PROHIBIDA SU PUBLICACIÓN

TEMA 45

ARRANQUE DEL MOTOR ASÍNCRONO

45.1. EL PROBLEMA DEL ARRANQUE.

El arranque del motor asíncrono tiene dos problemas fundamentales:

☹ Problema del par.

☹ Problema de la corriente.

45.1.1. PROBLEMA DEL PAR.

En el equipo formado por el motor y la máquina o dispositivo mecánico que acciona, existen dos pares; el par motor $\mathbf{C_m}$ y el par resistente $\mathbf{C_r}$, los cuales son función de la velocidad.

En el momento del arranque el par motor tiene que ser mayor que el par resistente, es decir, se tiene que cumplir:

$$C_m > C_r \qquad (45.1)$$

Pero a medida que se pone en marcha el conjunto motor-dispositivo mecánico, aparece un par acelerador $\mathbf{C_a}$, cuyo valor es:

$$C_a = C_m - C_r = I.\frac{d\Omega}{dt} \qquad (45.2)$$

Donde:

I : Momento de inercia.
Ω : Velocidad angular.

Las curvas que definen el par motor y el par resistente, en función de la velocidad, están representadas en la Fig.45.1

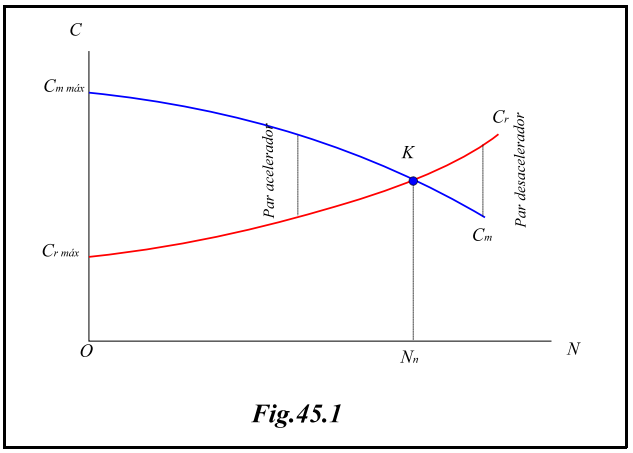


Fig.45.1

En la Fig.45.1 se observa que desde el momento en que se conecta el motor (**N=0**), hasta que se alcanza la velocidad de régimen (**N=N$_n$**), el par motor es mayor que el par resistente. El punto **K** se corresponde con el punto de corte de las dos curvas, en él el par acelerador es nulo. Este punto corresponde a la velocidad nominal del motor.

Si creciese la velocidad del motor por encima de la nominal, aparecería un par desacelerador, ya que el par resistente sería mayor que el par motor, y dicho par llevaría el sistema de nuevo al punto de equilibrio.

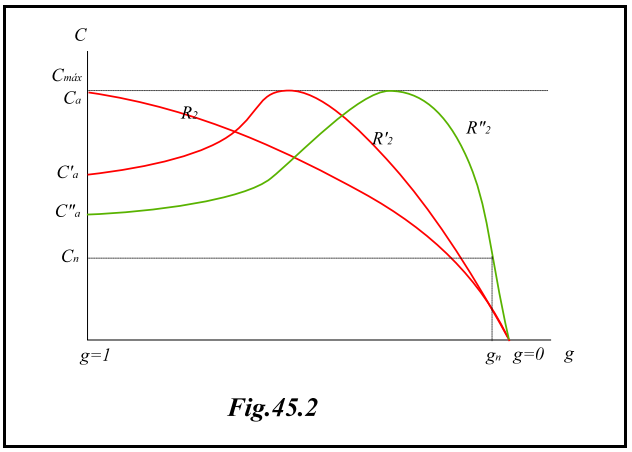


Fig.45.2

También podemos establecer una curva que relacione el par motor con el deslizamiento. En la Fig.45.2 se representan tres valores significativos de esta curva.

El primer valor **C$_a$**, es el correspondiente a la velocidad cero **(N$_2$=0)**, es decir con un deslizamiento igual a la unidad (**g =1**).

El segundo es el par máximo **C$_{máx}$**, el cual se corresponde con el deslizamiento igual a **R$_2$/X$_2$**.

El tercer valor significativo es el par nominal **C$_n$**, el cual se corresponde con la velocidad de régimen del motor, y este valor con un deslizamiento próximo al sincronismo.

Por otra parte, sabemos que el par transmitido por el motor depende de la resistencia **R$_2$**, según (43.12):

$$C_t = K.\frac{g.E_2.R_2}{R_2^2 + g^2.X_2^2} \qquad (45.3)$$

También sabemos que el par máximo se corresponde con un valor del deslizamiento **R$_2$/X$_2$**, según vimos en (43.15), por tanto para un valor **X$_2$** constate del rotor, cuanto mayor sea la resistencia **R$_2$**, mayor será el valor del deslizamiento al que corresponde el par máximo.

Se han representado, en la Fig.45.2 tres valores de resistencias, $\mathbf{R_2}$, $\mathbf{R'_2}$ y $\mathbf{R''_2}$, de forma que se verifique:

$$R_2 > R'_2 > R''_2 \qquad (45.4)$$

Además, para $\mathbf{R_2}$ se ha supuesto que coincide su valor con $\mathbf{X_2}$, por tanto, para un deslizamiento igual a la unidad, el par máximo coincide con el par de arranque.

Podemos resumir todo lo que se ha dicho en el sentido que, *si se quiere aumentar el par en el arranque en un motor asíncrono, hay que aumentar la resistencia de las bobinas del rotor.*

45.1.2. PROBLEMA DE LA CORRIENTE.

La puesta en marcha de un motor se corresponde con un transformador estático con el primario (estator) conectado a la tensión nominal, y el secundario (rotor) en cortocircuito. En consecuencia, aparecerá una corriente elevada en el rotor. De acuerdo con el tipo de motor, ésta corriente variará entre cuatro y diez veces el valor de la corriente nominal.

La corriente en el arranque es de corta duración, con objeto de que el motor la pueda soportar fácilmente, pero en la línea a la que está conectado, provoca una caída de tensión brusca, la cual es perjudicial para el resto de usuarios que se encuentren conectados a ella.

La corriente en el arranque se corresponde con el punto $\mathbf{P_{cc}}$, en el diagrama del círculo (Fig.44.5), y su valor es muy superior a la corriente en régimen nominal, que se corresponde con el punto **B** del diagrama.

45.2. PROCEDIMIENTOS DE ARRANQUE DE LOS MOTORES ASÍNCRONOS.

Los procedimientos de arranque de los motores asíncronos se pueden clasificar en tres categorías[1]:

- ✏ Acción sobre el circuito primario (estator)
- ✏ Acción sobre el circuito secundario (rotor)
- ✏ Arranque automático.

La primera categoría es aplicable a todos los motores, sin embargo la segunda sólo se puede aplicar a los motores de anillo.

[1] No se cita el procedimiento de arranque por variación de la frecuencia, al considerarlo excepcional.
El arranque directo sólo se puede usar en motores de pequeña potencia y consiste en aplicar toda la tensión nominal cuando el motor está en reposo.

45.2.1. ARRANQUE POR ACCIÓN SOBRE EL PRIMARIO.

Este procedimiento consiste en aplicar una tensión menor que la nominal en el momento del arranque. Con esto se consigue:

1º) Una reducción de la corriente $\mathbf{I_a}$ en la relación de las tensiones $\mathbf{U_1/U_{1cc}}$, ya que las corrientes primarias y secundarias son proporcionales a la tensión de alimentación, al igual que sucede en los transformadores estáticos.

2º) Una reducción del par $\mathbf{C_a}$ en la relación de los cuadrados de las tensiones. Esto es debido a que para un mismo valor del deslizamiento, el par es proporcional al cuadrado de la tensión que alimenta el primario (el estator).

45.2.1.1. REÓSTATO DE ARRANQUE EN EL PRIMARIO.

Una forma de reducir la tensión en los terminales del primario (estator), es introducir resistencias en serie con los arrollamientos del primario, que una vez en marcha se eliminan de forma progresiva o no.

En la Fig.45.3 se representa este tipo de arranque.

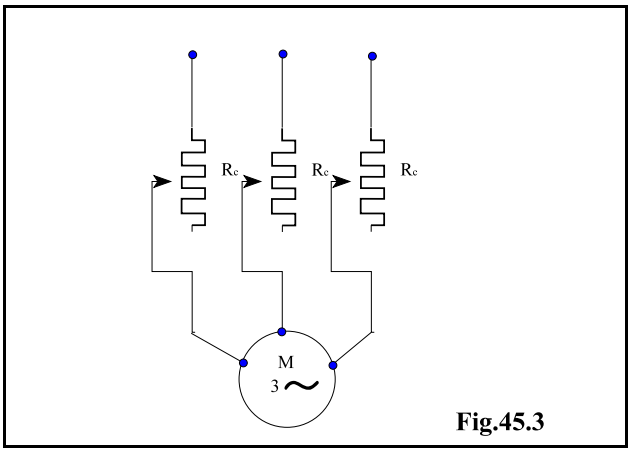


Fig.45.3

Si se designa:

I_{1a} = Intensidad de arranque en el primario.
I_{1n} = Intensidad nominal en el primario.
I_{1a}/I_{1n} = Incremento de corriente en el arranque.
g_n = Deslizamiento en marcha normal.
R_2 = Resistencia del secundario.
C_a = Par en el arranque.
C_n = Par en marcha normal.

De acuerdo con (43.19), se verifica:

$$C_t = \frac{P_{jr}}{\omega_1 \cdot g} \qquad (45.5)$$

Siendo:

$$P_{jr} = m_2 . I_2^2 . R_2 \qquad (45.6)$$

Si (45.6) se refiere al primario, será:

$$P_{jr} = m_1.I'^2_2.R'_2 \qquad (45.7)$$

Despereciendo la intensidad I_c, resulta:

$$P_{jr} = m_1.I_1^2.R'_2 \qquad (45.8)$$

Sustituyendo (45.8) en (45.5), se tiene:

$$C_t = \frac{m_1.I_1^2.R'^2}{\omega_1.g} = K.\frac{I_1^2}{g} \qquad (45.9)$$

Sabemos que en el arranque el deslizamiento vale la unidad, en consecuencia el par en el arranque valdrá:

$$C_a = K.I_{1a}^2 \qquad (45.10)$$

En el régimen nominal el deslizamiento vale $\mathbf{g_n}$, en consecuencia el par valdrá:

$$C_n = K.\frac{I_{1n}^2}{g_n} \qquad (45.11)$$

Dividiendo (45.10) y (45.11), resulta:

$$\frac{C_a}{C_n} = g_n \left[\frac{I_{1a}}{I_{1n}}\right]^2 \qquad (45.12)$$

Ahora bien, si la impedancia del motor en cortocircuito es $\mathbf{Z_{cc}}$, cuando se aplica al primario una tensión $\mathbf{U_1}$, se tiene:

$$I_{1a} = \frac{U_1}{Z_{cc}} \qquad (45.13)$$

Y finalmente, sustituyendo (45.13) en (45.10), resulta:

$$C_a = K.\frac{U_1^2}{Z_{cc}^2} \qquad (45.14)$$

Considerando $\mathbf{Z_{cc}}$ como constante a una determinada frecuencia, resulta:

$$C_a = K'.U_1^2 \qquad (45.15)$$

En conclusión, la intensidad en el arranque es proporcional a la tensión aplicada (45.13), sin embargo el par en el arranque lo es al cuadrado de la tensión (45.15). Por tanto, al reducir la tensión en el arranque se reduce la intensidad, pero se reduce mucho más el par.

Este procedimiento es técnicamente mediocre.

Por otra parte, un aumento del par resistente en el arranque tiene como consecuencia la aparición de una corriente suplementaria, la disminución de la tensión, y una dificultad para el arranque. También cabe señalar que, una parte importante de la potencia absorbida de la línea que alimenta el motor, se pierde por efecto Joule en las resistencias del arranque.

No obstante, dada la sencillez del procedimiento y su facilidad de adaptación a una instalación existente, junto con la regulación exacta de la corriente absorbida, su empleo se justifica en arranques voluntariamente prolongados, como es el caso de las bombas centrífugas.

45.2.1.2. TRANSFORMADOR DE ARRANQUE.

En este procedimiento de arranque, la reducción de la tensión se realiza mediante la utilización de un transformador estático conectado al estator del motor.

En la Fig.45.4 se ha representado este

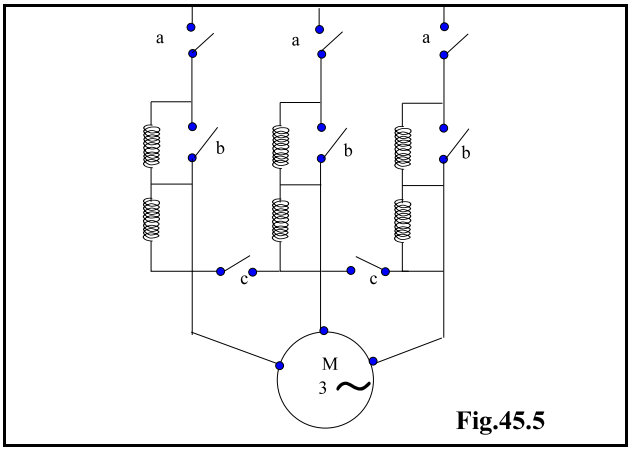


Fig.45.5

tipo de arranque[2].

Si **m** es la relación de transformación del transformador acoplado al motor, el par en el arranque queda dividido por $\mathbf{m^2}$, ya que es proporcional al cuadrado de la tensión de alimentación, según (45.15). La corriente de arranque en el motor queda dividida por **m** (45.13), pero la corriente en el primario del transformador, es decir la corriente que el conjunto toma de la línea de alimentación es **m** veces menor que la corriente en el motor. En consecuencia, la corriente que suministra la línea queda dividida por $\mathbf{m^2}$.

Con este tipo de arranque, el par específico es igual que si la conexión fuese directa.

Este procedimiento es mejor que el anterior.

Por otra parte, las pérdidas del transformador son muy inferiores a las que se producen por Joule en los reóstatos.

Conviene señalar que se suele emplear un autotransformador de pequeña potencia aparente, ya que está poco tiempo conectado al circuito.

Este método de arranque no se debe emplear en motores cuya potencia sea inferior a 50kW.

45.2.1.3. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO.

El motor normalmente funciona en triángulo conectado a la tensión de línea $\mathbf{U_1}$. Un conmutador especial conecta en estrella los devanados del estator en el arranque, con lo cual la tensión de alimentación de los mismos será la simple, es decir $\sqrt{\mathbf{3}}$ veces menor que la de línea.

En consecuencia, el par, que es proporcional al cuadrado de la tensión, se reduce en la relación ⅓, lo mismo que la intensidad de línea.

La Fig. 45.6 representa este tipo de arranque.

Este procedimiento sólo requiere un conmutador. Todo esto explica su empleo tan frecuente cuando el motor debe arrastrar un dispositivo mecánico que arranca en vacío (bombas centrífugas, máquinas agrícolas, ventiladores, etc.)

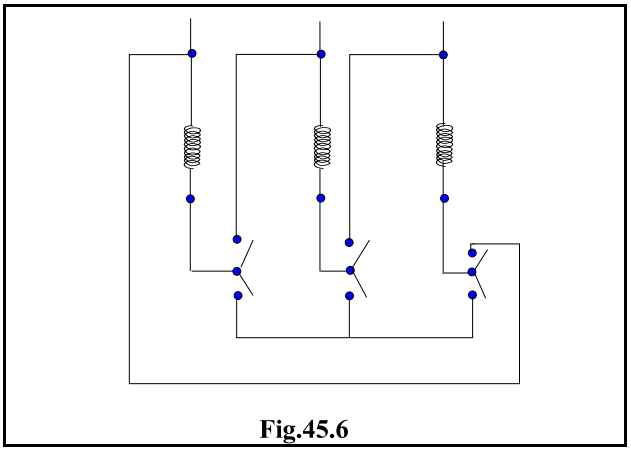


Fig.45.6

[2] Con **a** y **c** cerrados tenemos la posición en el arranque, el paso (inductancia en serie) con **a** cerrado y **c** abierto, y en marcha normal **a** y **b** cerrados.

En resumen, los procedimientos de arranque reduciendo la tensión en el primario (estator) se pueden aplicar a todos los motores asíncronos. Los tres procedimientos que hemos descrito resuelven el problema de la corriente en el arranque, pero al reducir el par ninguno de ellos permite que el motor arranque con carga.

Las Figs.45.7 y 45.8 representan el comportamiento de la intensidad y el par en el arranque en función de la velocidad de sincronismo, respectivamente.

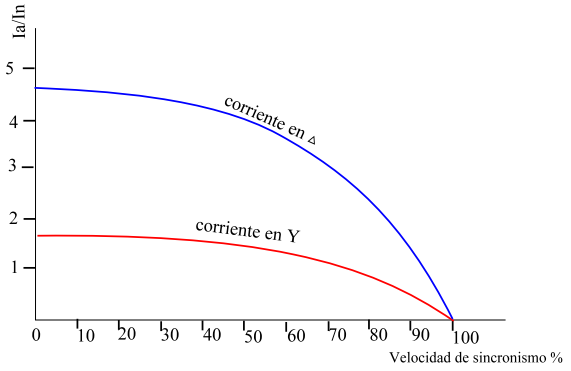


Fig.45.7

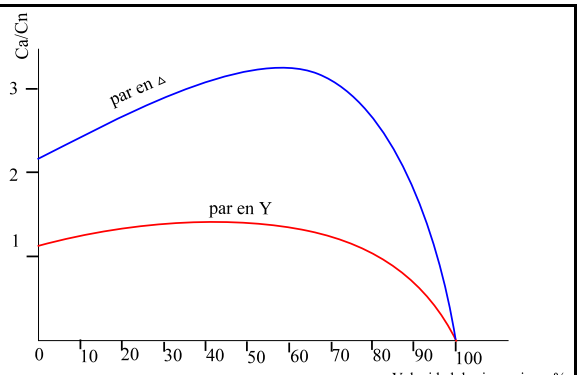


Fig.45.8

45.2.2. ARRANQUE POR ACCIÓN SOBRE EL SECUNDARIO.

Este procedimiento consiste en introducir resistencias en serie con los arrollamientos del rotor. Es preciso que el rotor tenga terminales conectados a anillos colectores, para que éstos a su vez, se puedan conectar a un circuito exterior mediante escobillas.

Es el único procedimiento que permite aumentar el par en el arranque con una corriente en el primario reducida.

El fundamento es el siguiente: El par transmitido $\mathbf{C}_t$, es proporcional al producto $\mathbf{I_2.cos\ \varphi_2}$, según (43.8). Un aumento en la resistencia del rotor hace disminuir $\mathbf{I_2}$ (43.10), pero simultáneamente hace aumentar el $\mathbf{cos\ \varphi_2}$ (43.11), en la puesta en marcha.

Por otra parte, se ha visto que el aumento de la resistencia del rotor tiene como consecuencia desplazar el máximo del par hacia velocidades más bajas.

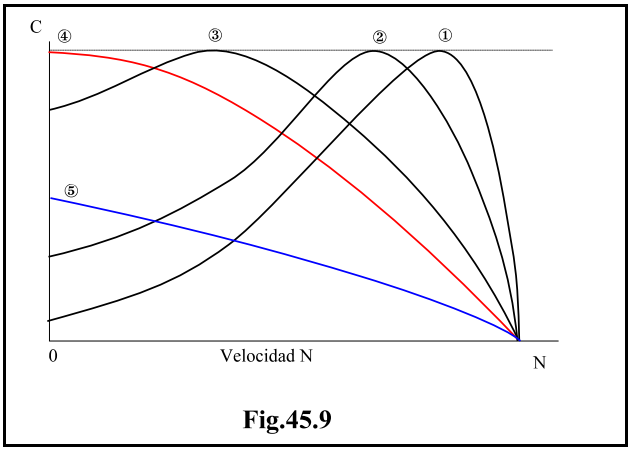


Fig.45.9

En la Fig.45.9 se han representado las curvas del par en función de la velocidad, para valores crecientes de la resistencia del rotor.

Desde el punto de vista del propio par, la curva ④, es la mejor, ya que el máximo del par coincide con la puesta en marcha, pero se corresponde con una corriente $\mathbf{I_a}$ demasiado grande, por lo tanto, se utilizará la puesta en marcha con una resistencia en serie con el rotor, que se corresponde con la curva ⑤.

Durante el período de arranque, el punto representado en el diagrama del círculo se desplaza hacia **B** (Fig.44.5, y la corriente absorbida por el motor disminuye en forma continua.

En la Fig.45.10 se ha representado la curva de variación de la intensidad en función de la velocidad del rotor. La curva parte de un punto **P** que se corresponde con la corriente de arranque $\mathbf{I_a}$, que será tanto más intensa cuanto menor sea la resistencia del rotor.

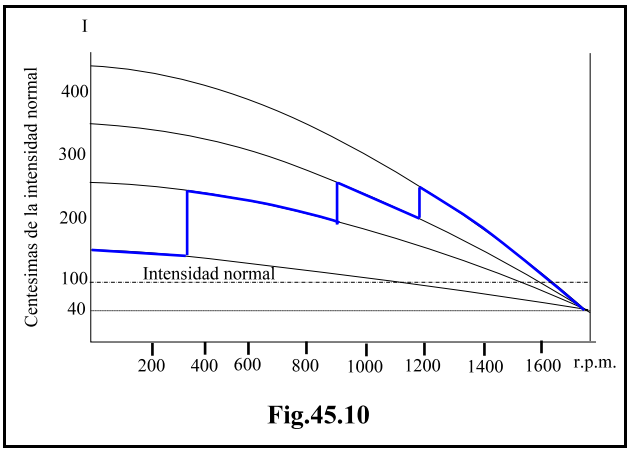


Fig.45.10

El reóstato del rotor permite mantener la intensidad absorbida entre dos límites; uno $\mathbf{I_{a\ máx}}$, que es una exigencia de la calidad de servicio en la instalación a la que se conecta el motor, y otro $\mathbf{I_{a\ mín}}$ que está condicionado por el par.

Por tanto, se debe pasar de un contacto del reóstato al siguiente en el momento que la corriente alcance el valor $\mathbf{I_{amín}}$, y aumentar de forma instantánea la corriente al valor $\mathbf{I_{a\,máx}}$, sin que por ello se modifique el valor de la velocidad del motor.

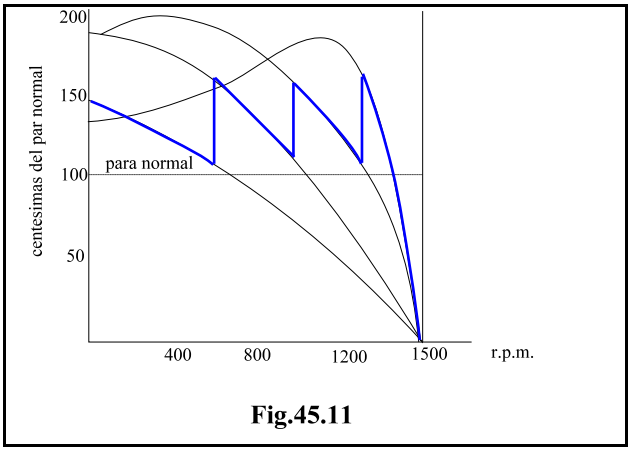


Fig.45.11

En la Fig.45.11 se ha representado la variación del par en el arranque en función de la velocidad.

45.3. ARRANQUE AUTOMÁTICO.

El arranque automático pretende conseguir las ventajas del arranque por acción sobre el secundario, sin tener en cuenta sus inconvenientes, es decir tener que maniobrar un dispositivo de arranque y la utilización de un rotor de anillos.

Un dispositivo muy ingenioso es el arranque giratorio o acoplador centrífugo. En este procedimiento se utiliza una plataforma accionada por el rotor. Un contactor centrífugo cortocircuita un número de elementos de resistencia que son tanto más elevados cuanto mayor es la velocidad.

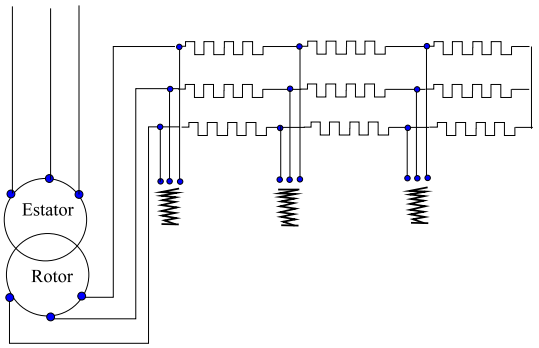


Fig.45.12

El aparato es muy bueno ya que el paso de un contacto al siguiente se efectúa a una velocidad determinada, siendo ésta función de la fuerza centrífuga.