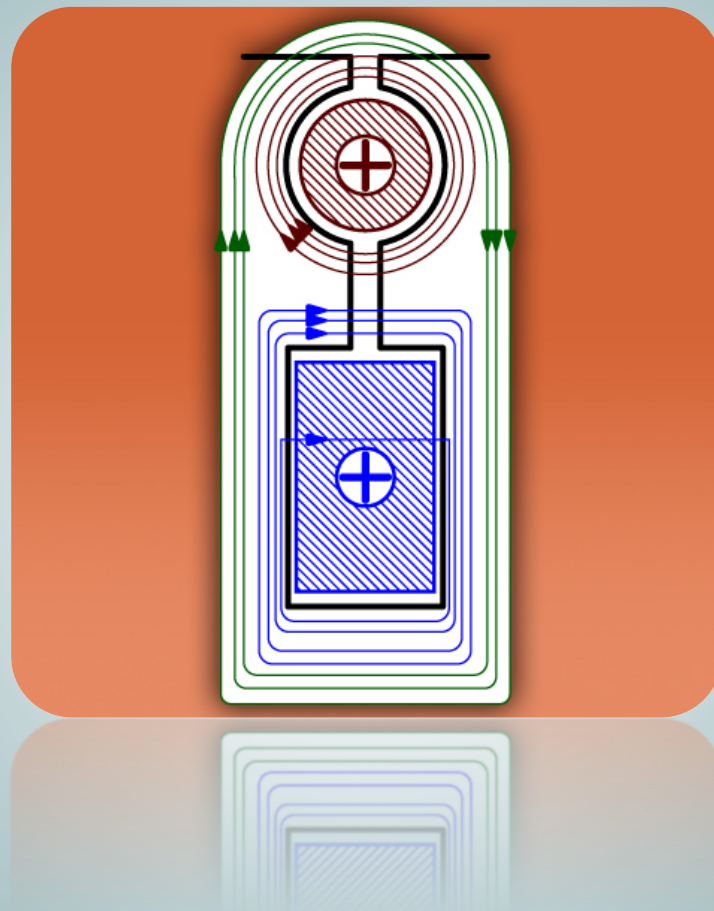


Máquinas Eléctricas II

Tema 4. Máquinas asíncronas o de inducción. Ayuda para el manejo de Calasin (v4.0)



Miguel Ángel Rodríguez Pozueta

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética

Este tema se publica bajo Licencia:

[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ÍNDICE

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN (v4.0)

1. Descripción	1
2. Aspectos informáticos	2
3. Manejo de CALASIN	3
3.1. Datos.....	4
3.2. Resultados preliminares	6
3.3. Resultados finales	7
3.4. Cálculos intermedios	8
3.5. Arranques con el rotor en cortocircuito.....	9
3.5.1. Arranque estrella-triángulo	9
3.5.2. Arranques por autotransformador y mediante un arrancador electrónico	10
3.6. Curvas características.....	12
3.7. Cálculos auxiliares	12
3.7.1. Conversión entre Ω , n y s	13
3.7.2. Cálculo del número de polos $2p$	13
3.7.3. Cálculo de las reactancias de dispersión X_1 y X'_2	14
3.7.4. Cálculo de la reactancia magnetizante X_μ	14
4. Ejemplo	15
5. Licencia	15

© 2016, Miguel Angel Rodríguez Pozueta. Universidad de Cantabria (España)



Está permitida la reproducción total o parcial de este documento bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Unported que incluye, entre otras, la condición inexcusable de citar su autoría (Miguel Angel Rodríguez Pozueta - Universidad de Cantabria) y su carácter gratuito.

*Puede encontrar más documentación gratuita en la página web del autor:
<http://personales.unican.es/rodrigma/primer/publicaciones.htm>*

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN (v4.0)

1. DESCRIPCIÓN

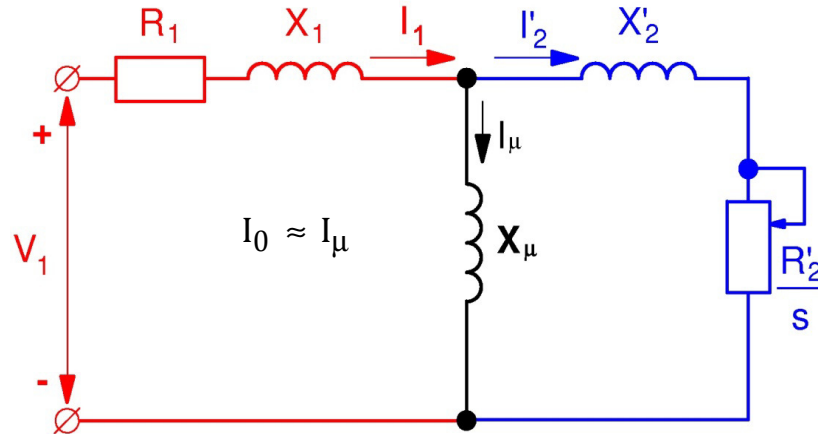


Fig. 1: Circuito equivalente "exacto" de una máquina asíncrona trifásica

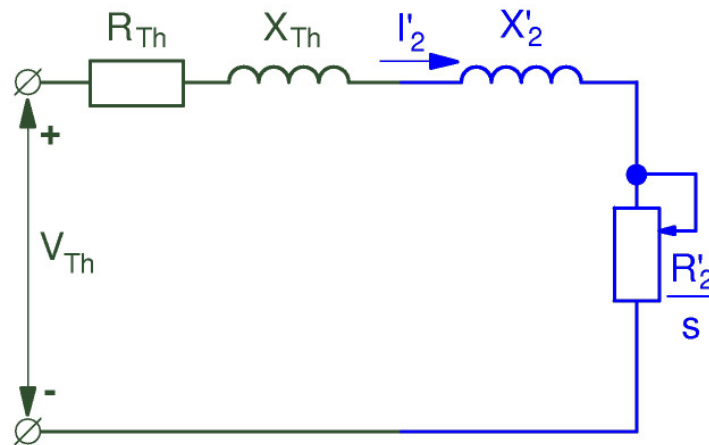


Fig. 2: Circuito equivalente "exacto" Thevenin

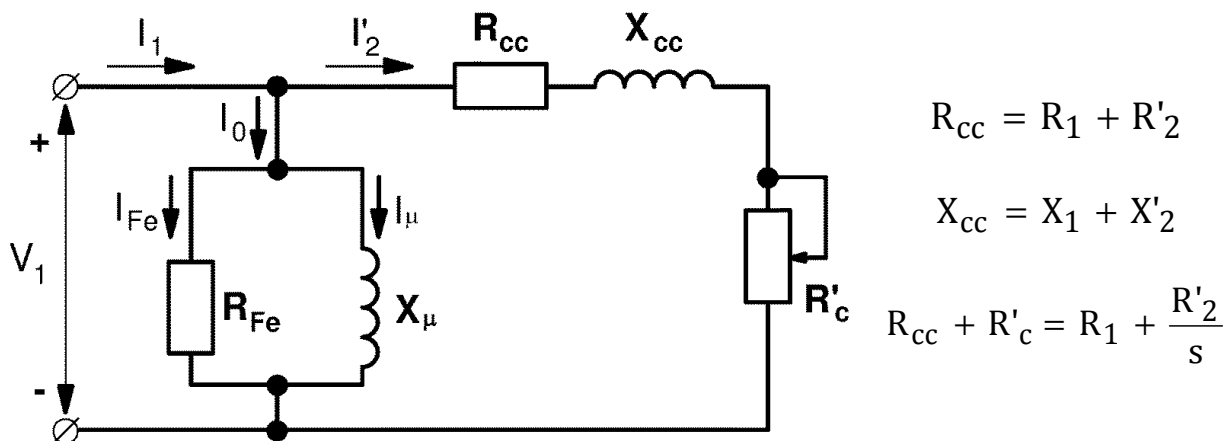


Fig. 3: Circuito equivalente "aproximado" de una máquina asíncrona trifásica

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

CALASIN (CAlculo de máquinas ASINcronas) es un libro de cálculo que permite analizar máquinas asíncronas o de inducción trifásicas y obtener algunas de sus curvas características partiendo de su circuito equivalente.

CALASIN usará el circuito equivalente “exacto” (en el que solamente se desprecia la resistencia R_{Fe} de pérdidas en el hierro), bien en su versión original (Fig. 1) o bien en la versión Thevenin (Fig. 2), si dispone de suficientes datos. En caso contrario utiliza el circuito equivalente “aproximado” (Fig. 3). Estos circuitos equivalentes están descritos en el documento “Fundamento teórico de CALASIN” que se adjunta.

Todos estos circuitos equivalentes son de parámetros constantes. Por lo tanto, no se tiene en cuenta la variación con la velocidad de los parámetros del rotor en las máquinas asíncronas de doble jaula y de ranura profunda. Con estos tipos de máquina los resultados que CALASIN muestra solamente tienen validez en el rango de velocidades a que corresponden los parámetros introducidos como datos.

CALASIN consta de tres hojas de cálculo a las cuáles se puede acceder mediante las pestañas que aparecen en la parte inferior de la pantalla:

- * Resultados: Esta es la hoja principal donde se introducen los datos y se muestran los resultados y las curvas características de la máquina.
- * Cálculos: En esta hoja se muestran los valores de las principales magnitudes de la máquina en un conjunto de estados de funcionamiento. Estos valores son los que se utilizan para dibujar las curvas características de la hoja “Resultados”.
- * Ayuda: Muestra una breve descripción del libro de cálculo y de la licencia de uso.

2. ASPECTOS INFORMÁTICOS

CALASIN ha sido realizado mediante el programa Microsoft® Excel 2013. No se garantiza su correcto funcionamiento con versiones anteriores de este programa.

Cada hoja del libro ha sido protegida de forma que solamente se pueden modificar las celdas destinadas a los datos, las cuáles se distinguen por tener fondo amarillo.

CALASIN se presenta en forma de una plantilla Microsoft® Excel. De esta manera, cada vez que se utiliza se crea un nuevo documento y la plantilla no queda modificada.

CALASIN no utiliza macros; por lo tanto, no es necesario modificar el nivel de seguridad que tenga establecido en Microsoft® Excel para que CALASIN pueda funcionar.

Si desea **cambiar el tamaño** de las hojas de este libro de cálculo en su presentación **en la pantalla**, proceda del siguiente modo:

- * Abra CALASIN y dentro de Microsoft® Excel ajuste el zoom de cada hoja para obtener la mejor visualización en su pantalla.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

- * Desplace cada hoja para que se vea en la pantalla la porción de la misma que quiera que aparezca cuando se inicie CALASIN.
- * En cada hoja deje el puntero del ratón sobre la celda donde se iniciarán los cálculos.
- * Vaya a la hoja que desee que aparezca al iniciar CALASIN (usualmente la hoja “Resultados”).
- * Vaya al menú “Archivo” → “Guardar como...”. En la ventana que aparece, vaya al recuadro inferior y elija guardar como tipo plantilla (*.xltx).
- * Guarde la nueva plantilla con un nuevo nombre (por ejemplo: CALASINb.xlt). A partir de ahora, utilice esta plantilla para ejecutar CALASIN.

Si lo desea, puede **imprimir** los cálculos realizados por CALASIN en hojas de papel de tamaño DIN A4. Para ello seleccione que la impresión se realice con la orientación horizontal (apaisada). De esta manera la hoja de cálculo “Resultados” ocupa 4 hojas de papel DIN A4 y las hojas “Cálculos” y “Ayuda” ocupan 2 hojas de papel DIN A4 cada una. Dependiendo de la impresora que se utilice, para que la hoja de cálculo quepa bien en las hojas DIN A4 puede ser necesario modificar en Microsoft® Excel los márgenes de impresión de la hoja o, alternativamente, cambiar el escalado de impresión. Si lo desea, también se obtienen buenos resultados, especialmente en la hoja “Cálculos”, si la impresión se ajusta a tamaño reducido de forma que se impriman dos páginas en una sola hoja de papel.

También puede **guardar** los cálculos en un fichero Microsoft® Excel (*.xls). Para ello basta con que vaya al menú “Archivo” → “Guardar”, dé el nombre que desee al fichero y haga clic sobre “Guardar”.

3. MANEJO DE CALASIN

Seguidamente se va a indicar el manejo de la hoja “Resultados” de CALASIN, que es en la que hay que introducir los datos y es la que muestra los resultados y las curvas características de la máquina asíncrona.

En esta hoja de cálculo las celdas donde se introducen los datos se distinguen por tener fondo amarillo. Las celdas donde se muestran los resultados permanecen en blanco hasta que se han introducido los datos necesarios para que CALASIN pueda calcularlos.

Para utilizar CALASIN necesita tener instalado el programa Microsoft® Excel.

Para empezar haga doble clic sobre el fichero CALASIN.xlt, con lo que arrancará CALASIN dentro del programa Microsoft® Excel. Ahora, mediante las pestañas de la parte inferior izquierda de la pantalla elija la hoja de cálculo “Resultados” y sitúese en la celda superior izquierda (celda A1).

Al desplazarse hacia abajo a lo largo de esta hoja de cálculo puede ir accediendo a sus secciones principales con los datos, cálculos, resultados y curvas características de la máquina. Además, partiendo de la celda inicial (celda A1) puede acceder a las secciones “Cálculos auxiliares” y “Cálculos intermedios” desplazándose hacia la derecha.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

3.1. Datos

DATOS equivalente aproximado y deja en blanco la celda de X'_2 debe introducir el valor de X_{cc} en la celda de X_1

Referencia de la máquina:		Motor de prueba (circuito equivalente exacto)			
Conexión del estator (estrella o triángulo):		Triángulo			
$V_{1L} =$	400 V (tensión de línea)	$f_1 =$	50 Hz	$2p =$	4 polos
$R_1 =$	0,1 Ω	$R'_2 =$	0,35 Ω	$(X_{cc}) X_1 =$	1,5 Ω
$X_\mu =$	50 Ω	$X'_2 =$	1,5 Ω		
Rotor bobinado:		$m_1 (= m_2) =$	0,5	Resistencia externa (R_x o R'_x): $R'_x =$ 0,2 Ohms	

Fig. 4: Ejemplo de datos

El manejo de la hoja “Resultados” es intuitivo. Los datos de la máquina asíncrona a estudiar se introducen en la sección “Datos” dentro de las celdas de fondo amarillo (Fig. 4). Para pasar de un dato al siguiente de forma rápida pulse la tecla de tabulación.

Estos datos se introducen en varias celdas colocadas en cinco filas (Fig. 4). La última fila solamente se utiliza en máquinas de rotor bobinado. Es conveniente ir rellenando las celdas de datos siguiendo el orden en qué aparecen en CALASIN.

- En la primera fila se puede introducir una **referencia** para conocer a qué máquina asíncrona corresponden los datos y resultados que siguen.
- En la siguiente fila se elige la forma de **conexión del estator (estrella o triángulo)**. Si no cambia el dato, por defecto CALASIN considera que la conexión es triángulo. Hay que introducir este dato antes que el de la tensión V_{1L} para que CALASIN pueda obtener la tensión de fase V_1 del estator. Si deja en blanco este dato, CALASIN bloquea la celda de V_{1L} (la deja con el fondo negro) y muestra un mensaje de advertencia (Fig. 5).

Conexión del estator (estrella o triángulo):

$V_{1L} =$ **!!!Falta conexión estator!!!** $f_1 =$ 50 Hz

Fig. 5: Si deja en blanco el dato de la forma de conexión del estator, CALASIN impide que pueda introducir el dato de V_{1L}

- En la tercera fila están las celdas para introducir los siguientes datos:
 - **V_{1L} :** Tensión de línea (entre fases) del estator.
 - **f_1 :** Frecuencia de la tensión del estator. Si no se cambia este dato, por defecto CALASIN supone que es igual a 50 Hz.
 - **$2p$:** Número de polos de la máquina (si no conoce este dato, vaya a la sección “Cálculos auxiliares”, que se describe en el apartado 3.7 de este documento).
 - **X_μ :** Reactancia magnetizante. Si deja este dato el blanco (y/o el de la reactancia del rotor X'_2) CALASIN realizará sus cálculos empleando el circuito equivalente aproximado (Fig. 3).

NOTA: Si conoce la corriente de vacío I_{0L} puede calcular la reactancia magnetizante X_μ en la sección “Cálculos auxiliares” (ver el apartado 3.7 de este documento).

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

- En la cuarta fila se introducen los siguientes datos referentes a los parámetros del circuito equivalente (Fig. 1 y Fig. 3):
 - R_1 : Resistencia de una fase del estator.
 - R'_2 : Resistencia de una fase del rotor reducida al estator.
 - X_1 : Reactancia de dispersión por fase del estator. Si va a dejar en blanco la celda de la reactancia X'_2 , debe introducir el valor de la reactancia de cortocircuito X_{cc} en esta celda.
 - X'_2 : Reactancia de dispersión por fase del rotor reducida al estator. Si deja en blanco este dato CALASIN realiza sus cálculos empleando el circuito equivalente aproximado (Fig. 3) y debe introducir el valor de la reactancia X_{cc} en la celda inicialmente prevista para albergar el valor de X_1 .
- NOTA: Si conoce el valor del parámetro de la reactancia de cortocircuito X_{cc} , puede estimar los valores de las reactancias X_1 y X'_2 en la sección “Cálculos auxiliares” (ver el apartado 3.7 de este documento).
- La quinta fila está destinada a datos que solamente se pueden introducir cuando se trata de una máquina de rotor bobinado y colector de anillos. Aunque no se introduzcan estos datos, CALASIN puede realizar la mayoría de sus cálculos.

- m_i , m_v : Son, respectivamente, las relaciones de transformación de corrientes y de tensiones, que en una máquina asíncrona de rotor bobinado tienen el mismo valor. Por esta razón solamente es preciso rellenar una única celda.

Estos parámetros permiten obtener los verdaderos valores de las magnitudes del rotor, no solamente sus valores reducidos al estator.

Es preciso introducir este dato antes de que el de la resistencia R_x para que CALASIN pueda obtener su valor reducido al estator R'_x y proseguir con el resto de los cálculos. Si deja en blanco este dato y ha elegido introducir el dato de la resistencia real R_x (y no su valor reducido al estator R'_x), CALASIN bloquea la celda de R_x (la deja con el fondo negro) y muestra un mensaje de advertencia (Fig. 6).

$R_1 = 0,1 \, \Omega$	$R'_2 = 0,35 \, \Omega$	$(X_{cc}) \, X_1 = 1,5 \, \Omega$	$X'_2 = 1,5 \, \Omega$
Rotor bobinado:	$m_i (= m_v):$	Resistencia externa (R_x o R'_x):	R_x
		!!!Falta valor de $m_i (= m_v)$!!!	
RESULTADOS PRELIMINARES			
Se está usando el circuito equivalente: exacto			
$V_1 = 400 \, V$	$n_1 = 1500 \, \text{r.p.m.}$	$\Omega_1 = 157,08 \, \text{rad/s}$	$s_m = 0,1183$
		$c_1 = 1,030002$	$n_m = 1322,51 \, \text{r.p.m.}$

Fig. 6: Si quiere introducir el valor sin reducir al estator R_x de las resistencias en serie con el rotor debe introducir previamente el valor de $m_i (= m_v)$

- R_x , R'_x : En una máquina de rotor bobinado es posible conectar resistencias en serie con las fases del estator. R_x es el valor real de una de estas resistencias y R'_x es su valor reducido al estator. En CALASIN primero debe seleccionar si va a

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

introducir el valor de R_x o el de R'_x (por defecto CALASIN supone que será R'_x) y luego introducir el dato elegido en la celda correspondiente. Cuando no haya resistencias en serie con las fases del rotor, deje en blanco la celda donde introducir su valor y CALASIN trabajará con un valor nulo de R'_x ($R'_x = 0$).

3.2. Resultados preliminares

<u>RESULTADOS PRELIMINARES</u>					Se está usando el circuito equivalente: exacto		$c_1 = 1,030002$
$V_1 = 400 \text{ V}$	$n_1 = 1500 \text{ r.p.m.}$	$\Omega_1 = 157,08 \text{ rad/s}$	$s_m = 0,1859$	$n_m = 1221,09 \text{ r.p.m.}$			
$V_{Th} = 388,349 \text{ V}$	$Z_{Th} = 1,45954 \text{ } \Omega$	$R_{Th} = 0,0942592 \text{ } \Omega$	$X_{Th} = 1,4564937 \text{ } \Omega$	$X_{Thcc} = 2,956494 \text{ } \Omega$			
$R_2 = 1,4 \text{ } \Omega$	$R_x = 0,8 \text{ } \Omega$	$R'_x = 0,2 \text{ } \Omega$	$R'_2 + R'_x = 0,55 \text{ } \Omega$	$R_2 + R_x = 2,2 \text{ } \Omega$			
$R'_{adic} = 2,6080 \text{ } \Omega$	$R_{adic} = 10,432 \text{ } \Omega$	$I_0 \approx I_u = 7,7669756 \text{ A}$	$I_{0L} \approx I_{uL} = 13,452796 \text{ A}$	$P_{Cu0} = 18,1 \text{ W}$			

Fig. 7: Ejemplo de resultados preliminares

Esta sección se encuentra debajo de la de “Datos” y muestra en cinco filas (Fig. 7) varias magnitudes que no dependen de la velocidad de giro de la máquina (y, por lo tanto, tampoco de su deslizamiento).

- En la primera fila (Fig. 7) lo primero que se observa es un recuadro de borde rojo donde se indica el tipo de circuito equivalente (exacto o aproximado) de la máquina asíncrona que CALASIN está empleando, dependiendo de los datos que se han introducido previamente. También en esta fila aparece el parámetro c_1 del circuito equivalente de Thevenin (ver el documento “Fundamento teórico de CALASIN”). Cuando este parámetro vale 1, CALASIN utiliza el circuito equivalente aproximado (Fig. 3).
- Los resultados que aparecen en la segunda fila (Fig. 7) son los siguientes:
 - V_1 : Tensión de fase del estator (depende de la forma de conexión (estrella o triángulo) de este devanado).
 - n_1 : Velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.
 - Ω_1 : Velocidad de sincronismo expresada en rad/s.
 - s_m : Deslizamiento con el que la máquina proporciona su par máximo.
 - n_m : Velocidad (en r.p.m.) a la que la máquina proporciona su par máximo.
- Los resultados que aparecen en la siguiente fila (Fig. 7) se refieren al circuito equivalente Thevenin (Fig. 2) del conjunto del primario y de la reactancia magnetizante y son los siguientes: V_{Th} , Z_{Th} , R_{Th} , X_{Th} y X_{Thcc} (véase el documento “Fundamento teórico de CALASIN”). Cuando el parámetro c_1 vale 1 y, en consecuencia, se está utilizando el circuito equivalente aproximado (Fig. 3), estas magnitudes tienen los mismos valores que V_1 , Z_1 , R_1 , X_1 y X_{cc} , respectivamente.
- En la siguiente fila (Fig. 7) se indican los valores reales y reducidos al estator de las resistencias R_x y de R_2 , así como los de su suma. Los valores reales sólo se muestran si anteriormente se ha introducido el dato de la relación de transformación $m_i (= m_v)$.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

- En la última fila de esta sección (Fig. 7) se muestran las siguientes magnitudes.
 - **R_{adic}, R'_{adic}**: Valores real y reducido al estator de la resistencia a conectar en serie con cada fase del rotor para conseguir que en el arranque el par sea máximo. El valor real, R_{adic}, sólo se muestra si previamente se ha introducido el dato de la relación de transformación $m_i (= m_v)$.
 - **I₀**: Corriente de fase del estator en vacío (que se toma igual a la corriente magnetizante, **I_μ** (Fig. 1)).
 - **I_{0L}**: Corriente de línea del estator en vacío.
 - **P_{Cu0}**: Potencia de pérdidas en el cobre en vacío.
- NOTA:* Las magnitudes en vacío I₀, I_{0L} y P_{Cu0} solamente se muestran si se ha introducido el valor de la reactancia magnetizante X_μ en la sección “Datos”.

3.3. Resultados finales

RESULTADOS FINALES												(Potencia útil ≈ P _{mi})		Sólo si circuito equivalente exacto			
s	n (r.p.m.)	Ω (rad/s)	I' ₂ (A)	I ₂ (A)	P _{Cu2} (W)	V' ₂ (V)	V ₂ (V)	P ₂ (W)	P _a (W)	P _{mi} (W)	M (Nm)	cos φ ₁	I ₁ (A)	I _{1L} (A)	P _{Cu1} (W)		
0,02	1470	153,94	13,99	7,00	205,6	2,80	5,60	117,5	16154,9	15831,8	102,8	0,828	16,34	28,30	80,1		
0,03	1455	152,37	20,81	10,40	454,6	4,16	8,32	259,8	23814,0	23099,6	151,6	0,878	22,75	39,40	155,3		
Par máximo:																	
0,18594	1221,09	127,87	91,39	45,69	8769,7	18,28	36,56	5011,3	74116,4	60335,442	471,8	0,679	94,29	163,31	2667		
Arranque:																	
1	0	0	128,34	64,17	17295,4	25,67	51,34	9883,1	27178,5	0	173,0	0,204	132,20	228,98	5243,1		

Fig. 8: Ejemplo de resultados finales

En esta sección (Fig. 8) se muestran las principales magnitudes que caracterizan cuatro estados de funcionamiento de la máquina. Estos resultados se presentan en una tabla donde cada fila muestra las magnitudes de un estado de funcionamiento.

- El primer estado de funcionamiento se elige indicando el deslizamiento **s**, cuyo valor se introduce en la celda de fondo amarillo.
- El segundo estado de funcionamiento también se puede elegir, aunque en este caso la magnitud que debe introducir como dato en la celda de fondo amarillo correspondiente es la velocidad **n** expresada en r.p.m.

NOTA: En la sección “Cálculos auxiliares” se pueden obtener los valores de **s**, **n** y **Ω** que corresponden a un estado de funcionamiento de la máquina conociendo solamente una de estas tres magnitudes.

- El tercer estado de funcionamiento es cuando la máquina proporciona su par máximo.
- El último estado de funcionamiento que muestra CALASIN es el correspondiente al arranque, es decir, cuando su velocidad es nula.
- Las magnitudes que se indican en cada uno de estos cuatro estados de la máquina son:
 - **s**: Deslizamiento
 - **n**: Velocidad en r.p.m.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

- Ω : Velocidad en rad/s
- I'_2 : Corriente de fase del rotor reducida al estator.
- I_2 : Corriente de fase del rotor (sólo se calcula si se ha introducido previamente el valor de $m_i (= m_v)$).
- P_{Cu2} : Pérdidas en el cobre del rotor.
- V'_2 : Valor reducido al estator de la caída de tensión de fase en cada una de las resistencias externas R_x puestas en serie con el rotor.
- V_2 : Valor real de la caída de tensión de fase en cada una de las resistencias externas R_x puestas en serie con el rotor (sólo se calcula si se ha introducido previamente el valor de $m_i (= m_v)$).
- P_2 : Potencia disipada en las resistencias externas R_x puestas en serie con el rotor.
- P_a : Potencia del entrehierro (potencia que se transmite a través del entrehierro entre el estator y el rotor).
- P_{mi} : Potencia mecánica interna, que es prácticamente igual a la potencia útil.
- M : Par de rotación.
- $\cos \phi_1$: Factor de potencia de la máquina.
- I_1 : Corriente de fase del estator
- I_{1L} : Corriente de línea del estator.
- P_{Cu1} : Pérdidas en el cobre del estator.

NOTA: CALASIN no calculará las magnitudes del estator ($\cos \phi_1$, I_1 , I_{1L} y P_{Cu1}) cuando emplea el circuito equivalente aproximado (Fig. 3). Solamente puede calcular estas magnitudes si usa el circuito equivalente exacto (Fig. 1 y Fig. 2).

3.4. Cálculos intermedios

A la derecha de la sección “Resultados finales” se encuentra la sección “Cálculos intermedios” (Fig. 9). En ella se muestran los resultados de algunos cálculos intermedios que CALASIN realiza para obtener las magnitudes que aparecen en los cuatro estados de funcionamiento de la sección “Resultados finales”. Estos estados de funcionamiento se han detallado en el apartado precedente.

Al igual que en la sección anterior, estos resultados se presentan en una tabla donde cada fila muestra las magnitudes de un estado de funcionamiento.

- Las dos primeras columnas de esta sección (Fig. 9) dan los valores del deslizamiento s y el resultado de esta operación: $(R'_2 + R'_x)/s$.
- Las últimas cinco columnas de esta sección (Fig. 9) solo se calculan si CALASIN está utilizando el circuito equivalente exacto y sirven para calcular la impedancia equivalente total Z_{total} que presenta el circuito equivalente exacto de la Fig. 1. Este cálculo se describe

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

en el documento adjunto “Fundamento teórico de CALASIN” y requiere el cálculo previo de la impedancia Z_p que presenta el conjunto del rotor con la reactancia magnetizante X_μ en paralelo. Las magnitudes que se calculan (Fig. 9) son: c_2 , Z_p , R_p , X_p y Z_{total} .

CALCULOS INTERMEDIOS						
Sólo si se usa el circuito equivalente exacto						
s	$(R'_2 + R'_x)/s$ (Ω)	c_2	Z_p (Ω)	R_p (Ω)	X_p (Ω)	Z_{total} (Ω)
0,02	27,5	1,16765	23,5866	20,1702	12,2268	24,4807
0,03	18,333333	1,09332	16,8246	15,3373	6,91618	17,5824
Par máximo:						
0,18594	2,9579959	1,0317	3,21469	2,77903	1,61593	4,24238
Arranque:						
1	0,55	1,03006	1,55103	0,51837	1,46185	3,02571

Fig. 9: Ejemplo de cálculos intermedios

3.5. Arranques con el rotor en cortocircuito

ARRANQUES CON EL ROTOR EN CORTOCIRCUITO

Arranque estrella-triángulo:

$$V_{1redL} = 400 \text{ V} \quad R'_x = 0 \Omega$$

Conexión	I_a (A)	I_{aL} (A)	M_a (Nm)
Estrella	75,00	75,00	37,6
Triángulo	129,90	224,99	112,8

Arranque por autotransformador:

$$(x < 1); x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,66$$

$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,aut}$ (Nm)
98,00	148,49	85,73	49,1

Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0 \Omega$ y $V_{1redL} = 400 \text{ V}$

Arrancador electrónico:

$$(x < 1); x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,5$$

$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,elect}$ (Nm)
112,49	112,49	64,95	28,2

Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0 \Omega$ y $V_{1redL} = 400 \text{ V}$

Fig. 10: Ejemplo de arranques

Esta sección está debajo de la de “Resultados finales” y sirve para analizar varios métodos de arranque de un motor asíncrono cuyo rotor está en cortocircuito (Fig. 10).

Por lo tanto, en los cálculos correspondientes a esta sección CALASIN asume que el rotor está en cortocircuito ($R'_x = 0$); es decir, no tiene en cuenta el posible valor de la resistencia R_x (o R'_x) que se haya introducido en la sección “Datos”.

3.5.1. Arranque estrella-triángulo

Para poder utilizar este método de arranque el motor asíncrono debe estar conectado a una red de una tensión tal que el arranque directo exija que el motor deba estar conectado en triángulo. En el arranque el motor inicialmente se conecta en estrella, con lo que se reduce su corriente de arranque, y posteriormente, cuando ya ha alcanzado cierta velocidad, se le conecta en triángulo.

Para estudiar este arranque CALASIN no tiene en cuenta la forma de conexión y la tensión de línea introducidos en la sección “Datos” y supone que el motor está conectado a una red cuya tensión de línea (V_{1redL}) es igual a la tensión de fase V_1 que ha calculado previamente en la sección “Resultados preliminares”. De esta manera, el motor debe estar conectado en triángulo en el arranque directo y en estrella en el arranque estrella-triángulo.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

Arranque estrella-triángulo:

$$V_{1redL} = 400 \quad V \quad R'_x = 0 \quad \Omega$$

Conexión	I_a (A)	I_{aL} (A)	M_a (Nm)
Estrella	75,00	75,00	37,6
Triángulo	129,90	224,99	112,8

Fig. 11: Ejemplo de magnitudes durante el arranque estrella-triángulo

Con estas condiciones, tanto en el arranque en estrella como en el triángulo, CALASIN suministra las siguientes magnitudes (Fig. 11):

- I_a : Corriente de fase del estator en el arranque.
- I_{aL} : Corriente de línea del estator en el arranque.
- M_a : Par de arranque.

3.5.2. Arranques por autotransformador y mediante un arrancador electrónico

En ambos métodos de arranque se alimenta el motor con una tensión reducida durante el arranque, para lo cual se coloca un autotransformador (Fig. 12) o un arrancador electrónico (Fig. 13) entre la red y el estator del motor.

Esto obliga a introducir la siguiente nomenclatura para las tensiones y las corrientes en el lado del estator: se van a denominar con subíndice “red” a las magnitudes en el lado de la red y con el subíndice “motor” a las del estator de la máquina asíncrona (ver la Fig. 12 y la Fig. 13).

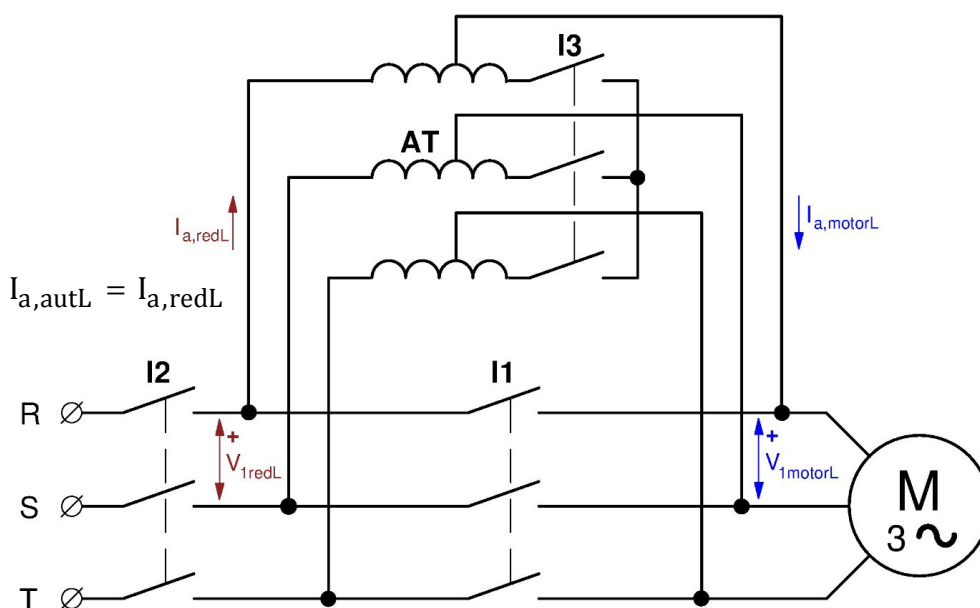


Fig. 12: Arranque por autotransformador

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

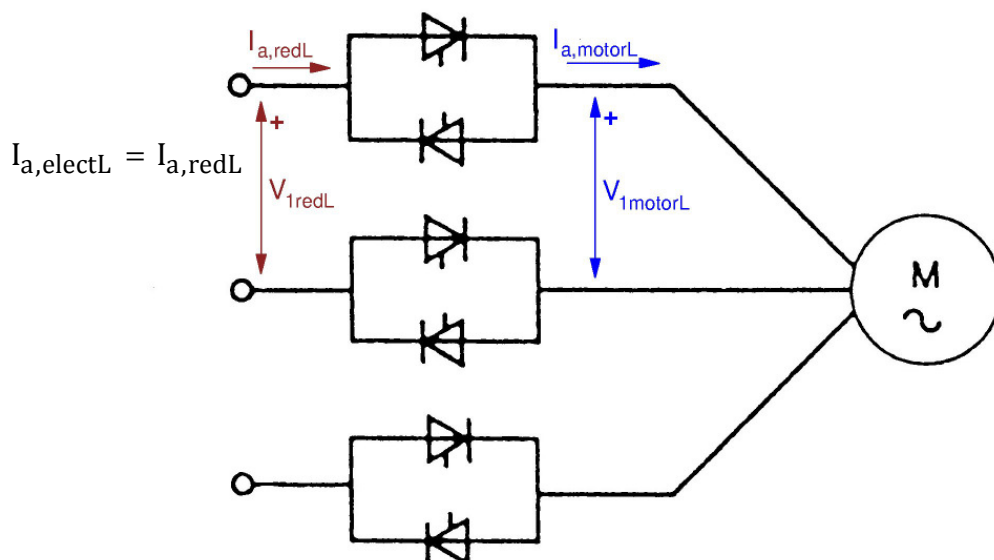


Fig. 13: Arranque mediante un arrancador electrónico

Arranque por autotransformador:				Arrancador electrónico:			
$(x < 1); x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,66$				$(x < 1); x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,5$			
$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,aut}$ (Nm)	$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,elect}$ (Nm)
98,00	148,49	85,73	49,1	112,49	112,49	64,95	28,2
Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0 \Omega$ y $V_{1redL} = 400$ V				Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0 \Omega$ y $V_{1redL} = 400$ V			

Fig. 14: Ejemplo de magnitudes durante los arranques por autotransformador y mediante arrancador electrónico

En estos arranques CALASIN vuelve a tener en cuenta la forma de conexión introducida en la sección “Datos” y considera que la tensión de línea en el lado de la red (V_{1redL}) es igual a la tensión de línea V_{1L} introducida previamente en la sección “Datos”.

Las magnitudes que maneja CALASIN en estos dos métodos de arranque son (ver la Fig. 12, la Fig. 13 y la Fig. 14):

- x : Relación entre las tensiones de línea en el motor y en la red ($x = \frac{V_{1motorL}}{V_{1redL}}$).
- $I_{a,redL}$: Corriente de línea en la red que alimenta al autotransformador o al arrancador electrónico durante el arranque.
- $I_{a,motorL}$: Corriente de línea en el estator de la máquina asíncrona durante el arranque.
- $I_{a,motor}$: Corriente de fase en el estator de la máquina asíncrona durante el arranque.
- $M_{a,aut}$; $M_{a,elect}$: Pares de arranque con autotransformador y con arrancador electrónico, respectivamente.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

Para analizar uno de estos arranques introduzca como dato el valor del parámetro x en la celda de fondo amarillo correspondiente y CALASIN mostrará el resto de magnitudes de arranque (Fig. 14).

3.6. Curvas características

Desplazándose hacia abajo desde la sección anterior se encuentran sucesivamente varias curvas características de la máquina asíncrona (ver las figuras del ejemplo al final de este documento). Estas curvas muestran la variación con el deslizamiento s de las siguientes magnitudes:

- **M:** Par.
- **P_{mi}:** Potencia mecánica interna, que es prácticamente igual a la potencia útil.
- **I'₂** Corriente del rotor reducida al estator.
- **I₁** Corriente del estator.
- **cos ϕ_1 :** Factor de potencia.

Las dos últimas curvas características (de I_1 y de $\cos \phi_1$) sólo se dibujarán si CALASIN usa el circuito equivalente exacto (Fig. 1).

Los valores que CALASIN calcula para poder dibujar estas curvas están tabulados en la hoja de cálculo “Cálculos” a la que se accede desde la correspondiente pestaña de la parte inferior de la pantalla.

3.7. Cálculos auxiliares

CÁLCULOS AUXILIARES

Estos cálculos no afectan al resto de los resultados:

Conversión entre Ω , n y s		
s	n (r.p.m.)	Ω (rad/s)
0,02	1470	153,94
(Si $n_1 = 1500$ r.p.m.)		

Cálculo del número de polos 2p	2p (polos)	n_1 (r.p.m.)	Ω_1 (rad/s)
	2	3000	314,16
	4	1500	157,08
	6	1000	104,72
	8	750	78,54
	10	600	62,83
	(Si $f_1 = 50$ Hz)		

Cálculo de X_1 y de X'_2		
CLASE NEMA	X_1 (Ω)	X'_2 (Ω)
A	1,5	1,5
B	1,2	1,8
C	0,9	2,1
Rotor Bobinado	1,5	1,5
$X_{cc} =$	3	Ω

Cálculo de X_μ		
Si $V_1 = 400$ V		
$X_1 = 1,5 \Omega$		
Conexión: Triángulo		
I_{0L} (A)	I_0 (A)	X_μ (Ω)
13,45	7,765361	50,0108

Fig. 15: Ejemplo de cálculos auxiliares

Esta sección se encuentra a la derecha de la sección “Datos” (arriba y a la derecha de la hoja de cálculo “Resultados”). Los cálculos realizados en esta sección no intervienen en las demás y sirven para obtener algunos de los datos que necesita CALASIN cuando no se disponen de forma directa.

Esta sección está dividida en cuatro subsecciones independientes con formato de tabla (Fig. 15) que se describen en los siguientes apartados.

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

3.7.1. Conversión entre Ω , n y s

Conversión entre Ω , n y s		
s	n (r.p.m.)	Ω (rad/s)
0,02	1470	153,94
(Si $n_1 = 1500$ r.p.m.)		

Fig. 16: Ejemplo de conversión entre Ω , n y s

Esta tabla (Fig. 16) permite la conversión entre las magnitudes de deslizamiento s y de velocidad Ω (medida en rad/s) y n (medida en r.p.m.). Para ello elija la fila que tenga de fondo amarillo la celda correspondiente a la magnitud que se conoce y rellénela con su valor, las otras dos magnitudes aparecerán en las restantes celdas de la misma fila.

Para poder realizar esta conversión es preciso que CALASIN haya calculado antes la velocidad de sincronismo n_1 . Para ello debe haber introducido previamente los valores de la frecuencia f_1 y del número de polos $2p$ en las celdas correspondientes de la sección “Datos”.

3.7.2. Cálculo del número de polos $2p$

Cálculo del número de polos $2p$	$2p$ (polos)	n_1 (r.p.m.)	Ω_1 (rad/s)
	2	3000	314,16
	4	1500	157,08
	6	1000	104,72
	8	750	78,54
	10	600	62,83
	(Si $f_1 = 50$ Hz)		

Fig. 17: Ejemplo de cálculo del número de polos $2p$

Hay veces que no se conoce el dato del número de polos $2p$ de la máquina asíncrona, pero se sabe la velocidad a la que gira cuando mueve una cierta carga; por ejemplo, la carga asignada o nominal.

Si previamente se ha introducido el valor de la frecuencia f_1 en la sección “Datos”, esta tabla (Fig. 17) calcula las velocidades de sincronismo n_1 que, con esta frecuencia, corresponden a diferentes números de polos. Se busca la celda con aquella velocidad de sincronismo que sea ligeramente superior a la velocidad que se conoce y en la misma fila aparece el número de polos de la máquina.

3.7.3. Cálculo de las reactancias de dispersión X_1 y X'_2

Cálculo de X_1 y de X'_2		
CLASE NEMA	X_1 (Ω)	X'_2 (Ω)
A	1,5	1,5
B	1,2	1,8
C	0,9	2,1
Rotor Bobinado	1,5	1,5
$X_{cc} =$	3	Ω

Fig. 18: Ejemplo de cálculo de las reactancias de dispersión X_1 y X'_2

En muchas ocasiones se conoce la reactancia de cortocircuito X_{cc} ($X_{cc} = X_1 + X'_2$), pero no los valores de sus componentes, las reactancias de dispersión X_1 y X'_2 .

Las normas *NEMA* (*National Electrical Manufacturers Association*) y las de la *CEI* (*Comisión Electrotécnica Internacional*) clasifican los motores asíncronos en diferentes clases. NEMA indica para cada una de sus clases qué proporción de X_{cc} corresponde a X_1 y qué proporción corresponde a X'_2 (ver el documento adjunto “Fundamento teórico de CALASIN”).

- La clase A de NEMA corresponde a motores de jaula simple cuyo rotor tiene sus parámetros prácticamente invariables con la velocidad.
- La clase B de NEMA corresponde a motores de jaula de ranura profunda que consume una corriente de arranque inferior a los de la clase A. Esta clase NEMA es equivalente a clase N de la CEI.
- La clase C de NEMA corresponde a motores de doble jaula o de ranura profunda. Tienen mayor par de arranque que los motores A y B y presentan menor par máximo y mayores deslizamientos de plena carga y de par máximo que los motores A y B. Esta clase NEMA es equivalente a clase H de la CEI.

Para usar esta tabla (Fig. 18) introduzca el valor de X_{cc} en la celda de fondo amarillo de su fila inferior y busque los valores de X_1 y de X'_2 en la fila correspondiente a la clase NEMA del motor que se está estudiando.

3.7.4. Cálculo de la reactancia magnetizante X_μ

Con esta tabla (Fig. 19) se puede calcular la reactancia magnetizante X_μ si se sabe el valor de la corriente de vacío de línea I_{0L} . Para ello es preciso que se hayan introducido previamente estos valores en la sección “Datos”: Forma de conexión del estator, tensión de línea V_{1L} (de la que CALASIN obtiene la tensión de fase V_1) y la reactancia de dispersión del estator X_1 .

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

Cálculo de X_μ		
Si $V_1 = 400$ V		
$X_1 = 1,5 \Omega$		
Conexión: Triángulo		
I_{0L} (A)	I_0 (A)	X_μ (Ω)
13,45	7,765361	50,0108

Fig. 19: Ejemplo de cálculo de la reactancia magnetizante X_μ

Para usar esta tabla (Fig. 19) introduzca el dato de la corriente de vacío I_{0L} en la celda de fondo amarillo de la fila inferior y el valor de la reactancia magnetizante X_μ aparecerá en la última celda de dicha fila.

4. EJEMPLO

En las páginas finales de este documento de ayuda se muestra como las hojas de cálculo “Resultados” y “Cálculos” permiten el estudio de un motor asíncrono trifásico de rotor bobinado con resistencias en serie con el rotor.

5. LICENCIA

Esta pieza de software es gratuita (freeware). Puede utilizarla libremente sin coste alguno y puede distribuir CALASIN libremente siempre que lo haga sin introducir modificaciones y acompañado de toda su documentación original.

CALASIN se suministra sin soporte técnico. Usted lo utiliza bajo su responsabilidad. El autor no se responsabiliza de los perjuicios originados por errores o fallos en CALASIN.

A pesar de su carácter gratuito, el autor se reserva todos los derechos sobre la propiedad intelectual de este libro de cálculo.

CALASIN ha sido desarrollado por el profesor Miguel Angel Rodríguez Pozueta, del Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética de la Universidad de Cantabria (España).

El autor agradece cualquier sugerencia u opinión sobre CALASIN, las cuáles pueden enviarse a su correo electrónico: rodrigmap@hotmail.com

Santander (España), 15 de abril de 2016

AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

CALASIN (versión 4.0): CÁLCULO DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS.

Autor: Miguel Angel Rodríguez Pozueta UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (España)

RELLENE LAS CELDAS CON FONDO AMARILLO. PARA VER LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS VAYA MÁS ABAJO

Para usar el circuito equivalente aproximado deje en blanco la celda de X_{1L} y/o la celda de X'_{2L} . Si usa el circuito equivalente aproximado y deja en blanco la celda de X'_{2L} debe introducir el valor de X_{∞} en la celda de X_1

DATOS

Referencia de la máquina: Motor de prueba (circuito equivalente exacto)

Conexión del estator (estrella o triángulo): Triángulo
 $V_{1L} = 400$ V (tensión de línea) $f_1 = 50$ Hz $2p = 4$ polos $X_{\mu} = 50$ Ω
 $R_1 = 0,1$ Ω $R'_2 = 0,35$ Ω $(X_{\infty}) X_1 = 1,5$ Ω $X'_2 = 1,5$ Ω

Rotor bobinado: $m_1 (= m_2) = 0,5$ Resistencia externa (R_x o R'_x): $R'_x = 0,2$ Ohms

RESULTADOS PRELIMINARES

Se está usando el circuito equivalente: exacto

$c_1 = 1,030002$

$V_1 = 400$ V $n_1 = 1500$ r.p.m. $\Omega_1 = 157,08$ rad/s $s_m = 0,1859$ $n_m = 1221,09$ r.p.m.
 $V_{Th} = 388,349$ V $Z_{Th} = 1,45954$ Ω $R_{Th} = 0,0942592$ Ω $X_{Th} = 1,4564937$ Ω $X_{Thcc} = 2,956494$ Ω
 $R_2 = 1,4$ Ω $R_x = 0,8$ Ω $R'_x = 0,2$ Ω $R'_2 + R'_x = 0,55$ Ω $R_2 + R_x = 2,2$ Ω
 $R'_{adic} = 2,6080$ Ω $R_{adic} = 10,432$ Ω $I_0 \approx I_{uL} = 7,7669756$ A $I_{0L} \approx I_{uL} = 13,452796$ A $P_{Cu0} = 18,1$ W

RESULTADOS FINALES

(Potencia útil $\approx P_m$)

Sólo si circuito equivalente exacto

s	n (r.p.m.)	Ω (rad/s)	I'_2 (A)	I_2 (A)	P_{Cu2} (W)	V'_2 (V)	V_2 (V)	P_2 (W)	P_a (W)	P_{mi} (W)	M (Nm)	$\cos \varphi_1$	I_1 (A)	I_{1L} (A)	P_{Cu1} (W)
0,02	1470	163,94	13,99	7,00	205,6	2,80	5,60	117,5	16154,9	15831,8	102,8	0,828	16,34	28,30	80,1
0,03	1455	152,37	20,81	10,40	454,6	4,16	8,32	259,8	23814,0	23099,6	151,6	0,878	22,75	39,40	155,3
Par máximo:															
0,18594	1221,09	127,87	91,39	45,69	8769,7	18,28	36,56	5011,3	74116,4	60335,442	471,8	0,679	94,29	163,31	2667
Arranque:															
1	0	0	128,34	64,17	17295,4	25,67	51,34	9883,1	27178,6	0	173,0	0,204	132,20	228,98	5243,1

ARRANQUES CON EL ROTOR EN CORTOCIRCUITO

Arranque estrella-triángulo:

$V_{1redL} = 400$ V $R'_x = 0$ Ω

Conexión	I_a (A)	I_{aL} (A)	M_a (Nm)
Estrella	75,00	75,00	37,6
Triángulo	129,90	224,99	112,8

Arranque por autotransformador:

$(x < 1)$; $x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,66$

$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,aut}$ (Nm)
98,00	148,49	85,73	49,1

Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0$ Ω y $V_{1redL} = 400$ V

Arrancador electrónico:

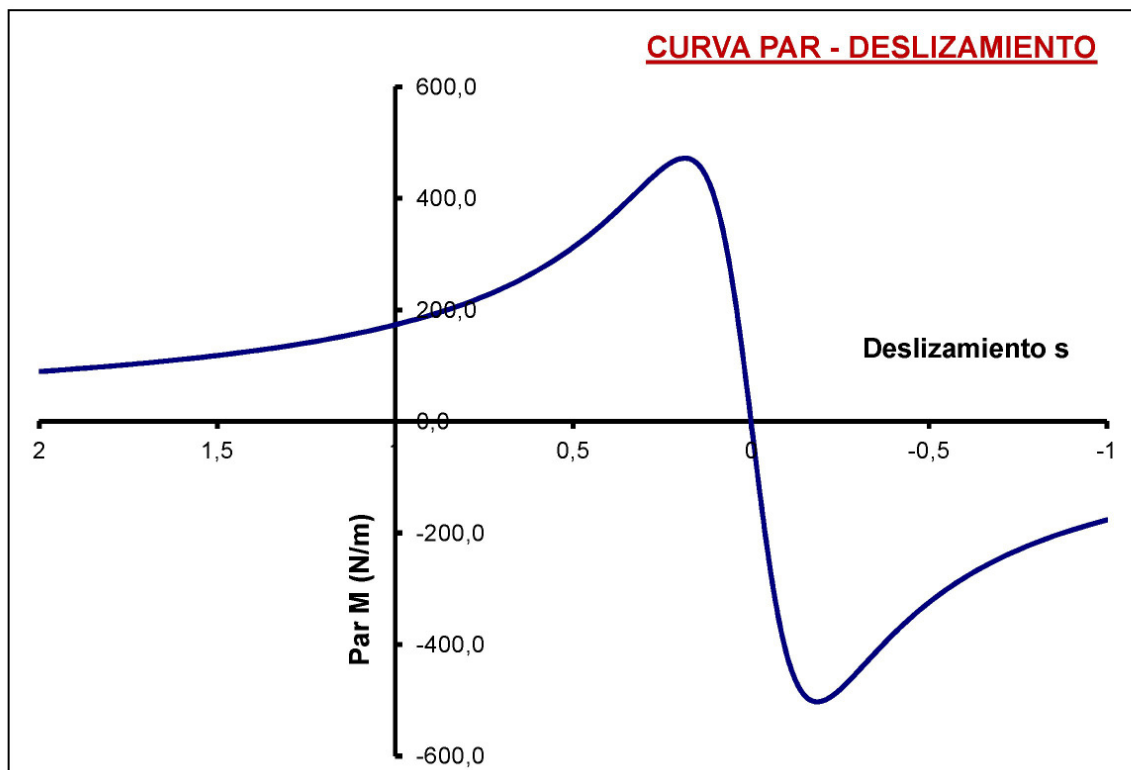
$(x < 1)$; $x = V_{1motorL}/V_{1redL} = 0,5$

$I_{a,redL}$ (A)	$I_{a,motorL}$ (A)	$I_{a,motor}$ (A)	$M_{a,elect}$ (Nm)
112,49	112,49	64,95	28,2

Se supone que la conexión es Triángulo y que $R'_x = 0$ Ω y $V_{1redL} = 400$ V

Referencia de la máquina:

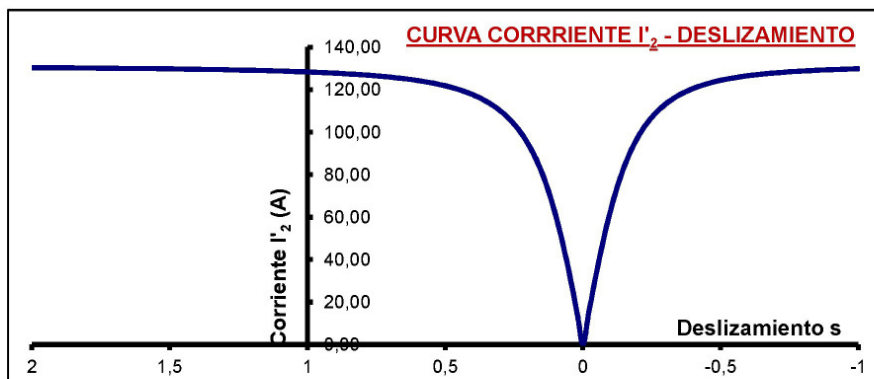
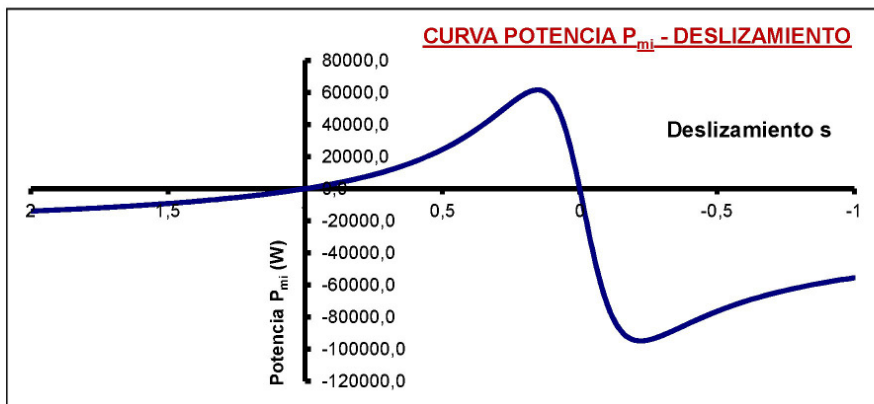
Motor de prueba (circuito equivalente exacto)



AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

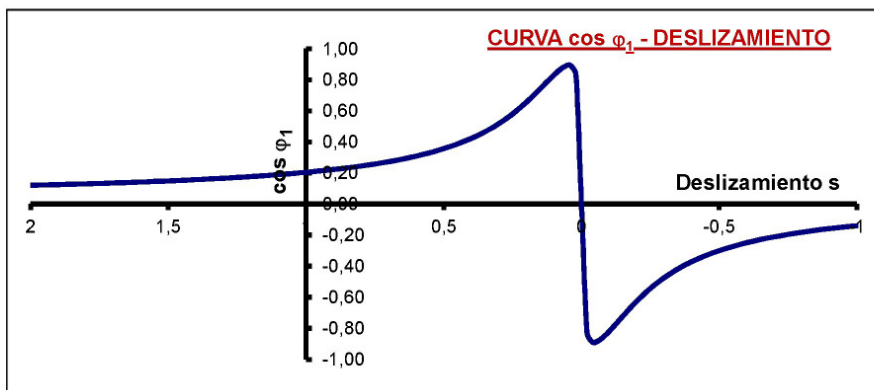
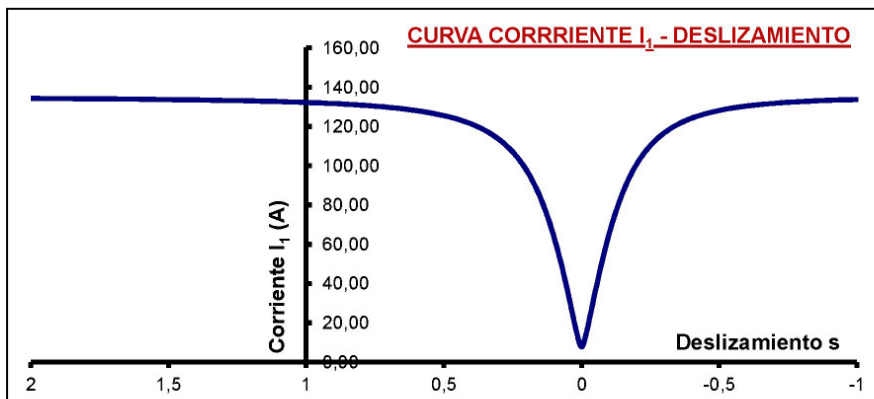
Referencia de la máquina:

Motor de prueba (circuito equivalente exacto)



Referencia de la máquina:

Motor de prueba (circuito equivalente exacto)



AYUDA PARA EL MANEJO DE CALASIN

CALASIN (versión 4.0): CÁLCULO DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS

DATOS

Referencia de la máquina:

Motor de prueba (circuito equivalente exacto)

$V_1 = 400$ V $f_1 = 50$ Hz $p = 2$ pares de polos $X_{ll} = 50$ Ω
 $R_1 = 0,1$ Ω $R'_2 + R'_x = 0,55$ Ω $X_1 = 1,5$ Ω $X'_2 = 1,5$ Ω

Autor: Miguel Angel Rodríguez Pozueta
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (España)

$K_{conex1} = 0,57735$

$I_0 = 7,766976$ A

RESULTADOS PRELIMINARES

$n_1 = 1500$ r.p.m. $\Omega_1 = 157,08$ rad/s $s_m = 0,1859$ $n_m = 1221,095$ r.p.m.
 $(c_1 = 1,030002)$ $V_{Th} = 388,3488$ V $Z_{Th} = 1,459541$ Ω $R_{Th} = 0,094259$ Ω $X_{Th} = 1,4564937$ Ω

RESULTADOS FINALES

s	n (r.p.m.)	Ω (rad/s)	I'_2 (A)	P_{mi} (W)	M (Nm)	cos φ_1	I_1 (A)
Par a calcular:							
0,02	1470,00	153,94	13,99	15831,8	102,8	0,828	16,34
Par máximo:							
0,185937	1221,09	127,87	91,39	60335,44	471,8	0,679	94,29
Arranque:							
1	0	0	128,34	0	173,0	0,204	132,20
-1	3000	314,16	129,82	-55616,7	-177,0	-0,140	133,72
-0,975	2982,5	310,23	129,73	-56247,7	-181,3	-0,144	133,63
-0,95	2925	306,31	129,62	-56907,1	-185,8	-0,149	133,52
-0,925	2887,5	302,38	129,51	-57597,0	-190,5	-0,154	133,41
-0,9	2850	298,45	129,39	-58319,1	-195,4	-0,159	133,28
-0,875	2812,5	294,52	129,28	-59075,7	-200,6	-0,164	133,15
-0,85	2775	290,60	129,12	-59869,1	-206,0	-0,170	133,00
-0,825	2737,5	286,67	128,96	-60701,7	-211,7	-0,175	132,84
-0,8	2700	282,74	128,79	-61576,2	-217,8	-0,182	132,66
-0,775	2662,5	278,82	128,60	-62495,5	-224,1	-0,188	132,47
-0,75	2625	274,89	128,39	-63462,6	-230,9	-0,195	132,25
-0,725	2587,5	270,96	128,16	-64480,8	-238,0	-0,203	132,02
-0,7	2550	267,04	127,90	-65553,6	-245,5	-0,211	131,76
-0,675	2512,5	263,11	127,62	-66684,6	-253,4	-0,219	131,46
-0,65	2475	259,18	127,30	-67877,5	-261,9	-0,229	131,14
-0,625	2437,5	255,25	126,95	-69136,4	-270,9	-0,238	130,78
-0,6	2400	251,33	126,55	-70465,1	-280,4	-0,249	130,37
-0,575	2362,5	247,40	126,10	-71867,6	-290,5	-0,260	129,91
-0,55	2325	243,47	125,59	-73347,2	-301,3	-0,272	129,39
-0,525	2287,5	239,55	125,02	-74907,0	-312,7	-0,286	128,79
-0,5	2250	235,62	124,36	-76548,9	-324,9	-0,300	128,12

-0,475	2212,5	231,69	123,60	-78273,3	-337,8	-0,315	127,34	1,06	-90	-9,42	128,62	-1545,0	163,9	0,195	132,48
-0,45	2175	227,77	122,73	-80077,8	-351,6	-0,332	126,44	1,08	-120	-12,57	128,70	-2024,5	161,1	0,192	132,57
-0,425	2137,5	223,84	121,71	-81956,6	-366,1	-0,351	125,40	1,1	-150	-15,71	128,78	-2487,6	158,4	0,189	132,65
-0,4	2100	219,91	120,53	-83897,8	-381,5	-0,371	124,19	1,12	-180	-18,85	128,85	-2935,2	155,7	0,187	132,73
-0,38	2070	216,77	119,44	-85482,3	-394,3	-0,389	123,07	1,14	-210	-21,99	128,92	-3368,0	153,2	0,184	132,80
-0,36	2040	213,63	118,19	-87077,9	-407,6	-0,408	121,79	1,16	-240	-25,13	128,99	-3786,8	150,7	0,182	132,87
-0,34	2010	210,49	116,77	-88681,9	-421,2	-0,428	120,33	1,18	-270	-28,27	129,06	-4192,1	148,3	0,179	132,93
-0,32	1980	207,35	115,12	-90202,0	-435,0	-0,450	118,64	1,2	-300	-31,42	129,12	-4584,7	145,9	0,177	133,00
-0,3	1950	204,20	113,22	-91653,6	-448,8	-0,474	116,69	1,22	-330	-34,56	129,18	-4965,0	143,7	0,175	133,06
-0,28	1920	201,06	111,01	-92955,4	-462,3	-0,500	114,43	1,24	-360	-37,70	129,23	-5333,7	141,5	0,172	133,12
-0,26	1890	197,92	108,44	-94024,4	-475,1	-0,528	111,78	1,26	-390	-40,84	129,29	-5691,2	139,4	0,170	133,17
-0,24	1860	194,78	105,42	-94749,3	-488,4	-0,559	108,69	1,28	-420	-43,98	129,34	-6038,0	137,3	0,168	133,22
-0,22	1830	191,64	101,89	-94983,0	-495,6	-0,591	105,07	1,3	-450	-47,12	129,39	-6374,6	135,3	0,166	133,27
-0,2	1800	188,50	97,72	-94534,9	-501,5	-0,626	100,79	1,32	-480	-50,27	129,44	-6701,5	133,3	0,164	133,32
-0,18	1770	185,35	92,81	-93164,0	-502,6	-0,663	95,76	1,34	-510	-53,41	129,48	-7019,0	131,4	0,162	133,37
-0,16	1740	182,21	87,02	-90576,9	-497,1	-0,702	89,83	1,36	-540	-56,55	129,52	-7327,5	129,6	0,160	133,41
-0,14	1710	179,07	80,21	-86436,1	-482,7	-0,742	82,85	1,38	-570	-59,69	129,57	-7627,4	127,8	0,159	133,46
-0,12	1680	175,93	72,25	-80385,4	-456,9	-0,782	74,71	1,4	-600	-62,83	129,61	-7919,1	126,0	0,157	133,50
-0,1	1650	172,79	63,03	-72104,3	-417,3	-0,820	65,29	1,42	-630	-65,97	129,65	-8202,8	124,3	0,155	133,54
-0,08	1620	169,65	52,50	-61393,3	-361,9	-0,855	54,55	1,44	-660	-69,12	129,68	-8478,9	122,7	0,154	133,58
-0,06	1590	166,50	40,70	-48284,2	-290,0	-0,881	42,58	1,46	-690	-72,26	129,72	-8747,7	121,1	0,152	133,61
-0,04	1560	163,36	27,79	-33141,8	-202,9	-0,889	29,63	1,48	-720	-75,40	129,75	-9009,5	119,5	0,150	133,65
-0,02	1530	160,22	14,09	-16702,8	-104,2	-0,825	16,45	1,5	-750	-78,54	129,79	-9264,5	118,0	0,149	133,68
0	1500	157,08	0,00	0,0	0,0	0,002	7,77	1,52	-780	-81,68	129,82	-9513,0	116,5	0,147	133,72
0,02	1470	153,94	13,99	15831,8	102,8	0,828	16,34	1,54	-810	-84,82	129,85	-9755,3	115,0	0,146	133,75
0,04	1440	150,80	27,43	29801,1	197,6	0,892	29,25	1,56	-840	-87,96	129,88	-9991,5	113,6	0,145	133,78
0,06	1410	147,65	39,95	41252,2	279,4	0,886	41,79	1,58	-870	-91,11	129,91	-10221,8	112,2	0,143	133,81
0,08	1380	144,51	51,30	49932,6	345,5	0,862	53,31	1,6	-900	-94,25	129,94	-10446,6	110,8	0,142	133,84
0,1	1350	141,37	61,38	55938,8	395,7	0,831	63,58	1,62	-930	-97,39	129,96	-10666,0	109,5	0,141	133,86
0,12	1320	138,23	70,18	59595,5	431,1	0,796	72,57	1,64	-960	-100,53	129,99	-10880,1	108,2	0,139	133,89
0,14	1290	135,09	77,79	61331,0	454,0	0,760	80,35	1,66	-990	-103,67	130,01	-11089,3	107,0	0,138	133,92
0,16	1260	131,95	84,32	61583,0	466,7	0,724	87,04	1,68	-1020	-106,81	130,04	-11293,5	105,7	0,137	133,94
0,18	1230	128,81	89,90	60744,5	471,6	0,689	92,76	1,7	-1050	-109,96	130,06	-11493,1	104,5	0,136	133,97
0,2	1200	125,66	94,66	59140,7	470,6	0,655	97,64	1,72	-1080	-113,10	130,09	-11688,1	103,3	0,134	133,99
0,22	1170	122,52	98,73	57027,0	465,4	0,624	101,81	1,74	-1110	-116,24	130,11	-11878,7	102,2	0,133	134,01
0,24	1140	119,38	102,22	54595,7	457,3	0,594	105,39	1,76	-1140	-119,38	130,13	-12065,1	101,1	0,132	134,04
0,26	1110	116,24	105,22	51987,8	447,2	0,567	108,46	1,78	-1170	-122,52	130,15	-12247,4	100,0	0,131	134,06
0,28	1080	113,10	107,80	49303,6	435,9	0,541	111,11	1,8	-1200	-125,66	130,17	-12425,7	98,9	0,130	134,08
0,3	1050	109,96	110,03	46613,3	423,9	0,518	113,41	1,82	-1230	-128,81	130,19	-12600,2	97,8	0,129	134,10
0,32	1020	106,81	111,98	43964,1	411,6	0,496	115,40	1,84	-1260	-131,95	130,21	-12770,9	96,8	0,128	134,12
0,34	990	103,67	113,67	41387,3	399,2	0,475	117,14	1,86	-1290	-135,09	130,23	-12938,1	95,8	0,127	134,14
0,36	960	100,53	115,16	38902,2	387,0	0,457	118,67	1,88	-1320	-138,23	130,24	-13101,7	94,8	0,126	134,15
0,38	930	97,39	116,47	36519,9	375,0	0,439	120,01	1,9	-1350	-141,37	130,26	-13262,0	93,8	0,125	134,17
0,4	900	94,25	117,63	34246,0	363,4	0,423	121,20	1,92	-1380	-144,51	130,28	-13418,9	92,9	0,124	134,19
0,42	870	91,11	118,66	32081,7	352,1	0,408	122,26	1,94	-1410	-147,65	130,30	-13572,7	91,9	0,123	134,21
0,44	840	87,96	119,57	30026,0	341,3	0,393	123,20	1,96	-1440	-150,80	130,31	-13723,4	91,0	0,122	134,22
0,46	810	84,82	120,39	28075,9	331,0	0,380	124,04	1,98	-1470	-153,94	130,33	-13871,1	90,1	0,121	134,24
0,48	780	81,68	121,13	26227,2	321,1	0,368	124,80	2	-1500	-157,08	130,34	-14015,9	89,2	0,121	134,25
0,5	750	78,54	121,79	24475,4	311,8	0,356	125,48								