es creciente y en un cierto sentido (Figura 18).

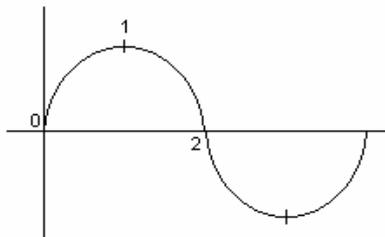


Figura 17

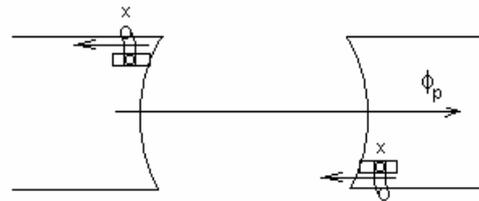


Figura 18

Al atravesar las espiras en cortocircuito, inducen en ellas corrientes que se oponen a la variación del flujo, debilitando a éste en la parte superior e inferior de cada polo, haciendo que el flujo circule de la parte inferior a la superior, ϕ_{01} en la Figura 19.

En el intervalo 1-2 el flujo disminuye, las corrientes inducidas en las espiras, se oponen a la disminución (Figura 20), reforzándolo de la parte superior a la inferior, en el sentido Φ_{12} de la Figura 19, es decir, el flujo a girado un ángulo α .

Continuando con análisis similares para los intervalos restantes, se concluye que el flujo resultante produce un giro por ciclo, es decir se ha generado un campo rodante. El motor funciona bajo el principio de campo rodante sobre un rotor en cortocircuito.-

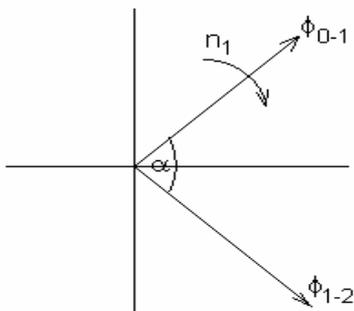


Figura 19

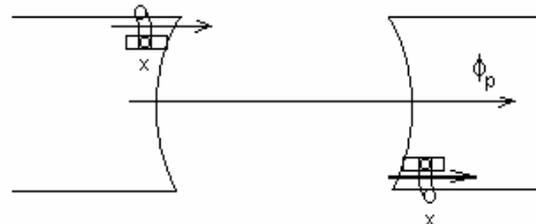


Figura 20

Para mejorar el camino del campo magnético rodante se suelen insertar shunts magnéticos entre los polos; y para aumentar el momento de arranque se construye el entrehierro no uniforme (Figura 16).

El sentido de giro es fijo, queda determinado por la posición de las espiras de sombra, gira en el sentido que va desde la superficie libre a la cortocircuitada en el polo.
El momento de arranque suele valer: $M_a / M_n = 0, 0,5$

Las malas condiciones de arranque son debidas al 3° armónico del campo giratorio, el que provoca una disminución considerable del momento para la frecuencia de rotación igual a 1/3 de la sincrónica. La 3° armónica del campo genera corrientes en el inducido, que a su vez crean un momento. Para disminuir esto armónico se utilizan:

- a) shunt magnéticos entre polos
- b) aumento de entrehierro en la zona anterior del polo
- c) varias espiras en c.c. de distinto ancho

CURVAS CARACTERISTICAS

En la figura 21, se muestran las curvas "momento-velocidad" en forma comparativa, para los distintos tipos de arranque.

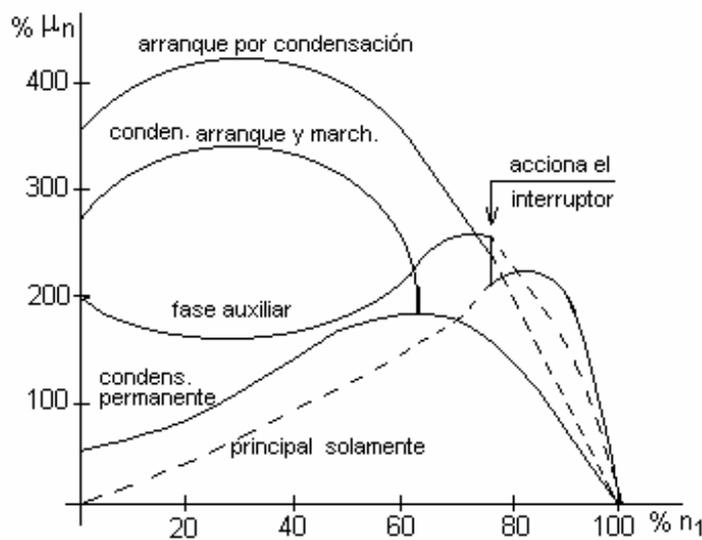


Figura 21

OTROS MOTORES MONOFÁSICOS A INDUCCIÓN

Existen otros motores monofásicos, cuya construcción es similar a los de corriente continua, es decir tienen colector, denominados "motores a repulsión". Tienen las características de un motor serie, con alto momento de arranque y el cambio de velocidad y sentido de giro se efectúa por el desplazamiento de las escobillas. Se estudian bajo la clasificación de "motores para corriente alterna con colector".

INVERSIÓN DEL SENTIDO DE GIRO

En los motores con fase auxiliar, para invertir el sentido de giro, se debe invertir la conexión de uno de los dos devanados. Esto produce la inversión del campo rodante de arranque. Para posibilitar esto es que la bornera posee 4 bornes: 2 para el principal, y 2 para el auxiliar

Un ejemplo de conexión con llave inversora es el de Figura 22.

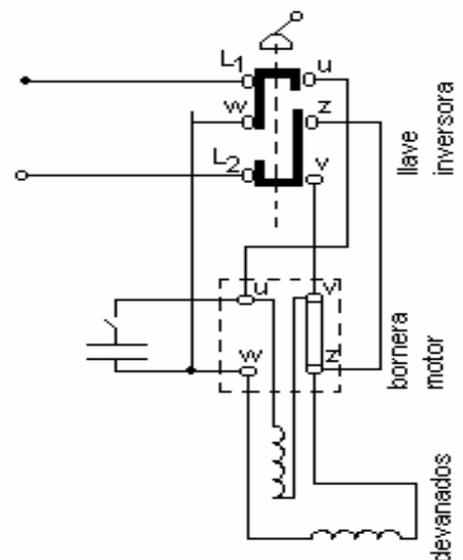


Figura 22

EL MOTOR TRIFÁSICO COMO MONOFÁSICO

Se puede hacer funcionar un motor trifásico alimentado por una red monofásica.

Para ello se conecta según la Figura 23, denominada "conexión Steinmetz"

Colocando un condensador de aproximadamente 70 μF por kW de potencia del motor, en redes de 220 V, su momento de arranque se reduce al 30% del nominal y la potencia disminuye al 80% de la nominal.

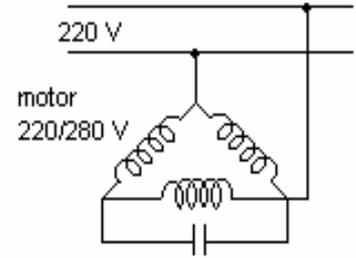


Figura 23

Por el tamaño de los condensadores requeridos, es para potencias menores de 2kW.

Además, el condensador debe preverse para una tensión 1.25 U, debido a los efectos de sobretensión, que aparecen como consecuencia del fenómeno de resonancia.

Funciona como motor monofásico con condensador permanente.

CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES

	TIPO DE MOTOR	μ_a / μ_n %	I_a / I_n	s %	CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	APLICACIONES TÍPICAS
1	arranque resistivo	100 a 200	4 a 7	≤ 5	$\mu_{max} / \mu_{min} = 185$ a 200 de 1/8 a 1/2 HP	<ul style="list-style-type: none"> - ventiladores - bombas centrífugas - lavarropas - máquinas de oficina - quemadores
2	con capacitor de arranque	150 a 350	4.4 a 5.5		1/6 a 3 HP alto momento de arranque	<ul style="list-style-type: none"> - compresores para refrigeración - mezcladores de alimento - bombas - máquina p/cortar pasto
3	con capacitor permanente	50	3 a 4	10	marcha suave buen $\cos \varphi$ 1/15 a 1/2 HP	<ul style="list-style-type: none"> - ventiladores
4	con capacitor de arranque y marcha	150 a 350	4 a 5.5	10	buen performance más caros	
5	polos sombras	70			bajo rendimiento $\approx 20\%$ $\cos \varphi = 0.4$ a 0.6 pequeñas potencias 1/10 a 1/4 HP	<ul style="list-style-type: none"> - secadores de pelo - heladeras - giradiscos económicos - ventiladores de mesa

Ejemplo

Dado el circuito equivalente de un motor asíncrono monofásico (Figura 1) con condensador, determinar:

- a) Las corrientes en los devanados de arranque y marcha y sus desfases relativos
- b) Diagrama de flujos cada $\omega t = 30^\circ$ y
- c) Conclusiones

a) $Z_m = 3 + j 4 = 5 \Omega$ ---- 53.1

$I_m = 115 / 5 = 23 \text{ A}$

$X_c = 1 / \omega c = 1 / (2 \cdot 60 \cdot 300 \cdot 10^{-6}) = 8.84 \Omega$

$Z_a = R_a + j (X_a - X_c) =$
 $= 7.2 + j (3.44 - 8.84)$
 $= 9 \Omega \quad -36.9$

$I_a = 115 : 9 : -36.9$

El desfase entre I_m e I_a será: $53.1 + 36.9 = 90$ (Figura 2)

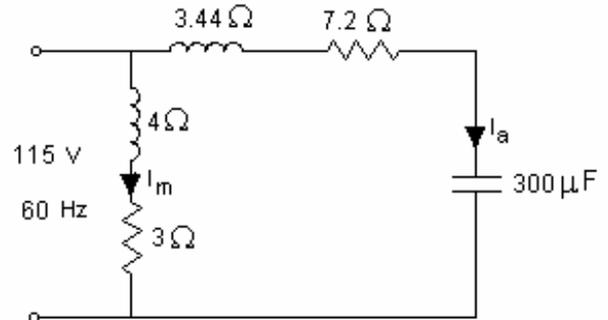


Figura 1

b) Siendo $I_{max} = \sqrt{2}$, las corrientes instantáneas serán:

$i_m = \sqrt{2} 23 \cdot \text{sen } \omega t = 32.5 \text{ sen } \omega t$

$i_a = \sqrt{2} 12.8 \cdot \text{sen } (\omega t + 90) = 18.1 \text{ cos } \omega t$

Como los devanados están a 90° ; los flujos también:

$\phi = k (i_a + j i_m) = k (18.1 \text{ cos } t + j 32.5 \text{ sen } t)$

Dando valores cada $\omega t = 30$ (Figura 3) y graficando (Figura 4)

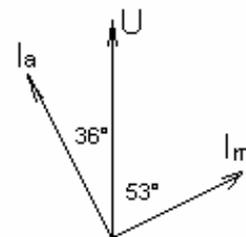


Figura 2

at	0	30	60	90
ϕ	18.1	22.5	29.5	32.5

Figura 3

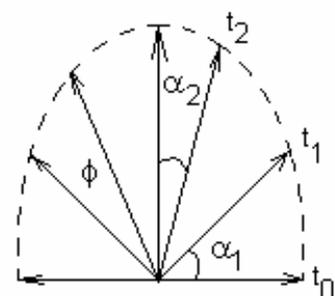


Figura 4

Conclusiones:

- 1° A intervalos de tiempo iguales la velocidad instantánea del flujo si no es constante ($\alpha_1 = 46 > \alpha_2 = 18$).
- 2° El módulo del flujo no es cte.
- 3° El campo rotante no es circular