

MOTORES DE DOBLE JAULA Y DE RANURA PROFUNDA

Miguel Angel Rodríguez Pozueta

- * El sistema de arranque de un motor asíncrono por introducción de resistencias en serie con el rotor permite obtener un elevado par en el arranque a la vez que reduce el valor de la corriente en el arranque. Sin embargo, este método sólo puede utilizarse con motores de rotor bobinado. Se han construido motores de jaula que, de alguna manera, realizan un arranque similar al de los motores de rotor bobinado, es decir, con un elevado par de arranque.

Los *motores de doble jaula* poseen dos jaulas concéntricas (fig 1a), construidas de tal manera que la jaula exterior presenta una pequeña inductancia de dispersión y una elevada resistencia, mientras que la interior presenta baja resistencia y alta inductancia.

Dado que se verifica que:

$$f_2 = s f_1 \quad (1)$$

en el momento del arranque ($s = 1$), la frecuencia f_2 de las corrientes del rotor es igual a la de la red f_1 y la reactancia de las jaulas alcanza su valor máximo. Por ello, al arrancar la jaula exterior presenta menos impedancia y las corrientes rotóricas circulan preferentemente por ella. Se consigue así un elevado par de arranque, pues el rotor presenta una resistencia alta.

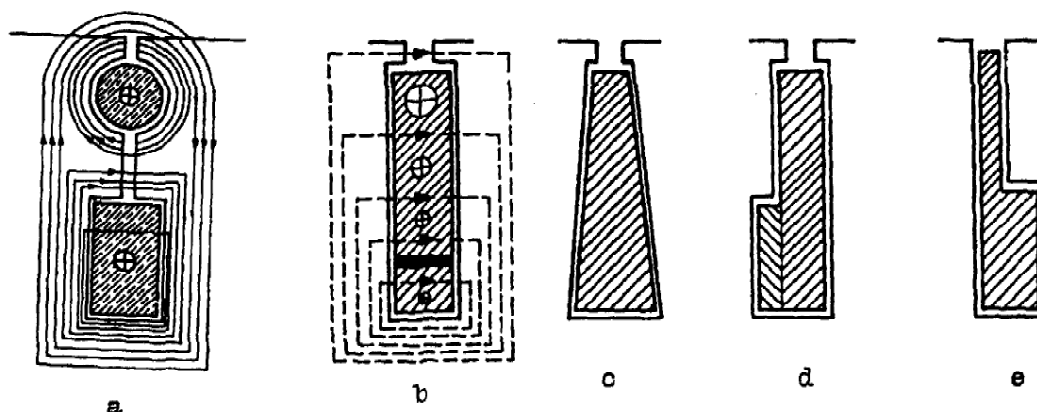


Fig. 1: Ranuras rotóricas de los motores de doble jaula (a) y de ranura profunda (b, c, d, e)

A medida que el motor adquiere velocidad, disminuye la frecuencia rotórica y varía el reparto de corrientes entre las dos jaulas, aumentando la corriente de la jaula interior y disminuyendo la corriente de la jaula exterior. En régimen normal, la frecuencia rotórica es muy pequeña y las reactancias de las jaulas son despreciables, de tal manera que la corriente circula casi exclusivamente por la jaula interior.

Por lo tanto, en los motores de doble jaula el arranque se realiza con una resistencia elevada en el rotor que paulatinamente va disminuyendo a medida que el motor alcanza velocidad. El proceso de arranque presenta, pues, una gran similitud con el de los motores de rotor bobinado.

- * Los motores de ranura profunda tienen una jaula cuyos conductores tienen una forma tal que su parte inferior presenta pequeña resistencia y alta autoinducción y la parte superior presenta alta resistencia y baja autoinducción (Fig. 1b, c, d, e). Su comportamiento, por tanto, es similar al de los motores de doble jaula: en el arranque la corriente se concentra en la parte superior de los conductores (de alta resistencia) y en marcha normal la corriente circula preferentemente por la parte inferior, consiguiéndose así un elevado par de arranque.
- * Por lo tanto, en los motores de doble jaula y de ranura profunda los parámetros R'_2 y X'_2 no son constantes, sino que son funciones de la frecuencia rotórica f_2 . Dado que se cumple la relación (1), si el motor es alimentado con corrientes de frecuencia f_1 constante, se tiene que los parámetros R'_2 y X'_2 son sólo funciones del deslizamiento s .

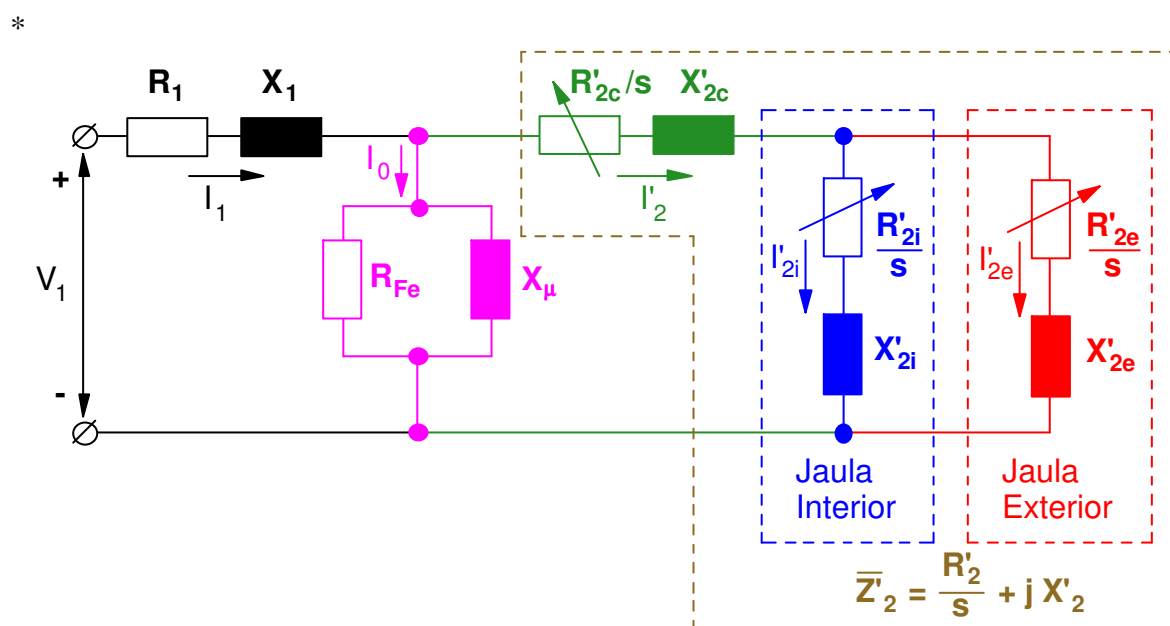


Fig. 2: Circuito equivalente de un motor asíncrono trifásico de doble jaula

En la Fig. 2 se muestra el circuito equivalente de un motor de doble jaula. Este circuito equivalente también es válido para un motor de ranura profunda.

La resistencia R'_{2c} corresponde a la resistencia de los anillos de cortocircuito cuando estos anillos son comunes a ambas jaulas y las resistencias R'_{2e} y R'_{2i} corresponden a las barras de las jaulas interior y exterior, respectivamente. En los motores en los que los anillos de cortocircuito son diferentes para ambas jaulas, se da un valor nulo a la resistencia R'_{2c} y la resistencia de los anillos se incorpora a R'_{2e} y R'_{2i} .

En la Fig. 3 se representa una ranura de un motor de doble jaula y las líneas del campo magnético de dispersión correspondientes. Además de estas líneas de dispersión, también existirán las correspondientes al campo magnético principal que no se han incluido en la Fig. 3.

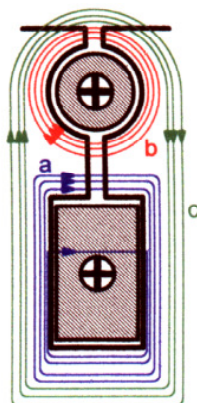


Fig. 3: Dispersión en una ranura del rotor de un motor de doble jaula

En la Fig. 3 se puede apreciar que existen unas líneas de campo magnético de dispersión que sólo rodean a una de las jaulas (líneas del tipo a y del tipo b en la Fig. 3). El campo magnético de dispersión cuyas líneas de campo sólo rodean a una jaula, en virtud del Teorema de Ampère, sólo es debido a la corriente que circula por esta jaula y sólo afecta a dicha jaula. En el circuito equivalente de la Fig. 2 los efectos de estos campos magnéticos de dispersión están representados por las reactancias X'_{2e} y X'_{2i} . Por otra parte, en la Fig. 3 se puede apreciar que también existen otras líneas de campo magnético de dispersión que son comunes a ambas jaulas (líneas del tipo c en la Fig. 3). Este campo de dispersión será originado por el efecto conjunto de las corrientes de las dos jaulas y ejerce influencia sobre ambas. Aunque este campo magnético afecta a dos de los devanados del motor, sigue tratándose de un campo magnético de dispersión pues sus líneas de campo no atraviesan el entrehierro y no afectan al devanado del estator. En el circuito equivalente de la Fig. 2 los efectos de este campo magnético de dispersión común está representado por la reactancia X'_{2c} .

*

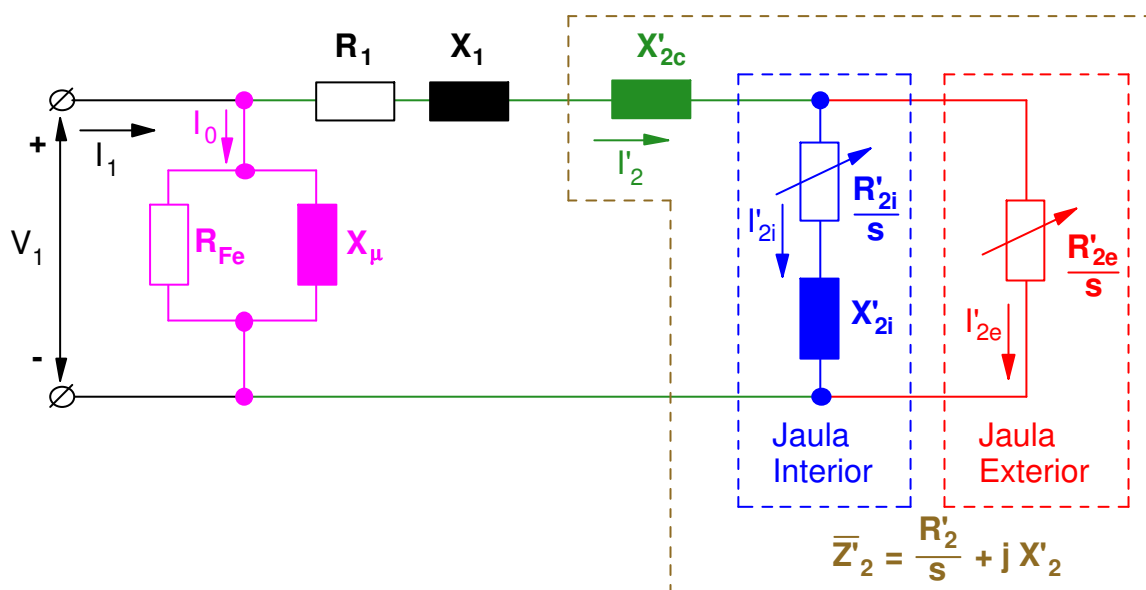


Fig. 4: Circuito equivalente simplificado de un motor asíncrono trifásico de doble jaula

El circuito equivalente de la Fig. 2 se suele simplificar de forma que en el rotor sólo aparezcan 4 parámetros de resistencia y reactancia y la rama en paralelo quede situada justo en bornes del estator. Siempre se suele considerar nula la resistencia común R'_{2c} y, si es preciso, su efecto se incluye dentro de las resistencias de cada jaula, R'_{2e} y R'_{2i} . Algunos autores recomiendan despreciar la reactancia X'_{2e} de la jaula externa porque su valor suele ser pequeño comparado con $\frac{R'_{2e}}{s}$ (Fig. 4). Otros recomiendan despreciar la reactancia común X'_{2c} y aumentar las reactancias de cada jaula, X'_{2e} y X'_{2i} , para incluir de un modo aproximado sus efectos (Fig. 5).

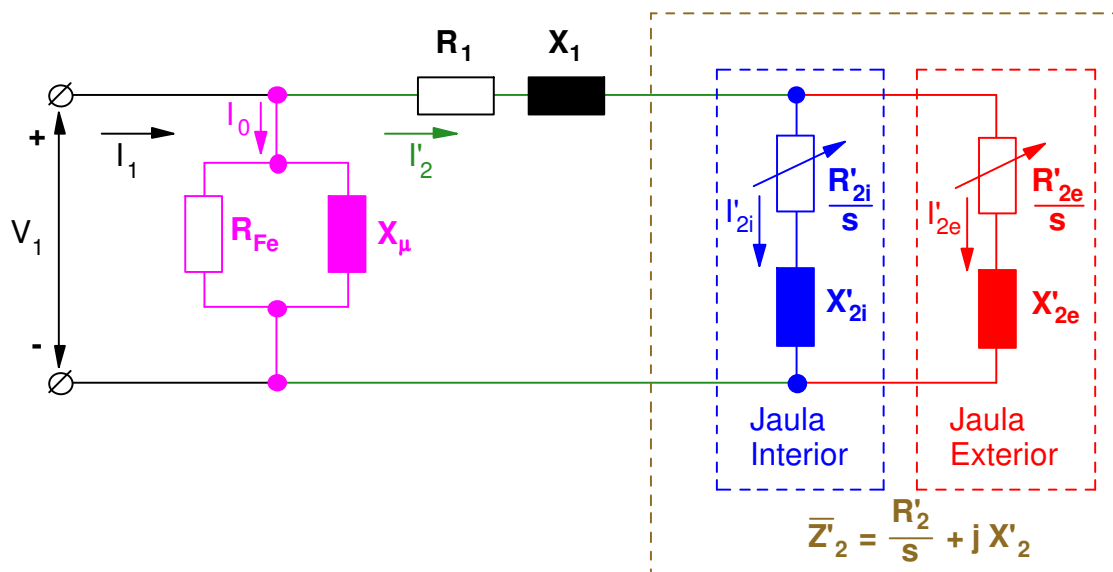


Fig. 5: Otro circuito equivalente simplificado de un motor asíncrono trifásico de doble jaula

*

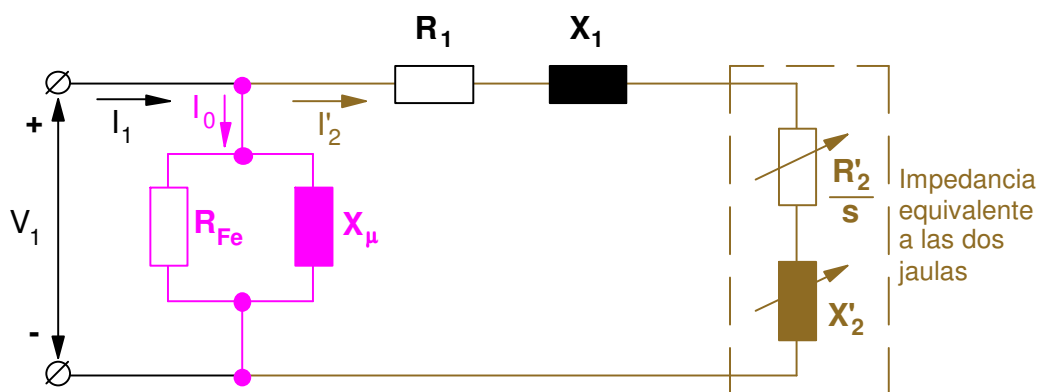


Fig. 6: Circuito equivalente de un motor de doble jaula con resistencia y reactancia del rotor variables con la frecuencia rotórica f_2

La forma de calcular las características de un motor de doble jaula o de ranura profunda será el determinar para un deslizamiento s dado la impedancia equivalente $\bar{Z}'_2$ del rotor (de las dos jaulas en paralelo) e identificar esta impedancia con la impedancia $\frac{R'_2}{s} + jX'_2$ de un motor de simple jaula. Se resuelve entonces como si el motor fuera de simple jaula (Fig. 6) con dichos valores de R'_2 y X'_2 .

- * Téngase presente que estos valores de R'_2 y X'_2 sólo son válidos para un valor dado del deslizamiento s . Para otro valor del deslizamiento habrá que volver a calcular los valores de los parámetros R'_2 y X'_2 que le corresponden. De una forma aproximada los valores de R'_2 y X'_2 varían con el deslizamiento s de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} R'_2 &= K_1 + K_2 \sqrt{s} \\ X'_2 &= K_3 - K_4 \sqrt{s} \end{aligned} \quad (2)$$

Obsérvese como en un motor de doble jaula se consigue que la resistencia equivalente del rotor R'_2 sea mayor durante el arranque, logrando así mejorar el par y reducir la corriente durante el arranque con respecto a un motor de simple jaula.

- * La curva del par de un motor de doble jaula (M_t) se puede obtener como suma de las correspondientes a cada una de sus jaulas (M_i y M_e) (Fig. 7):

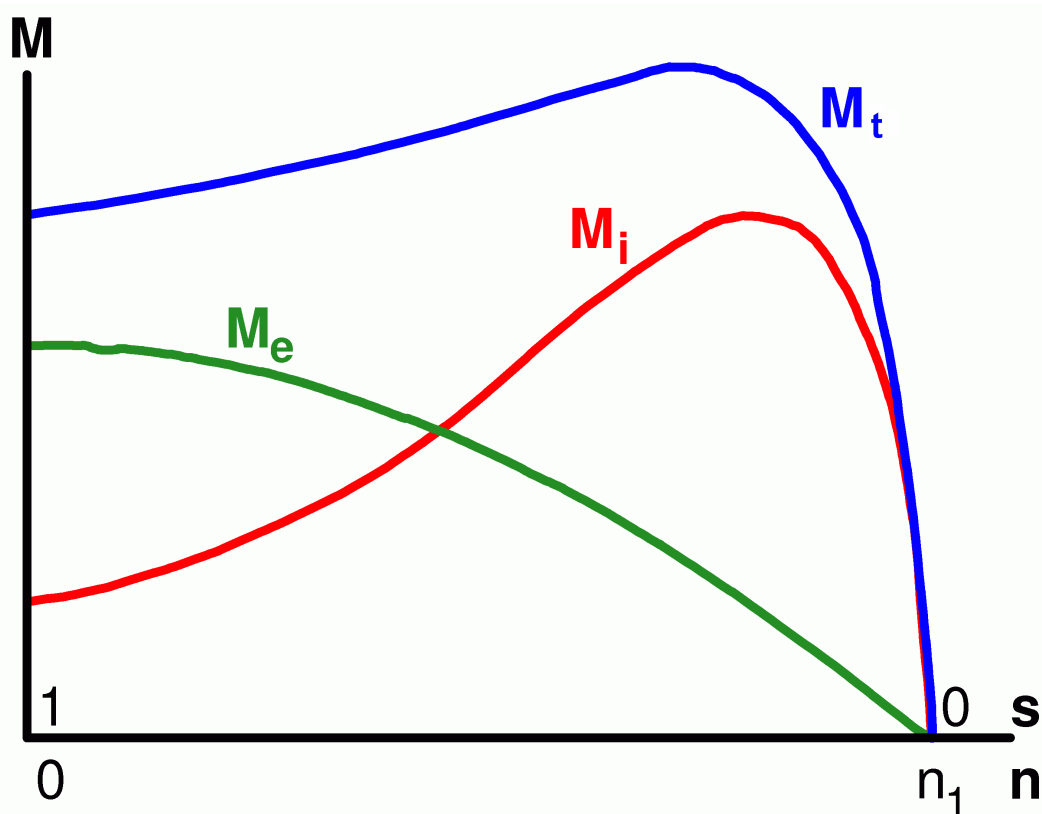


Fig. 7: Curva de par de un motor de doble jaula