



# AUTOMATISMOS INDUSTRIALES

---

## Tema 5 Automatismos para motores de 2 – 3 velocidades

JAG



## Introducción

---

- En un motor de "jaula de ardilla", la velocidad de sincronismo ( $n_s$ ) y la velocidad asíncrona ( $n$ ), se obtiene como:

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ r.p.m.} \quad n = \frac{60 \cdot f}{p} (1 - s)$$

- $f$ : frecuencia de red
- $p$ : nº de pares de polos
- $s$ : deslizamiento
- Para variar la velocidad se puede variar cualquiera de estos valores.

$p$	$n_s$ (r.p.m)	
	50 Hz	60 Hz
1	3.000	3.600
2	1.500	1.800
3	1.000	1.200
4	750	900
5	600	720
6	500	600

## Variación de velocidad

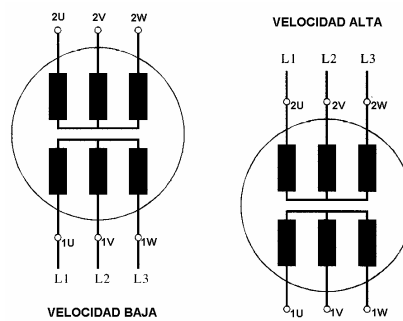
- N° de pares de polos
  - Con distintos arrollamiento en el estator, se pueden obtener 3 ó 4 velocidades distintas y constantes.
  - Solo se obtienen velocidades múltiplos de la frecuencia de red.
- Deslizamiento
  - El deslizamiento depende de la resistencia rotórica.
  - Al aumentar la R se aumenta s y por tanto se disminuye la velocidad, pero se pierde potencia.
  - Solo es posible en motores de rotor bobinado.
- Frecuencia de red
  - Se realiza con convertidores estáticos de frecuencia.
  - Es posible una variación lineal en un amplio margen, independientemente de la carga del motor.

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

3

## Motor de dos bobinados independientes

- Se instalan en las ranuras estatóricas dos devanados independientes y con diferente número de pares de polos.

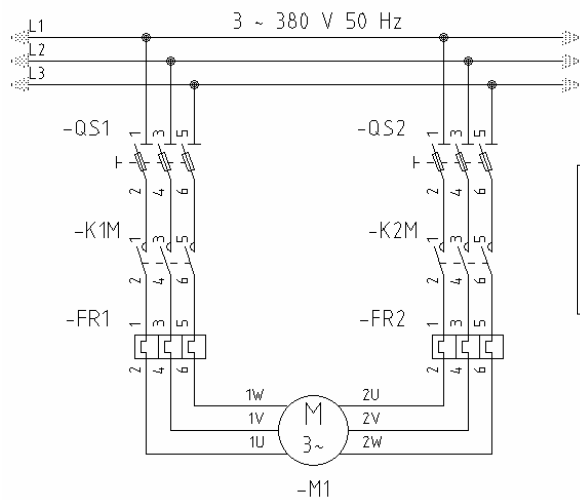


$P_n$ (kW)	0,3/0,4	0,45/0,6	0,75/1	1/1,3	1,6/2,2	3,3/4,5	6,6/9	14/19	22/30
$I_n$ (A)	1,3/1,7	1,6/1,9	2,1/2,6	2,6/3	4,6/5,4	9/10,5	17/23	35/45	52/65
$n_n$ (r.p.m)	700/920	720/920	710/930	720/940	720/940	725/960	725/965	730/970	735/975

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

4

## Motor de dos bobinados independientes Circuito de potencia

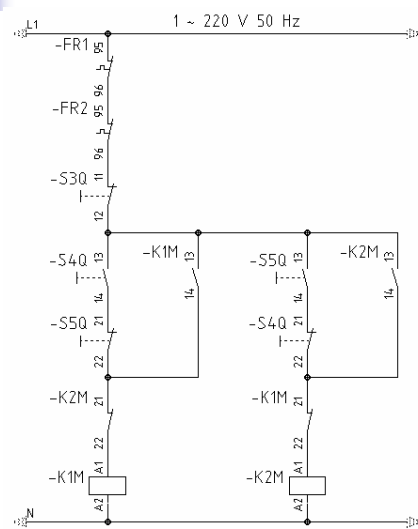


- Leyenda**
- QS1: Seccionador fusible vel. baja
  - QS2: Seccionador fusible vel. alta
  - K1M: Contactor velocidad baja
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - FR1: Relé térmico vel. baja
  - FR2: Relé térmico vel. alta
  - M1: Motor trifásico

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

5

## Motor de dos bobinados independientes Circuito de mando 1



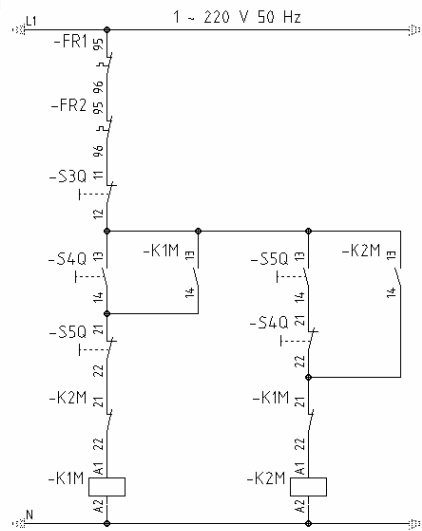
- Se puede arrancar a cualquier velocidad
- Para pasar una a otra es necesario pasar por paro

- Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
  - S4Q: Pulsador Marcha velocidad baja
  - S5Q: Pulsador Marcha velocidad alta
  - K1M: Contactor velocidad baja
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - FR1: Relé térmico velocidad baja
  - FR2: Relé térmico velocidad alta

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

6

## Motor de dos bobinados independientes Circuito de mando 2



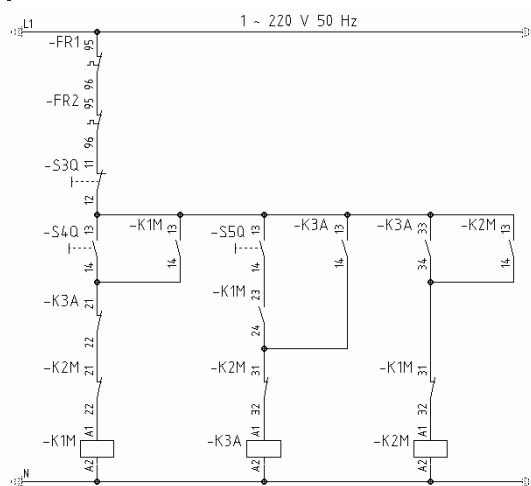
- Se puede arrancar a cualquier velocidad
- Para pasar de velocidad baja a alta no hace falta pasar por paro
- Para pasar de velocidad alta a baja hace falta pasar por paro
- Lo que más daña el motor es girar a una velocidad superior a la de sincronismo

- Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
  - S4Q: Pulsador Marcha velocidad baja
  - S5Q: Pulsador Marcha velocidad alta
  - K1M: Contactor velocidad baja
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - FR1: Relé térmico velocidad baja
  - FR2: Relé térmico velocidad alta

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

7

## Motor de dos bobinados independientes Circuito de mando 3



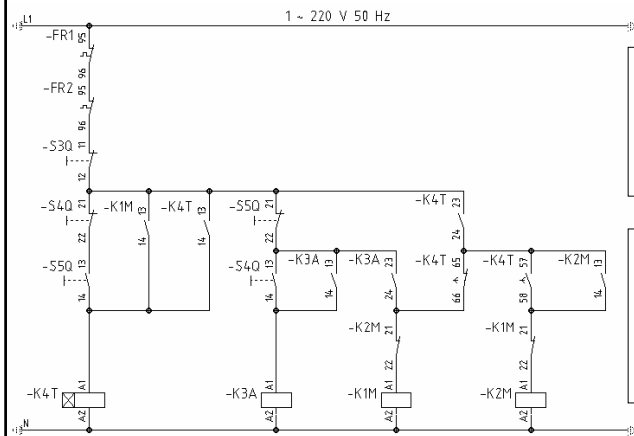
- Arranque solo a velocidad baja
- Paso a velocidad alta manual
- Paso de velocidad alta a baja pasando por paro

- Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
  - S4Q: Pulsador Marcha velocidad baja
  - S5Q: Pulsador Marcha velocidad alta
  - K1M: Contactor velocidad baja
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - K3A: Contactor auxiliar
  - FR1: Relé térmico velocidad baja
  - FR2: Relé térmico velocidad alta

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

8

## Motor de dos bobinados independientes Circuito de mando 4



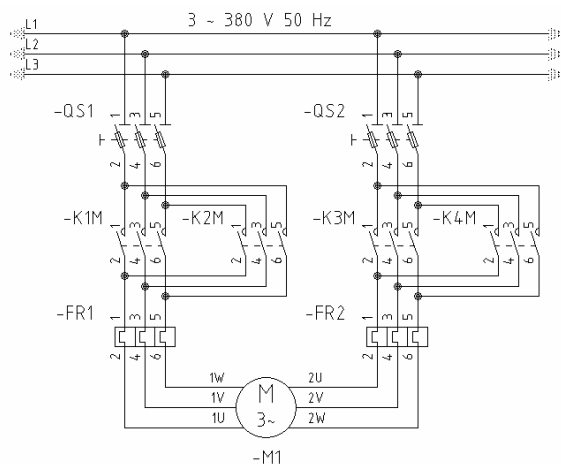
- Selección de velocidad baja: arranque en baja y paso a alta manual
- Selección de velocidad alta: arranque en baja y paso a alta de forma automática
- Paso de velocidad alta a baja, pasando por paro

- **Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
- S4Q: Pulsador Marcha velocidad baja
- S5Q: Pulsador Marcha velocidad alta
- K1M: Contactor velocidad baja
- K2M: Contactor velocidad alta
- K3A: Contactor auxiliar
- K4T: Contactor temporizado
- FR1: Relé térmico velocidad baja
- FR2: Relé térmico velocidad alta

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

9

## Motor de dos bobinados independientes con inversión de giro. Circuito de potencia

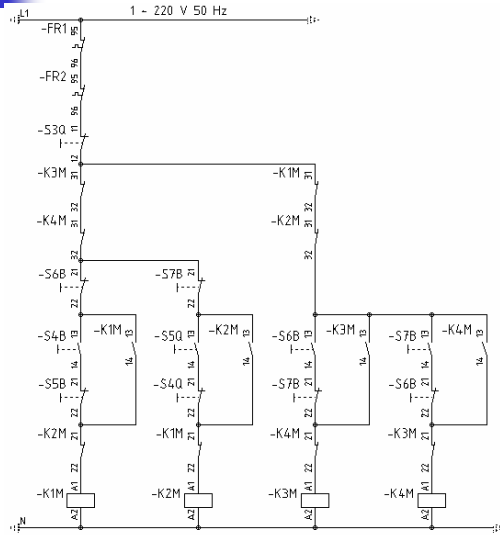


- **Leyenda**
- QS1: Seccionador fusible vel. baja
- QS2: Seccionador fusible vel. alta
- K1M: Contactor velocidad baja dcha.
- K2M: Contactor velocidad baja izq.
- K3M: Contactor velocidad alta dcha.
- K4M: Contactor velocidad alta izq.
- FR1: Relé térmico vel. baja
- FR2: Relé térmico vel. alta
- M1: Motor trifásico

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

10

## Motor de dos bobinados independientes con inversión de giro. Circuito de mando



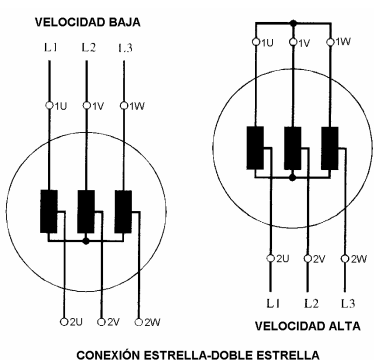
- Se puede arrancar a cualquier velocidad
- Solo permite el paso de velocidad baja a alta
- Para cambiar el sentido es necesario pasar por paro

- Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
  - S4Q: Pulsador Marcha vel. baja dcha.
  - S5Q: Pulsador Marcha vel. baja izq.
  - S6Q: Pulsador Marcha vel. alta dcha.
  - S7Q: Pulsador Marcha vel. alta izq.
  - K1M: Contactor velocidad baja
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - K3M: Contactor velocidad alta dcha.
  - K4M: Contactor velocidad alta izq.
  - FR1: Relé térmico velocidad baja
  - FR2: Relé térmico velocidad alta

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

## Motor Dahlander (I)

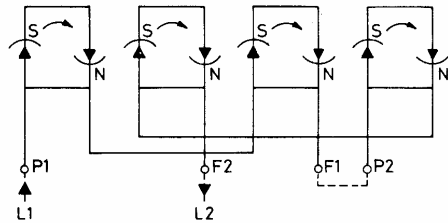
- Motor de dos velocidades con un solo bobinado por fase, pero dividido en dos mitades iguales con una toma intermedia.
- Según la conexión que se realice en la placa de bornes, se crean 6 ó 2p pares de polos, y por tanto se obtiene dos velocidades con una relación 2:1.



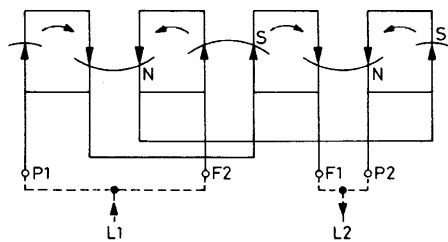
$P_n$ (kW)	0,18/0,38	0,44/1,7	0,8/3,2	2,2/8,8	3,7/15	4,5/18	7,4/30	11/44
$I_n$ (A)	1,1/2,4	2/4	4,5/8	11/21	12/31	13,5/39	22/59	30/84
$n_n$ (r.p.m)	700/1400	705/1410	710/1415	720/1430	720/1440	720/1440	725/1450	730/1460

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

## Motor Dahlander (II)



- Conexión en serie para obtener 8 polos.



- Conexión en paralelo para obtener 4 polos.

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

13

## Variantes en la conexión Dahlander

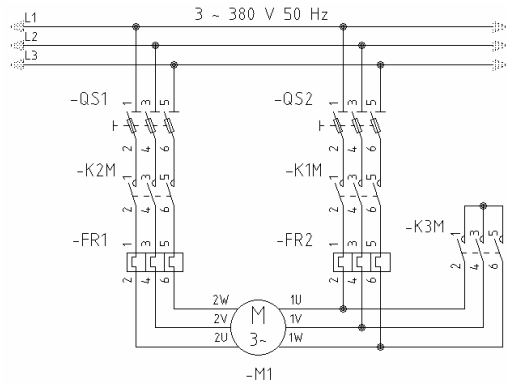
- $\Delta - \lambda\lambda$  (triángulo - doble estrella)
  - Es el más utilizado
  - El par es constante en las dos velocidades
  - Si la placa de bornes lo permite (9 bornes), es posible un arranque  $\lambda-\Delta$  a velocidad baja
- $\lambda\lambda - \Delta$  (doble estrella - triángulo)
  - Se consigue una potencia constante en las dos velocidades
- $\lambda - \lambda\lambda$  (estrella - doble estrella)
  - El par aumenta con  $n^2$
  - La potencia aumenta con  $n^3$
  - Se utiliza típicamente en ventiladores
- En todas las variantes la relación de velocidades es siempre 2:1

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

14

## Motor Dahlander

### Circuito de potencia para conexión $\Delta - \lambda\lambda$



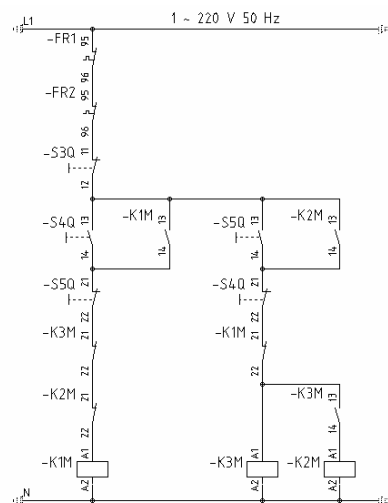
- Leyenda**
- QS1: Seccionador fusible vel. alta
  - QS2: Seccionador fusible vel. baja
  - K1M: Contactor velocidad baja triángulo
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - K3M: Contactor estrella velocidad alta
  - FR1: Relé térmico vel. alta
  - FR2: Relé térmico vel. baja
  - M1: Motor trifásico conexión Dahlander

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

15

## Conexión Dahlander

### Circuito de mando



- Se puede arrancar a cualquier velocidad
- Se puede pasar de velocidad baja a alta y viceversa sin pasar por paro
- Mucho riesgo para el motor

- Leyenda**
- S30: Pulsador de Paro
  - S40: Pulsador Marcha velocidad baja
  - S50: Pulsador Marcha velocidad alta
  - K1M: Contactor velocidad baja triángulo
  - K2M: Contactor velocidad alta
  - K3M: Contactor estrella velocidad alta
  - FR1: Relé térmico velocidad alta
  - FR2: Relé térmico velocidad baja

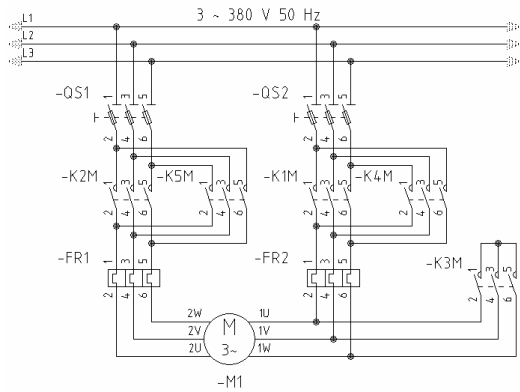
Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

16



## Motor Dahlander con inversión de giro

### Circuito de potencia para conexión $\Delta - \lambda\lambda$



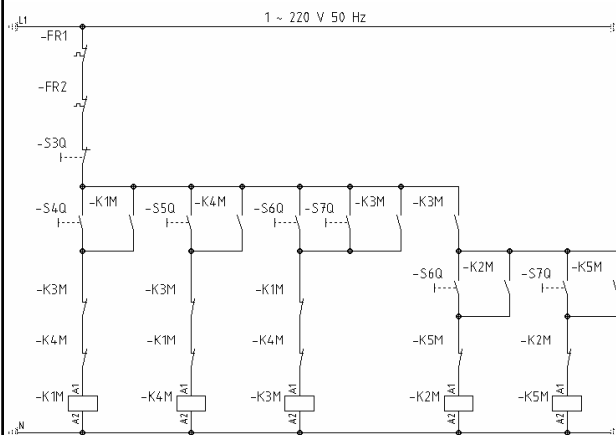
- Leyenda**
- QS1: Seccionador fusible vel. alta
  - QS2: Seccionador fusible vel. baja
  - K1M: Contactor velocidad baja dcha.
  - K2M: Contactor velocidad alta dcha.
  - K3M: Contactor estrella velocidad alta
  - K4M: Contactor velocidad baja izq.
  - K5M: Contactor velocidad alta izq.
  - FR1: Relé térmico vel. alta
  - FR2: Relé térmico vel. baja
  - M1: Motor trifásico conexión Dahlander

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

17

## Conexión Dahlander con inversión de giro

### Circuito de mando



- Se puede arrancar a cualquier velocidad
- Para cambiar de velocidad o de sentido es necesario pasar por paro

- Leyenda**
- S3Q: Pulsador de Paro
  - S4Q: Pulsador Marcha vel. baja dcha.
  - S5Q: Pulsador Marcha vel. baja izq.
  - S6Q: Pulsador Marcha vel. alta dcha.
  - S7Q: Pulsador Marcha vel. alta izq.
  - K1M: Contactor velocidad baja dcha.
  - K2M: Contactor velocidad alta dcha.
  - K3M: Contactor estrella velocidad alta
  - K4M: Contactor velocidad baja izq.
  - K5M: Contactor velocidad alta izq.
  - FR1: Relé térmico velocidad alta
  - FR2: Relé térmico velocidad baja

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

18

## Motores de tres velocidades (I)

- Se pueden conseguir tres velocidades con tres arrollamientos separados.
  - No es habitual. Solo si se necesita que no exista relación entre  $n_1$ ,  $n_2$  y  $n_3$ .
- Lo más normal para conseguir tres velocidades, es un arrollamiento simple, más un arrollamiento en conexión Dahlander.
  - Existen tres posibilidades

	Baja	Media	Alta
1	Simple	Dahlander I	Dahlander II
2	Dahlander I	Simple	Dahlander II
3	Dahlander I	Dahlander II	Simple

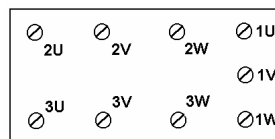
- La conexión simple suele ir en estrella.

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

19

## Motores de tres velocidades (II)

- La placa de bornes debe tener al menos 9 conexiones.



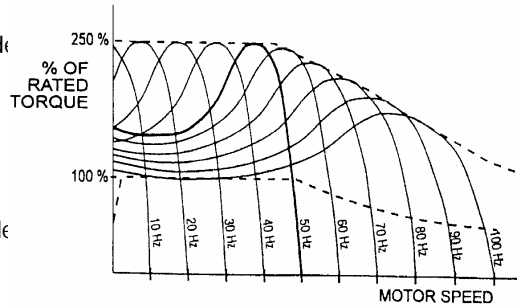
- Dos velocidades (conexión Dahlander) estarán en relación 2:1
  - Ejemplos
    - 3000/1500/1000 rpm      2/4/6 pares de polos      D2/D1/S
    - 1500/1000/750 rpm      4/6/8 pares de polos      D2/S/D1
    - 1500/1000/500 rpm      4/6/12 pares de polos      S/D2/D1
- Los circuitos de potencia y mando son combinaciones de los ya estudiados.

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

20

## Variadores de velocidad electrónicos

- Variando la frecuencia de la red de alimentación, podemos obtener una familia completa de curvas (Par/Velocidad).
- El el mejor método de variación de velocidad por:
  - Se dispone de un control de velocidad continuo.
  - El par del motor se mantiene aún en bajas velocidades.
  - Se mantiene una alta eficacia en todo el rango de velocidades.
  - Se pueden lograr velocidades superiores a la nominal, aunque a costa de pérdida de par.

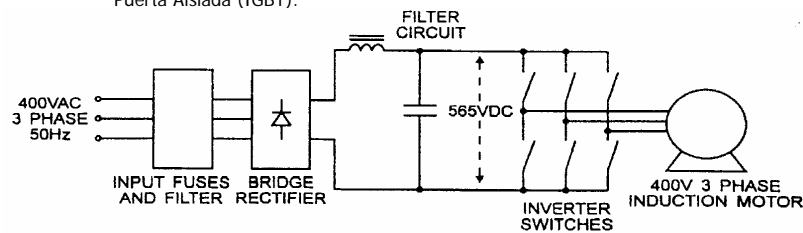


Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

21

## Diagrama de bloques

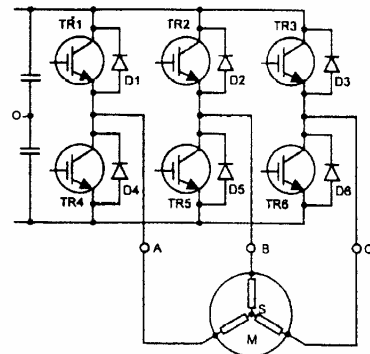
- Red trifásica de alimentación
- Filtro L-C de entrada
  - Suprime cualquier Interferencia de Radio Frecuencia (IRF)
- Puente rectificador
  - Utiliza un puente de 6 diodos o 3 diodos y 3 SCR
- Filtro de salida para CC
  - Está formado por condensadores y choques de CC
- Circuito inversor
  - Seis contactos electrónicos en configuración en puente de tres fases.
  - Originalmente se utilizaban Rectificadores Controlados de Silicio (SCR), posteriormente Transistores Bipolares Darlington y en los últimos equipos Transistores Bipolares de Puerta Aislada (IGBT).



Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

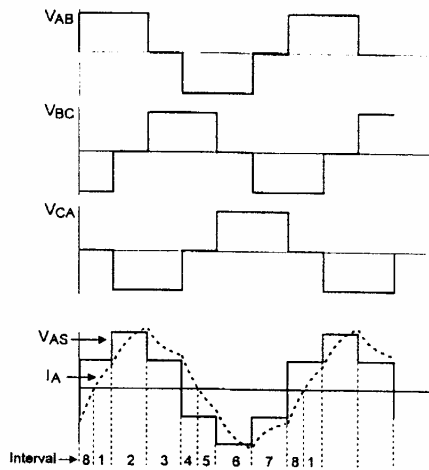
22

## Circuito inversor con IGBT's



Devices in conduction

Interval	1	2	3	4	5	6	7	8
Out via:	TR1	TR1	TR1	D4	TR2	TR2/3	TR3	TR3
In via:	TR5	TR5/6	TR6	TR6	TR4	TR4	TR4	D1
Notes:				free-wheeling				free-wheeling



Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

23

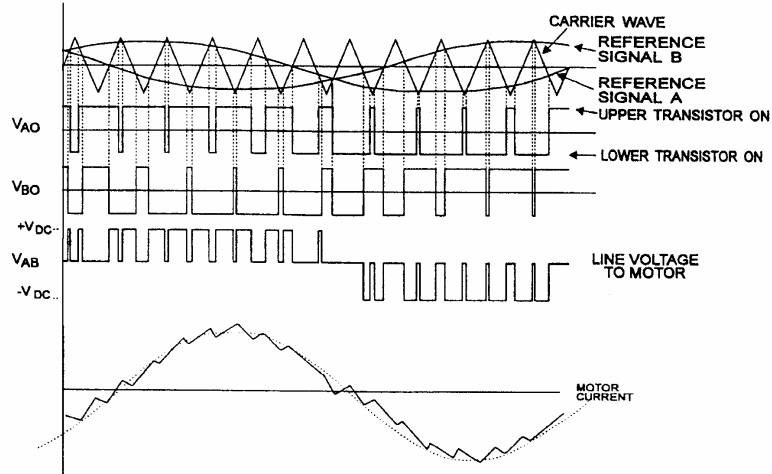
## Generación de forma de onda

- Inversor de onda Cuasi-Quadrada
  - La simple generación con un ciclo de trabajo del 50% provoca gran cantidad de armónicos.
    - Calentamiento excesivo de los bobinados del motor
    - Ruido magnético en laminaciones y bobinados
- Inversor con modulación senoidal
  - Se obtiene generando una señal con Modulación de Anchura de Impulsos (PWM).
    - La corriente de salida se parece más a una onda senoidal
    - Permite un ajuste más preciso de la tensión eficaz (RMS)
  - Cuanto mayor sea la frecuencia de portadora, más se parecerá la salida a una señal senoidal.
    - La frecuencia de portadora debe ser al menos 20 veces la frecuencia de salida y a la vez múltiplo de 3 X la frecuencia de salida para asegurar la simetría.
    - Está limitada por la frecuencia de conmutación de los dispositivos

Tema 5, Automatismos para motores de 2-3 velocidades

24

## Principio de modulación senoidal



Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

25

## Clasificación de los variadores

VARIADORES DE GAMA BAJA	VARIADORES DE GAMA MEDIA	VARIADORES DE GAMA ALTA
No incorporan filtros de RFI (EMC) ni bobinas de choque	Los filtros de RFI y las bobinas de choque son opcionales	Equipado con filtros a la entrada. Bobinas de choque a la entrada y salida.
Grado de protección IP00 o IP21	Grado de protección IP21	Grado de protección IP54.
Temperatura de trabajo 40°C	Temperatura de trabajo 40°C	Temperatura de trabajo 50°C.
Display de segmentos (numérico).	Display alfanumérico	Display alfanumérico extraíble con protección IP54.
Dispone de menos de 4 entradas digitales y menos de 2 salidas digitales.	Dispone entre 4 y 7 entradas y 2 ó 3 salidas digitales	Mínimo de 7 entradas y 3 salidas digitales.
No incorpora comunicación serie	Incorpora comunicación serie, pero dispone de pocos protocolos de comunicación.	Incorpora comunicación serie con numerosos protocolos de comunicación.
	PID interno Control escalar	Selección de control vectorial o control escalar Frecuencia de conmutación 2 a 16Khz. Suministro de 250% de par a velocidad cero.
Se suelen instalar en aplicaciones sencillas, tales como cintas transportadoras y ventiladores donde la consigna se establece por teclado o potenciómetro.	Pueden incorporar macros de aplicaciones	PLC incorporado para desarrollar con el propio variador cualquier aplicación deseada o configurar un variador a su medida. Puede disponer de temporizadores, varios PID, puertas lógicas, contadores, generadores de pulsos, osciladores, funciones de transferencia, tablas, funciones aritméticas, etc.

J. Temprado

Tema 5, Automatismos para  
motores de 2-3 velocidades

26