



Universidad Carlos III de Madrid.

Escuela Politécnica Superior.

MÁQUINAS ELÉCTRICAS II

2º DE INGENIERÍA TÉCNICA EN ELECTRICIDAD

ARRANQUE DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS

Preparado por :

Javier Ramos Rubio.



de Madrid

PRÁCTICA 2: ARRANQUE DE MÁQUINAS ASÍNCRONAS.

1. INTRODUCCIÓN.OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA

El motor asíncrono trifásico es empleado cada vez más a causa de su constitución robusta y sencilla y de su servicio prácticamente libre de mantenimiento. Sin embargo presenta durante el arranque unas corrientes y pares elevados que pueden dañar a la propia máquina

Para solucionar este problema se pueden emplear diferentes técnicas :

- Técnicas tradicionales :

(1) Arranque directo :

Cada motor de jaula tiene sus propias características constructivas y sus curvas características de intensidad/velocidad y par/velocidad. El motor se comporta independientemente de la dificultad de arranque según el desarrollo de estas curvas. Lo anterior significa que con arranque directo fluirá de forma instantánea una gran corriente que asciende a varias veces la corriente asignada. Al mismo tiempo se transfiere a la carga el par inicial, que para la mayoría de los motores es superior al par asignado. Para proteger a la red de elevados picos de intensidad es conveniente arrancar el sistema de forma "suave". El arranque directo se explica con mayor profundidad en el apartado 4.

(2) Arranque estrella-triángulo

En el arranque estrella- triángulo se reduce el par y la intensidad de arranque, teniendo en cuenta la saturación , a unos valores del 25-30% de los valores con arranque directo. El motor debe de vencer el par resistente de forma que hay que tener en cuenta como se desarrolla este par con la velocidad. Sólomente es posible acelerar el accionamiento mientras el par que proporciona la máquina (en Y) es superior al par de carga hasta que se equilibrar en un punto n_Y , donde habrá que conmutarlo a la velocidad triángulo n_x . Si este punto de conmutación es demasiado bajo, se produce un elevado pico de corriente, con lo que el arranque estrella triángulo tampoco es demasiado efectivo.

(3) Transformador de arranque. Resistencias de arranque en los devanados del estator

Los transformadores de arranque o las resistencias de arranque proporcionan la posibilidad de disminuir la corriente y el par de arranque reduciendo la tensión en bornas ,. Se conectan en los tres devanados del motor y se desconectan un momento antes de que el motor alcance la velocidad nominal. El procedimiento anterior también puede realizarse en escalones, pero requiere un mayor

de Madrid

volumen de mando, y además se libera una gran cantidad de pérdidas de potencia en las resistencias durante el arranque.

Es común a todos los métodos de arranque no suponer una adaptación fiel de los parámetros del motor a los problemas concretos de cada arranque. Si bien es cierto que se reduce el par y la corriente inicial, no se puede sin embargo conseguir plenamente todas las exigencias deseables como arrancar con un par de aceleración definido o constante, o bien con una intensidad inicial limitada. Además son necesarios circuitos adicionales que suponen unos costes elevados de mantenimiento e instalación. Los picos de corriente o golpes de par que se producen en la conmutación de la etapa de estrella a triángulo o entre el primer y segundo escalón con resistencias son complicados de evitar.

- Técnicas actuales :

Todos los problemas anteriormente comentados encuentran una solución adecuada utilizando un arrancador suave , cuyos parámetros de arranque se pueden acoplar a cada clase de carga. La carga que se utilizará en el laboratorio es una máquina de corriente continua que actúa como freno . Las técnicas actuales (arrancador suave y PLC) se explican de forma detallada en los apartados 6 -7.

Así pues los **objetivos de la práctica** son

- 1- Familiarizar al alumno con el problema de arranque de motores de inducción.
2. Conocer y aplicar los métodos tradicionales (lógica cableada, relés contactores)
3. Conocer y aplicar los métodos actuales (lógica programada, arrancadores electrónicos)
- 4.- Evaluar y comparar los diferentes métodos.

2 ARRANQUE DE MOTORES ASÍNCRONOS TRIFÁSICOS.

La corriente absorbida por un motor en el arranque es muy elevada, por lo que en muchas ocasiones hay que recurrir a dispositivos y medios que reduzcan esta corriente no admisible.

En los motores pequeños, se puede hacer un arranque directo a la red, es decir, aplicar directamente a los bornes del motor la tensión a la que debe trabajar.

Esto puede admitirse cuando sólo arranca un motor, pero no cuando deben arrancar varios motores a la vez, por la caída de tensión que producen en la red.

de Madrid

Cuando se desea disminuir la corriente del arranque, bien porque se trata de motores grandes, o bien por que se tienen muchos motores arrancando simultáneamente, se pueden emplear diversos procedimientos, como son el arranque por autotransformador, el arranque por inserción de resistencias rotóricas o estatóricas y el arranque estrella-triángulo, entre otros.

Nosotros vamos a ver este último tipo de arranque, que se emplea para motores que deban estar conectados en triángulo a la tensión de la red, pero que precisen pasar por una conexión en estrella con objeto de reducir la tensión en los devanados y, por tanto, la corriente en el arranque.

Estos cambios en las conexiones se pueden hacer de forma manual (poco usual) o de forma automática utilizando contactores. A continuación se explica qué es un contactor y la diferencia entre contactor y relé, elementos ambos muy utilizados en maniobras con motores u otras máquinas.

3 RELÉS Y CONTACTORES.

La parte básica en el relé y el contactor es el electroimán. Está constituido básicamente por un circuito magnético, una bobina y complementos mecánicos de fijación, que se representan en la **Error! Unknown switch argument.**

El **circuito magnético**, está compuesto por un núcleo (1) y una armadura (2). El núcleo está separado de la armadura por la fuerza de unos resortes (3). Al dar corriente a la bobina (4), el núcleo atrae a la armadura venciendo la fuerza del resorte. La armadura se encarga de arrastrar a los contactos (5), cambiándolos de posición. En los circuitos electromagnéticos alimentados por corriente alterna es necesario colocar las llamadas espiras de sombra (6) para evitar vibraciones del núcleo con la armadura. En la práctica y a nivel de esquema el circuito electromagnético se representa por un rectángulo.

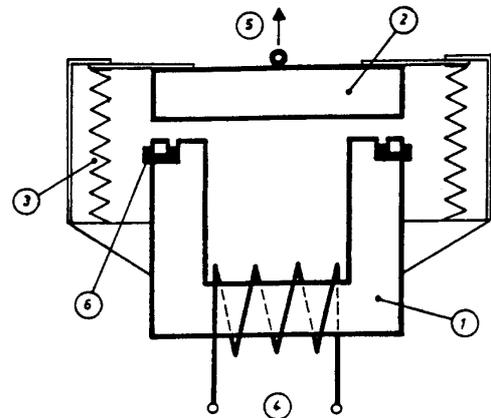


Figura Error! Unknown switch argument.

de Madrid

El **relé** es un aparato eléctrico que consta básicamente de un circuito electromagnético y de una serie de contactos abiertos y cerrados en posición de reposo.

En la parte superior de la **Error! Unknown switch argument.** queda representado un relé en estado de reposo, mientras que la parte inferior representa al circuito electromagnético bajo tensión y, por tanto, con todos sus contactos cambiados respecto a la posición de reposo.

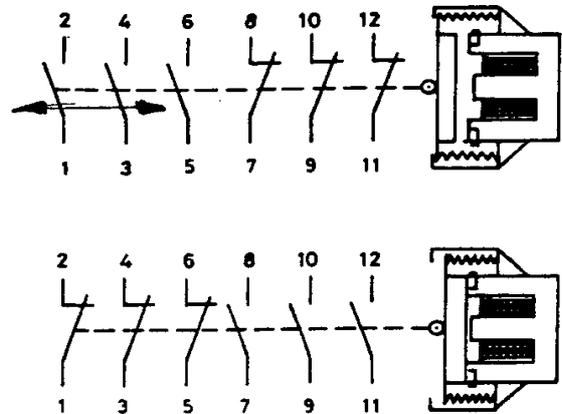
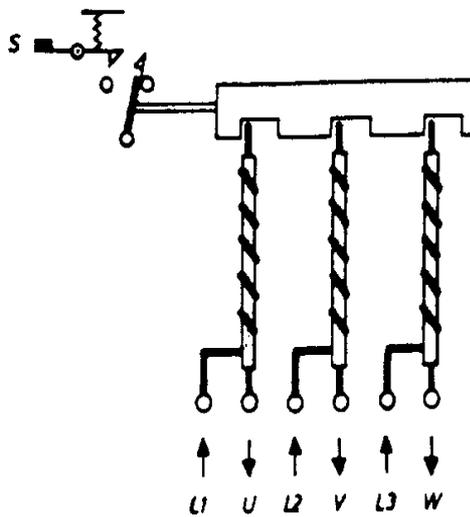
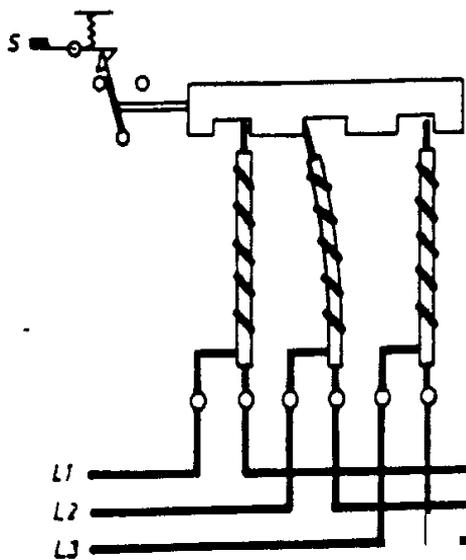


Figura **Error! Unknown switch argument.**



Un tipo especial de relé es el relé térmico, que, como su nombre indica, se basa en el calor producido por efecto Joule. Una corriente al pasar por un conductor, puede dar lugar a un calentamiento del mismo, tanto mayor cuanto mayor sea la corriente que circula por él y cuanto más tiempo dure esta sobrecarga. Si con el calor que desprende el conductor se calienta un bimetálico, éste se curva al tener diferentes coeficientes de dilatación y estar solidariamente unidos.



En la **Error! Unknown switch argument.** se muestra un conjunto de relé térmico trifásico. Al dilatarse uno cualquiera de los bimetálicos por el efecto de una sobrecarga, el dispositivo mecánico cambia la posición del contacto, quedando enclavado.

Habrá que esperar a que el bimetálico se enfríe para que el contacto vuelva a su posición pulsando en S. En este momento podrá reiniciarse la maniobra de arranque. En la misma figura, en la parte inferior, se representa de forma simbólica un relé térmico en el circuito de potencia.

de Madrid

El **contactor** se define como un interruptor gobernado a distancia de muy diversas maneras, estando constituido principalmente por un circuito electromagnético (1), unos contactos auxiliares (2), abiertos o cerrados en su estado de reposo, y unos contactos de potencia (3). En la siguiente figura puede apreciarse la representación del contactor en las tres partes que lo definen.

La principal diferencia entre contactor y relé estriba en que el contactor pilota un circuito de potencia y tiene contactos auxiliares para su propio gobierno y para participar con otros componentes que forman el esquema.

La aportación del contactor supuso el abaratar las maniobras, facilitarlas y poderlas integrar en diferentes procesos automáticos, por difíciles que sean.

En la representación de los esquemas, los contactos auxiliares y el circuito electromagnético van con el llamado esquema de control o funcional, mientras que los contactos principales (contactos de potencia) van con el esquema de potencia.

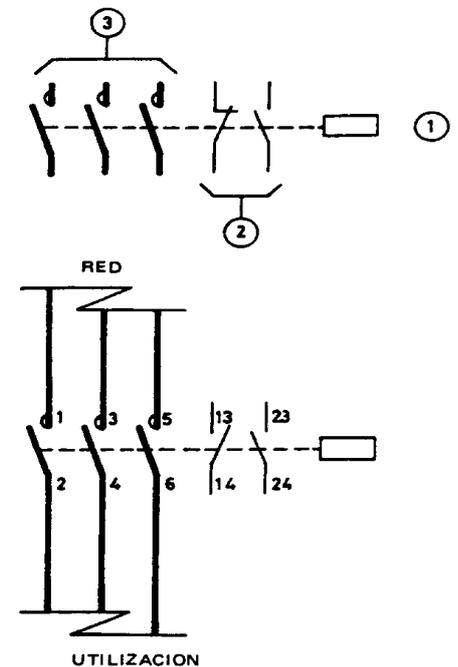


Figura Error! Unknown switch argument.

4 ARRANQUE DIRECTO DEL MOTOR ASÍNCRONO.

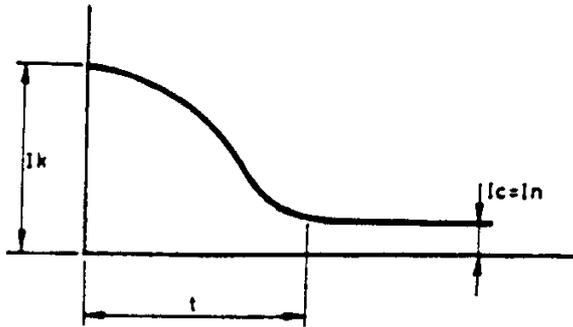
Un motor arranca de forma directa cuando se aplica a sus bornes, directamente la tensión a la que debe trabajar. Así por ejemplo, si a un motor con bobinado de 220/380V se le aplica a sus bornes 220 V, el motor habrá recibido directamente la tensión de servicio.

Suponiendo que el motor arranca en carga, el bobinado tiende a absorber una intensidad que es muy superior a la que aparece en la placa de características, llegando a ser hasta ocho veces la intensidad nominal. Como puede apreciarse este aumento de corriente en el periodo de arranque hace que las líneas incrementen considerablemente su carga, y como consecuencia directa, su caída de tensión.

Si en lugar de un solo motor, son muchos los que arrancan y paran de forma intermitente, se tendrá un problema importante cuando se trata de motores de mediana y gran potencia. En este caso habrá que recurrir a otras formas de arranque que reduzcan la intensidad de la corriente absorbida en el periodo de arranque.

de Madrid

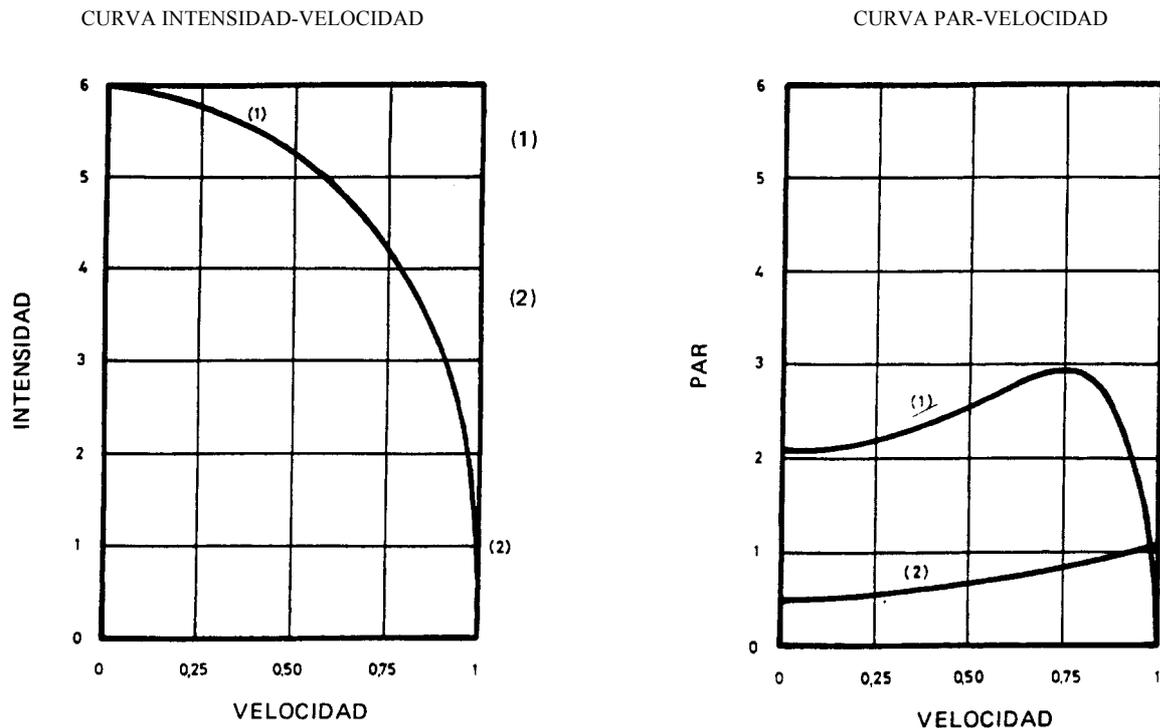
A continuación se muestra la curva de intensidad absorbida por un motor durante el arranque.



I_k - corriente de conexión.
 I_n - intensidad nominal.
 I_c - intensidad de corte.
 t - tiempo que dura el arranque

Figura **Error! Unknown switch argument.**

La ventaja del arranque directo es la de conseguir un elevado par de arranque, que puede llegar a ser hasta dos veces el par nominal. Cuando se igualan par motor y par resistente, la velocidad del motor se estabiliza y con ello la corriente absorbida por el motor. En la **Error! Unknown switch argument.** se muestran las curvas de intensidad y par frente a velocidad.



- (1) Conexión: $I = 6I_n$ (en el supuesto de que se inicie el arranque estando sometido a carga).
- (2) Régimen de marcha con motor en carga. El motor ha adquirido la velocidad que le corresponde. $I = I_n$.

- (1) Par motor.
- (2) Par resistente.

Figura **Error! Unknown switch argument.**

de Madrid

4.1 Esquema de potencia.

En el esquema de potencia del arranque directo, encontramos en primer lugar los contactos de potencia (C.P.) del contactor de potencia. Cuando la bobina de este contactor se active, los contactos se cerrarán y la tensión de red se aplicará directamente a los bornes del motor.

Además, añadimos un relé térmico (R.T.) para proteger contra sobrecargas. El relé térmico debe ir lo más cerca posible del motor, de forma que pueda detectar cualquier sobrecarga en el mismo, de forma rápida. Si esto ocurriese, los contactos del relé térmico se abrirían.

El motor debe conectarse en triángulo, pues se le va aplicar 220 V de red.

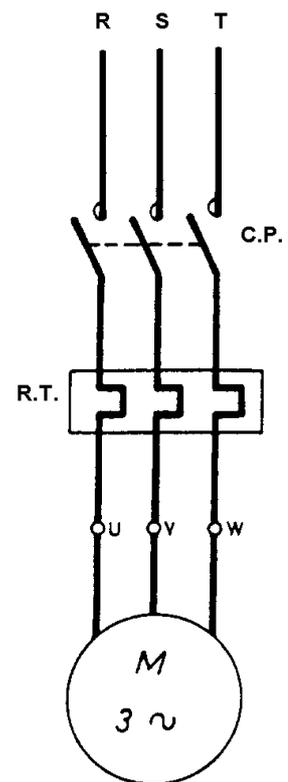
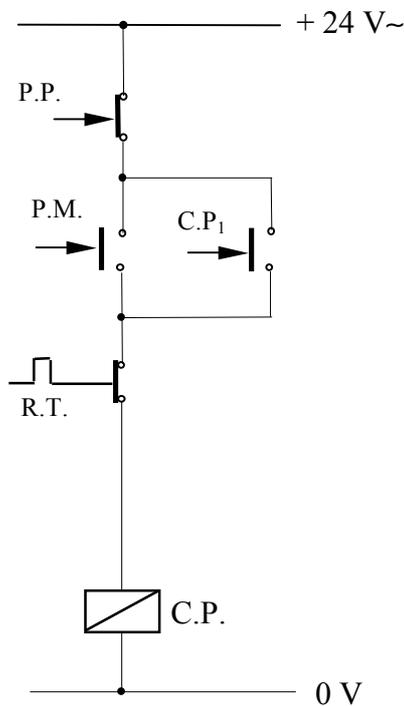


Figura Error! Unknown switch argument.

4.2 Esquema de control.



- P.P. Contacto auxiliar n.c. del PULSADOR DE PARO (rojo).
- P.M. Contacto auxiliar n.a. del PULSADOR DE MARCHA (negro).
- R.T. Contacto auxiliar n.c. del RELÉ TÉRMICO.
- C.P. Bobina del CONTACTOR DE POTENCIA.
- C.P₁. Contacto auxiliar n.a. del CONTACTOR DE POTENCIA.

Figura Error! Unknown switch argument.

de Madrid

5 ARRANQUE EN CONEXIÓN ESTRELLA -TRIÁNGULO.

La finalidad de esta forma de arranque es la de reducir la intensidad absorbida por el motor durante el periodo de arranque, en detrimento de su par y de la duración del mismo arranque, que se prolonga respecto al arranque directo, como se muestra en la **Error! Unknown switch argument.**

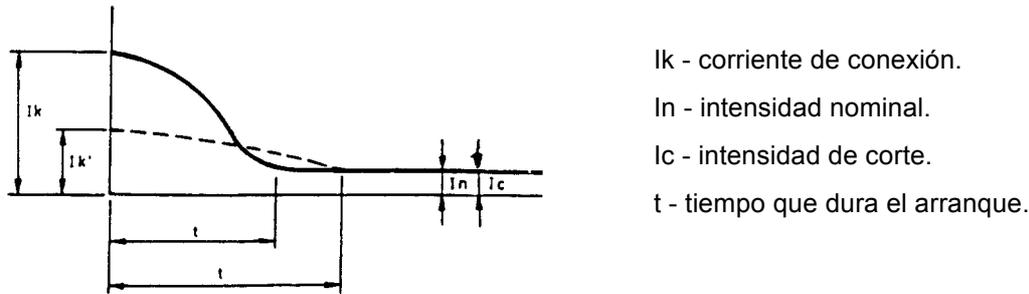


Figura **Error! Unknown switch argument.**

Características del arranque Y-Δ:

- Par de arranque: 33% del par de arranque directo.

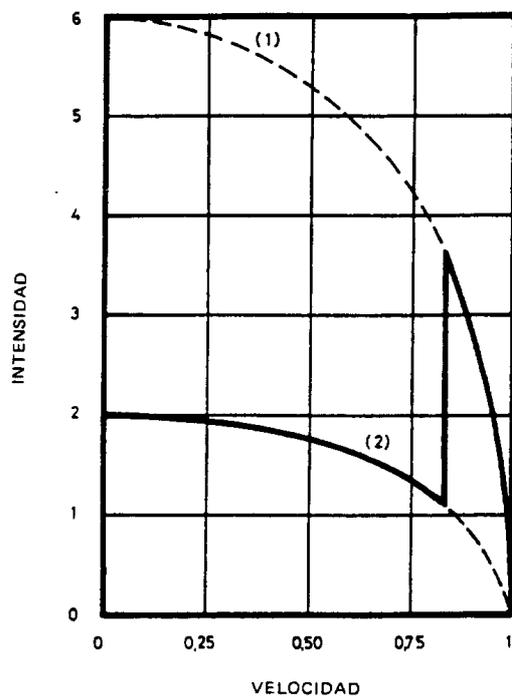
- Tensión de arranque: $U_F = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$

- Intensidad de arranque: $I_F = \frac{I_L}{\sqrt{3}}$

Se aconseja no pasar de conexión Y a conexión Δ mientras el motor no haya adquirido, al menos, el 80% de la velocidad nominal. Esto implica utilizar un relé de velocidad, lo cual resulta demasiado caro, por lo que sólo se emplea en máquinas de elevada potencia. En motores pequeños se puede hacer el cambio de conexión utilizando un relé de tiempo o temporizador.

En la **Error! Unknown switch argument.** se muestran las curvas de intensidad y par frente a velocidad para este tipo de arranque, en las que se puede ver claramente las características de este arranque, y el momento del cambio de conexión.

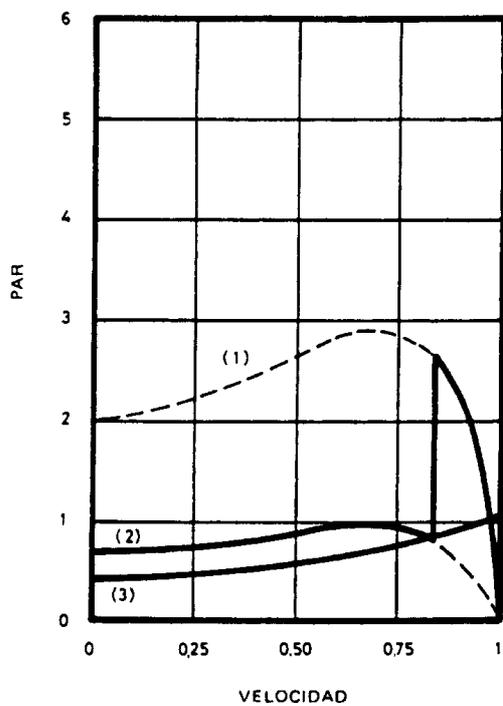
CURVAS INTENSIDAD-VELOCIDAD



(1) Intensidad en Δ

(2) Intensidad en λ

CURVAS PAR-VELOCIDAD



(1) Par motor en Δ

(2) Par motor en λ

(3) Par resistente

Figura Error! Unknown switch argument.

5.1 Esquema de potencia.

Además del contactor de potencia (C.P.), se han utilizado dos contactores para formar la estrella (C.Y.) y el triángulo (C.T.) y un temporizador (T.) que regula el tiempo de funcionamiento del motor en conexión estrella. (El temporizador no aparece en el esquema de potencia).

El C.Y. se cierra en primer lugar para conectar el motor en estrella. Cuando el temporizador termine de contar el tiempo establecido, se cierra el C.T. y se abre el C.Y.

De nuevo se utiliza un relé térmico (R.T.) para proteger contra sobrecargas.

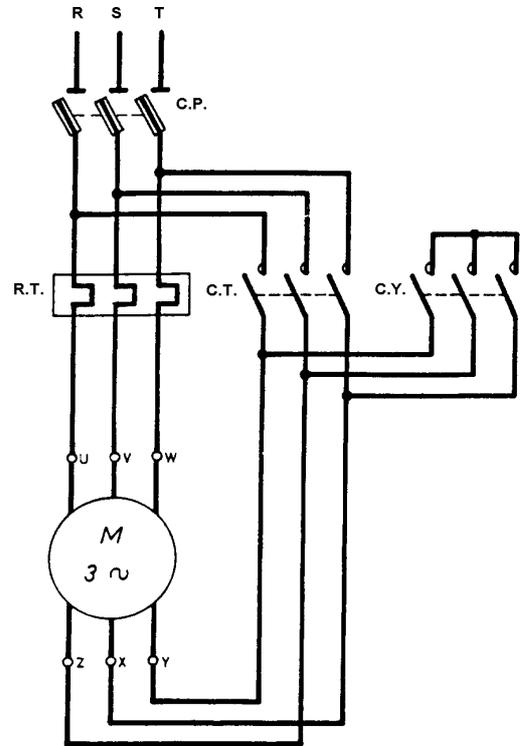


Figura Error! Unknown switch argument.

- Dibuja el esquema de control teniendo en cuenta las indicaciones del apartado anterior.

de Madrid

6 ARRANCADORES ELECTRÓNICOS (SIKOSTART)

6.1. Descripción del arrancador .

SIKOSTART está constituido por un control del corte de la onda de tensión en bornas de la máquina. En cada una de las fases L1,L2,L3 se encuentran dos tiristores controlados en antiparalelo. Dado que el par motor varía cuadráticamente con la tensión ($M \sim U^2$) y la intensidad varía linealmente con la tensión, se pueden limitar el par de aceleración o la corriente de arranque controlando el valor eficaz de la tensión en bornas del motor a través del control de corte de fases de la tensión de red.

6.2. Funciones del arrancador.

SIKOSTART conduce controlando la tensión hasta la marcha nominal, es decir sólo varía el valor de la tensión. La frecuencia permanece constante e igual a la de la red, en contraposición a la conducción controlando la frecuencia hasta la marcha nominal que ejecutan los variadores de velocidad y que se estudiarán ampliamente en la 3ª práctica, para variar el valor eficaz de la tensión el SIKOSTART lo que hace es recortar la senoide de entrada para ello usa dos tiristores en antiparalelo.

Los arrancadores como el SIKOSTART son empleados en la industria pues si bien el arranque estrella-triángulo visto anteriormente reduce la punta de intensidad durante el arranque, sigue siendo un arranque bastante brusco, lo cual es muy perjudicial para los componentes mecánicos en particular la transmisión entre el motor y la carga se ve sometida a grandes esfuerzos lo que origina una menor duración de ésta. Por otro lado en función del tipo de carga es necesario realizar arranque de forma suave, en este caso es necesario introducir un elemento que se evite bruscas aceleraciones, en éstos casos los arrancadores electrónicos pueden ser usados.

La clase de arranque que efectuaremos con el arrancador será aplicar una rampa de tensión, donde podemos controlar el tiempo de rampa y la tensión inicial en bornas del motor. El proceso comienza con una valor inicial de tensión de rampa de arranque ajustado, entre el 20% y el 100 % de la tensión de red, y finaliza transcurrido el tiempo de rampa ajustado con el 100% de la tensión nominal, en función del tipo de carga a manejar habrá que configurar cada uno de estos parámetros para obtener un rendimiento óptimo.

de Madrid

7 ARRANQUES CON PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS)

Un mando con lógica cableada es un automatismo con contactores y relés que solo se configura una vez conocida la tarea que debe resolver ; para ello hasta ahora la tarea de mando se representaba con ayuda de un esquema eléctrico. La lógica de la función de mando está fijada en el cableado y en la combinación de los elementos de conmutación. Para probarlo se necesita verificar la corrección del cableado. Cuando sea necesario modificar la función de mando habrá que modificar el cableado, añadir nuevos componentes y trabajo de montaje : esto lleva gran cantidad de trabajo y material.

Esto se evita empleando dispositivos de lógica programable : PLC's (Programmable Logic Controllers) o autómatas, los PLC's permiten por un lado reducir los tiempos de puesta en marcha de una automatismo a la vez que hacen más sencillo su modificación, puestas se pueden hacer fuera de línea y una vez construida la aplicación se puede volcar sobre él

En general están compuestos de :

fuelle de alimentación

entradas y salidas digitales en las que se conectan los emisores y actuadores

memoria donde se escribe el programa a ejecutar

procesador que organiza la ejecución del programa

timers, entradas y salidas analógicas, modulos de comunicación que permiten su integración en arquitecturas de control más complejas

todo el cableado que conlleva una aplicación es la conexión de las entradas y salidas del autómata programable a los emisores y actuadores requeridos.

Se programan desde un display propio o bien desde un ordenador personal que tenga el software adecuado. En el programa se especifica el tipo de autómata y el esquema de control ; la lógica de la tarea de mando se puede programar por varios métodos ; los principalmente usados son : lenguaje literal o lista de instrucciones, lenguaje de contactos. Una vez realizado el programa se envía al autómata , y se comprueba su funcionamiento por lo general existen herramientas para la depuración de los programas de manera que se pueden detectar y corregir los errores de una manera mucho más sencilla; una vez comprobado se conectan las entradas/salidas del autómata al sistema real. Si se desea realizar algún cambio, no es necesario desembornar las entradas/salidas

de Madrid

ya conectadas, es decir el cableado , sino que basta con cambiar las instrucciones precisas del programa y volver a volcarlo en el autómatas.

8 TABLAS

	<i>Arranque Directo</i>	<i>Arranque Estrella-Triángulo</i>	<i>Arranque con Resistencias</i>	<i>Arranque con Transformador</i>	<i>Arranque con SIKOSTART</i>
<i>Par Inicial</i>	1.5...2.8 Mn	0.5..0.9 Mn	0.5.. 0.75 Mn	0.4..0.85 Mn	0.06...2.8 Mn
<i>Corriente Inicial</i>	4...8 In	1.8...2.5 In	1.5...6In	1.6...4 In	1.5... 6 In
<i>Número de bornas del motor requerida</i>	3	min. 6	3	3	3

de Madrid

PRÁCTICAS DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS

Nombre :

Fecha:Práctica 2: (Arranque de motores asíncronos)

1. ARRANQUE DIRECTO DEL MOTOR ASÍNCRONO

Motor en vacio.

I_{max} (A)	I_{max}/I_n	Tiempo de arranque

Motor en carga

I_{max} (A)	I_{max}/I_n	Tiempo de arranque

- ¿Es igual la intensidad máxima consumida con el motor en vacio y con el motor en carga?

- ¿Es igual el tiempo de arranque con el motor en vacio y con el motor en carga?

de Madrid

2. ARRANQUE ESTRELLA-TRIÁNGULO DEL MOTOR ASÍNCRONO

Motor en carga.

Realizar distintos arranques variando el tiempo que transcurre entre el paso de estrella a triángulo.

Valor del Timer	I _{max} (1)	I _{max} (2)	I _{max} (total)	Tarranque(s)
t1				
t2				

- ¿Cuál de la puntas de corriente es mayor la inicial o la del paso de estrella a triángulo?
- ¿Depende la respuesta de la pregunta anterior del valor seleccionado en el temporizador?
- Comparar los resultados con el arranque directo

3. ARRANQUE ELECTRÓNICO

Motor en carga:

Observar la forma de onda de la tensión aplicada al motor durante el arranque para distintos tipos del valor de configuración tensión inicial.

de Madrid

Manteniendo fijo el tiempo de arranque rellenar la siguiente tabla:

V(arranque) %	I _{max} (A)	I _{max} /I _n	T _{arranque} (s)

4. ARRANQUE MEDIANTE LA INSERCIÓN DE RESISTENCIAS ROTÓRICAS UTILIZANDO UN PLC.

Se va a usar un autómatas para realizar un arranque mediante la adición de resistencias rotóricas, también se van a poder seleccionar el sentido de giro del motor.

Dado que todavía no se ha cursado ninguna asignatura en la cual se explique en detalle la programación de PLC's esta parte de la práctica será una demostración con el fin de que el alumno compruebe de las ventajas que ofrece el empleo de los autómatas en la elaboración de automatismos frente a la lógica cableada.

- Realiza una breve comparación entre los diferentes modos de arranque, enumerando las principales ventajas y desventajas encontradas en cada uno de ellos.