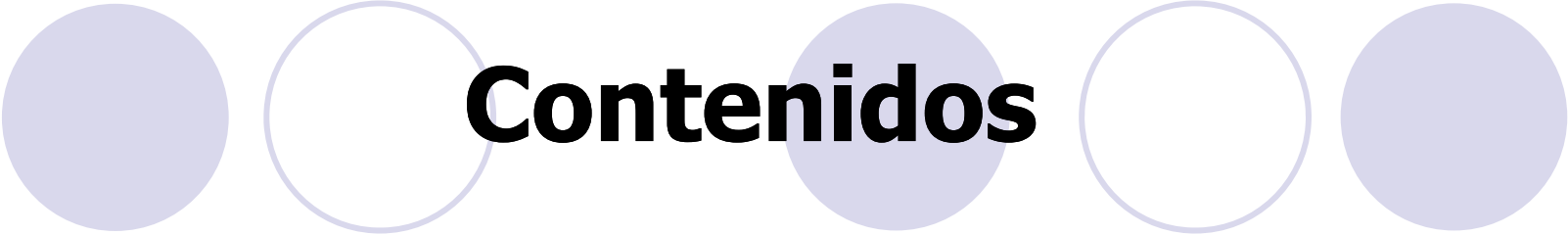




Regulación de velocidad de los motores de CC



Contenidos

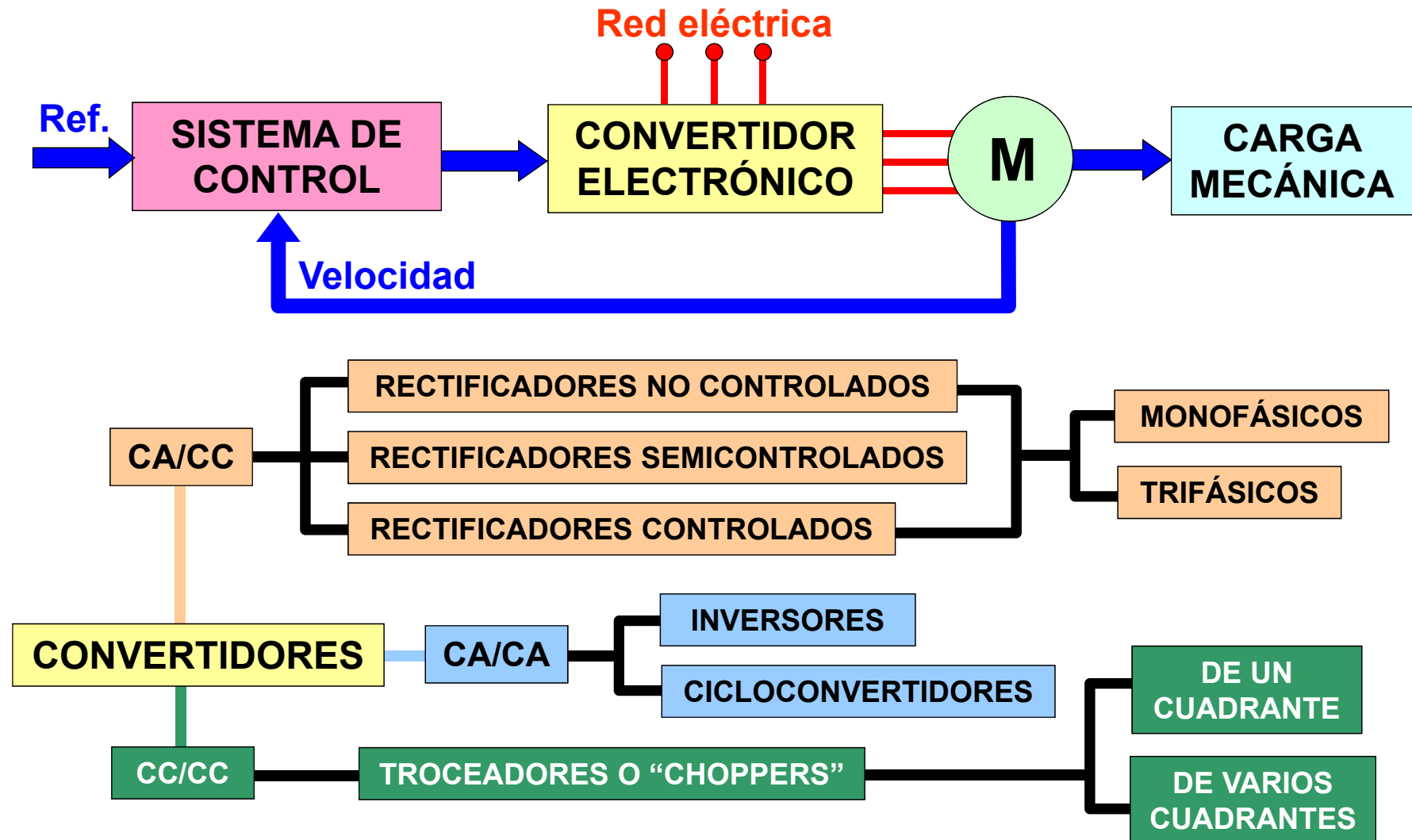
- **RECTIFICADORES**
- **TROCEADORES**
- **FRENADO Y REVERSIBILIDAD**
- **ACCIONAMIENTOS INDUSTRIALES**

- **ESTRUCTURAS GENERALES DE CONTROL**
- **BUCLES CONTROL EN 1 Y 4 CUADRANTES**
- **SIMULACIONES BUCLES CONTROL**

Objetivos generales del tema

- ❑ Conocer el principio de funcionamiento, propiedades y características funcionales de los dispositivos electrónicos utilizados industrialmente para el control de velocidad en motores de CC.
- ❑ Ser capaz de seleccionar el tipo de accionamiento electrónico más adecuado para motores de CC en función de la aplicación en la que desarrollar sus funciones. Conocer las diferentes alternativas comerciales.
- ❑ Conocer la forma de trabajo de cada convertidor electrónico en los diferentes cuadrante de funcionamiento de los motores de CC.
- ❑ Analizar las ventajas y limitaciones que cada convertidor electrónico presenta de cara al posterior diseño del bucle de control necesario para el funcionamiento automático del accionamiento a velocidad variable.

Estructura general de un accionamiento regulado: tipos de convertidores



Cuadrantes de funcionamiento de un accionamiento regulado

Las máquinas eléctricas pueden girar en dos sentidos y además SON REVERSIBLES pueden trabajar como motor y generador

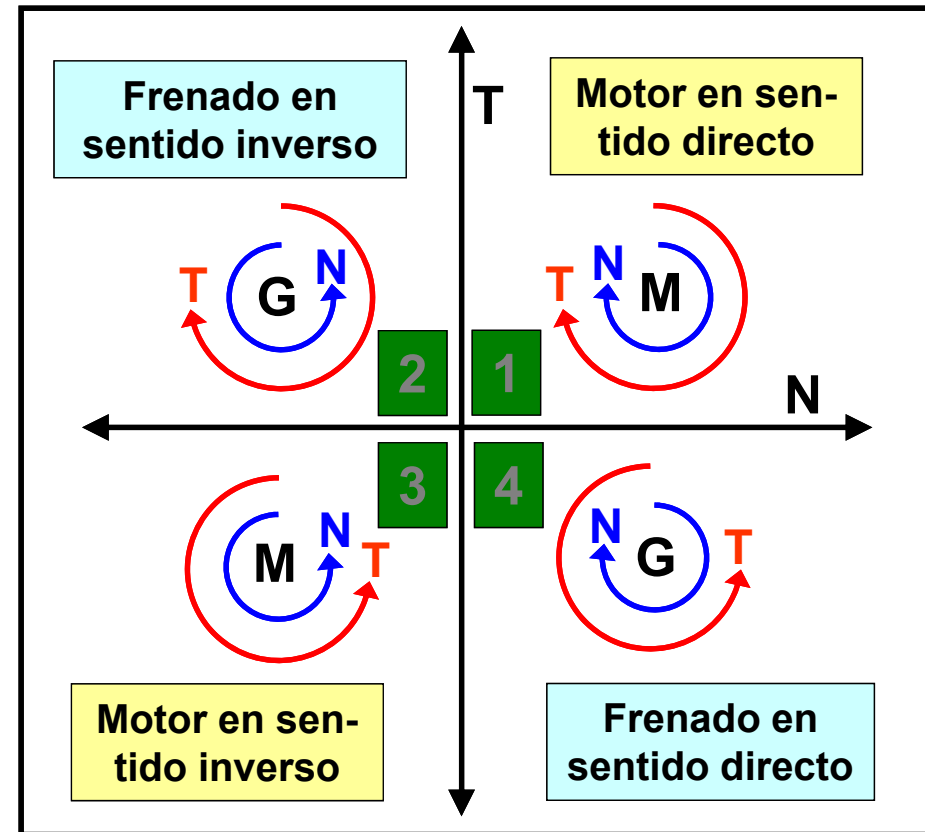
Hay 2 posibles sentidos para la velocidad de giro y otros 2 para el par (motor o generador)

Los accionamientos para motores eléctricos pueden trabajar en 4 CUADRANTES

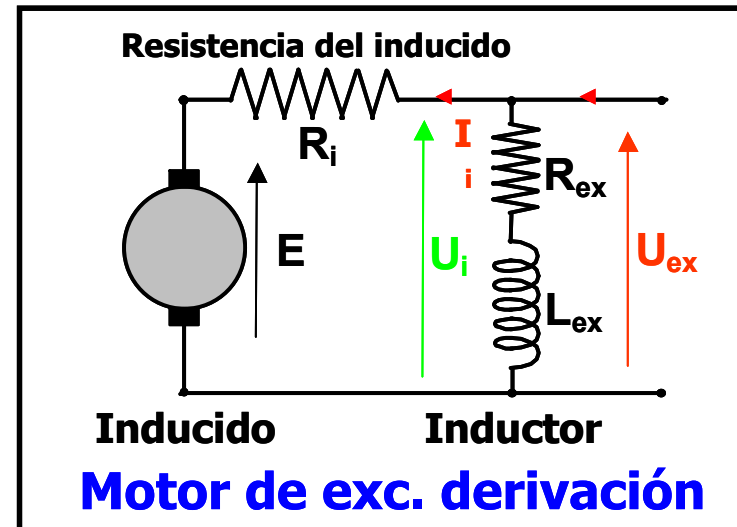
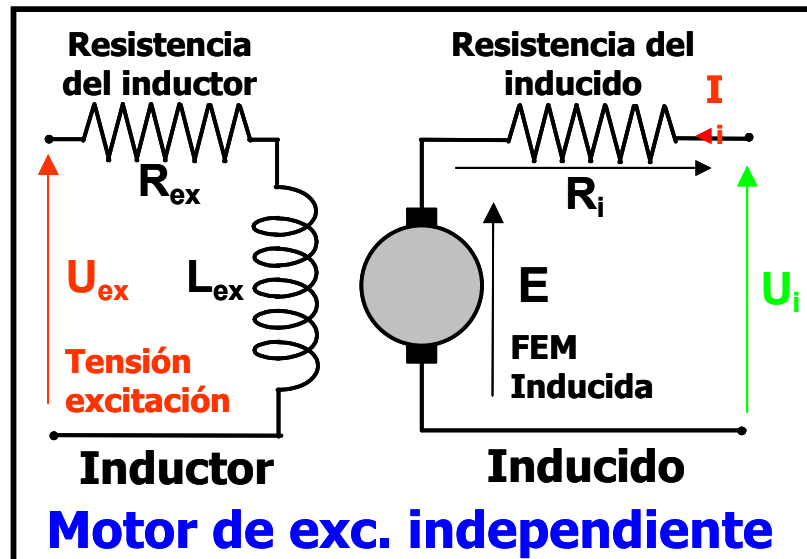
En los cuadrantes 2 y 4 la máquina convierte energía mecánica en **ENERGÍA ELÉCTRICA** que tiene que ser disipada en forma de calor o devuelta a la red



Si se devuelve a la red el dispositivo electrónico de control debe SER REVERSIBLE



Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC I



Desde el punto de vista funcional ambos motores son **MUY SIMILARES** ya que la corriente de excitación **NO ESTÁ LIGADA** a la carga mecánica del motor

$$U_i = E + R_i \cdot I_i$$

Ecuación del motor derivación e independiente

$$E = K \cdot n \cdot \phi \quad T = K' \cdot \phi \cdot I_i$$

Ec. General maq. CC

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{T}{K \cdot K' \cdot \phi^2} \cdot R_i$$

$$I_i = \frac{T}{K' \cdot \phi}$$

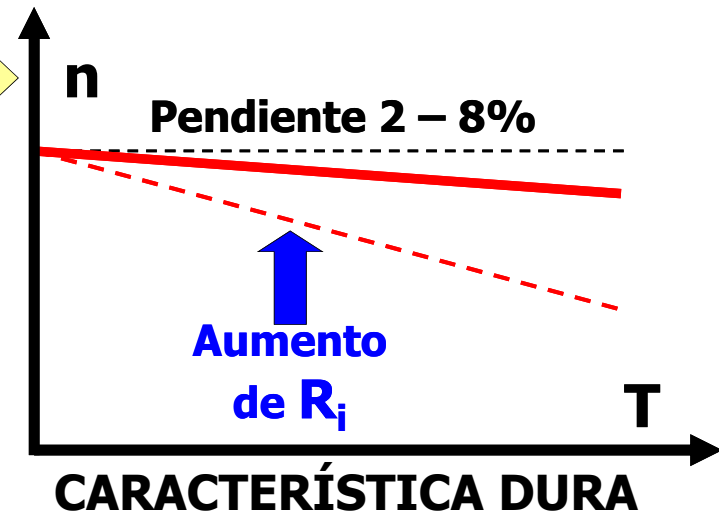
$$U_i = K \cdot \phi \cdot n + \frac{T}{K' \cdot \phi} \cdot R_i$$

Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC II

Curva par-velocidad de los motores de excitación independiente y derivación

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{T}{K \cdot K' \cdot \phi^2} \cdot R_i$$

CONSIDERANDO CTES. U_i y ϕ



CARACTERÍSTICA DE VELOCIDAD

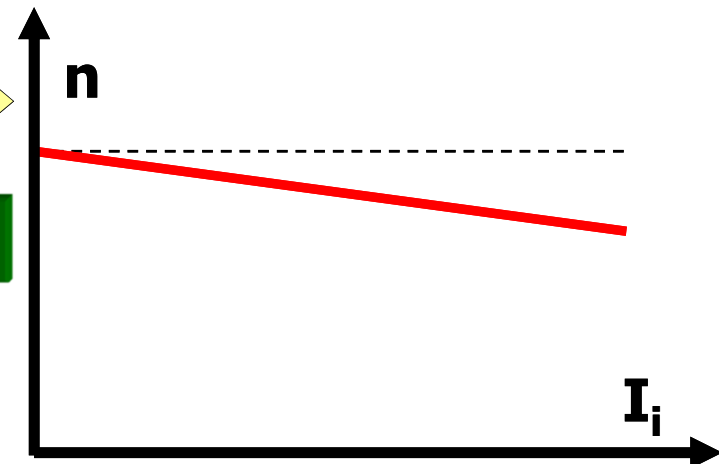
$$n = f(I_i)$$

$$U_i = E + R_i \cdot I_i$$

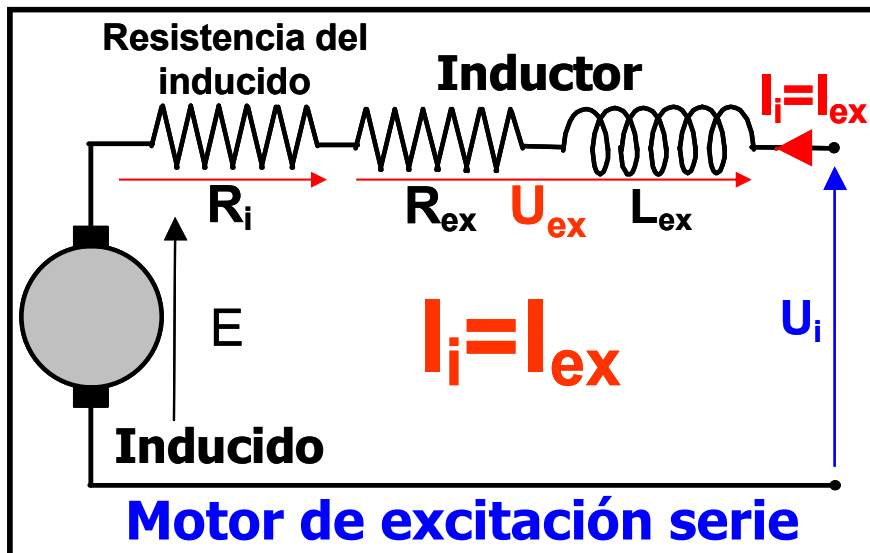
$$E = K \cdot n \cdot \phi$$

$$\phi = \text{cte}$$

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{R_i \cdot I_i}{K \cdot \phi}$$



Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC III



En el motor serie el devanado de excitación y el inducido están conectados en serie. $I_{ex} = I_i$ y esta última depende de la carga arrastrada por el motor, por tanto, sus características funcionales **SERÁN DIFERENTES** de las del motor de exc. independiente.

$$E = U_i - [R_i + R_{ex}] \cdot I_i \quad \longrightarrow \quad \text{Ecuación del motor serie}$$

$$E = K \cdot n \cdot \phi$$

Ec. General maq. CC

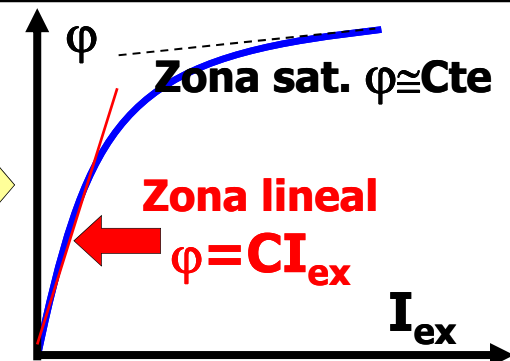
$$T = K' \cdot \phi \cdot I_i$$

Ec. General maq. CC

$$n = \frac{U_i - [R_i + R_{ex}] \cdot I_i}{K \cdot \phi}$$

$$** \quad n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{[R_i + R_{ex}] \cdot T}{K \cdot K' \cdot \phi^2}$$

La relación entre I_{ex} y el flujo ϕ viene definida por la característica magnética (B-H) de la máquina



Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC IV

Como $I_{ex} = I_i$ en la zona lineal del motor se cumple:
 $\phi = C I_i \rightarrow 1$

$$T = K' \cdot C \cdot I_i^2$$

En la zona lineal (pares no muy elevados)

$$I_i^2 = \sqrt{\frac{T}{K' \cdot C}}$$

SUSTITUYENDO 1 y 2 EN **

La característica mecánica cuando el motor trabaja en la zona lineal (pares bajos). ES UNA HIPÉRBOLA (U_i es cte)

$$n = \frac{U_i}{Cte \cdot \sqrt{T}} - Cte$$

En la zona de saturación (cuando al motor se exigen pares elevados) se puede admitir $\phi = Cte \rightarrow 3$

SUSTITUYENDO 3 EN **

$$n = Cte - Cte \cdot T$$

La característica mecánica en la zona de saturación (pares muy altos) ES UNA RECTA

NO puede trabajar con cargas bajas porque tiende a embalsarse



Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC V

CARACTERÍSTICA DE VELOCIDAD $n=f(I_i)$

$$E = U_i - [R_i + R_{ex}] \cdot I_i \quad \text{Ecuación del motor serie}$$

$$E = K \cdot n \cdot \varphi \quad \text{Ec. General maq. CC}$$

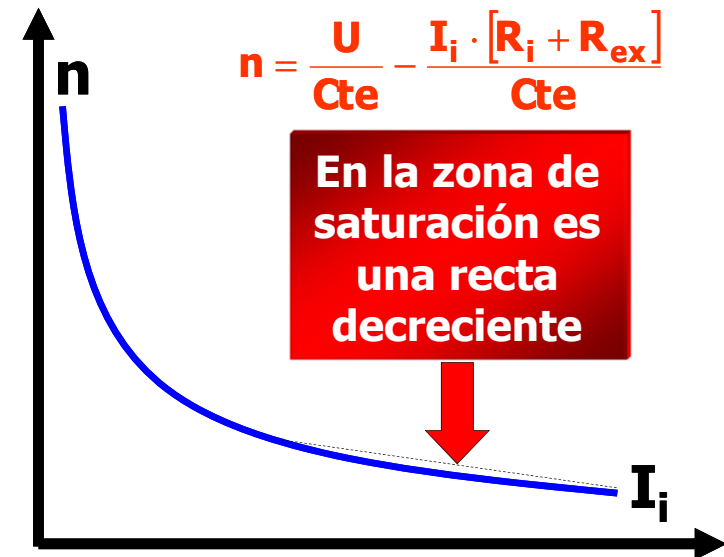
$$U_i = K \cdot \varphi \cdot n + I_i \cdot [R_i + R_{ex}]$$

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \varphi} - \frac{I_i \cdot [R_i + R_{ex}]}{K \cdot \varphi}$$

$$n = \frac{U_i}{Cte \cdot I_i} - \frac{[R_i + R_{ex}]}{Cte}$$

Como $I_{ex} = I_i$
en la zona
lineal del motor
se cumple:
 $\varphi = C I_i$

La característica de velocidad cuando el motor trabaja en la zona lineal ES UNA HIPÉRBOLA



En la zona de saturación se puede admitir $\varphi = Cte$

$$n = \frac{U_i}{Cte} - \frac{I_i \cdot [R_i + R_{ex}]}{Cte}$$

Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC VI

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{T}{K \cdot K' \cdot \phi^2} \cdot R_i$$

MOTOR INDEPENDIENTE Y DERIVACIÓN

$$n = \frac{U_i}{K \cdot \phi} - \frac{[R_i + R_{ex}] \cdot T}{K \cdot K' \cdot \phi^2}$$

MOTOR SERIE

$$E = K \cdot n \cdot \phi \quad T = K' \cdot \phi \cdot I_i$$

Ecuaciones generales maq. CC

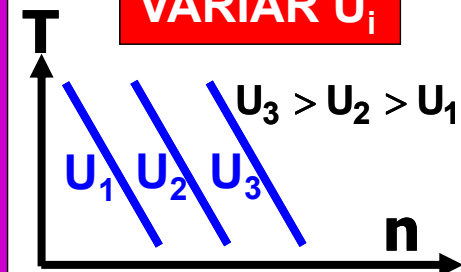
CONTROL REOSTÁTICO POR INSERCIÓN DE RESISTENCIAS: DISIPATIVO, NO SE UTILIZA

VARIACIÓN DE VELOCIDAD

VARIAR R_i

**VARIAR ϕ_i
(REDUCIRLO)**

VARIAR U_i



PÉRDIDAS DE PAR: SÓLO PARA $N > N_n$

SE COMBINA LA VARIACIÓN DE U_i y ϕ_i

Fundamentos sobre la variación de velocidad en motores de CC VII

Entre 0 y N_n se trabaja variando la tensión de inducido $U_i \rightarrow$ PAR CONSTANTE

En estas condiciones el motor trabaja con el flujo nominal para producir el máximo par

Por encima de N_n se reduce el flujo $\phi_i \rightarrow$ POT. CONSTANTE

Al reducir el flujo la velocidad aumenta y el par se reduce

Esta situación puede prolongarse hasta $2 - 3N_n$ aprox.

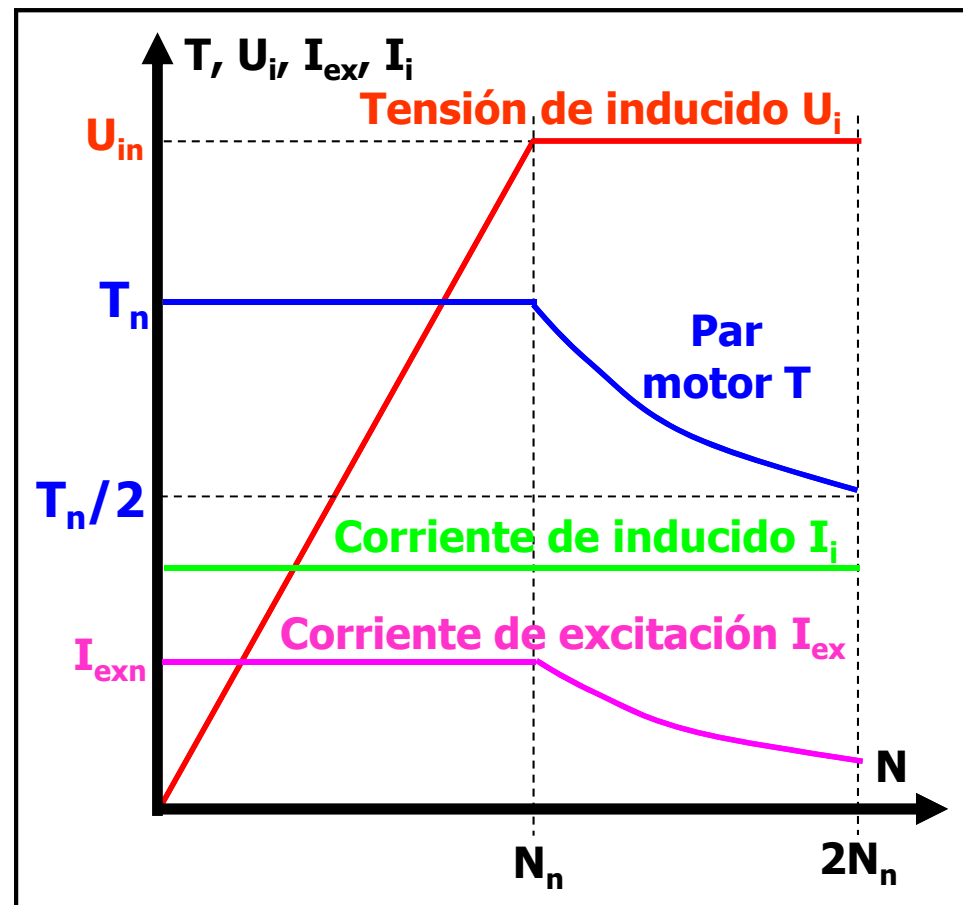
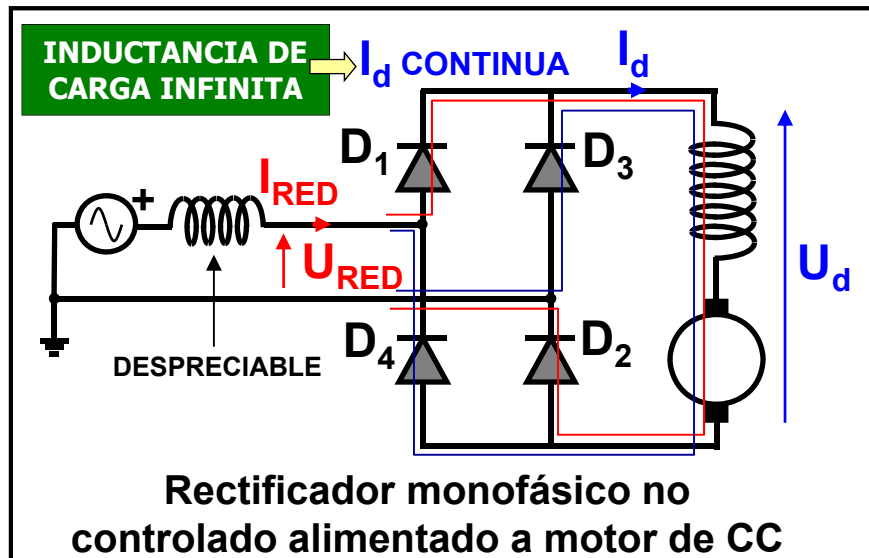


Gráfico de evolución de todas las variables considerando el motor cargado con una carga de par cte.

Rectificadores monofásicos no controlados

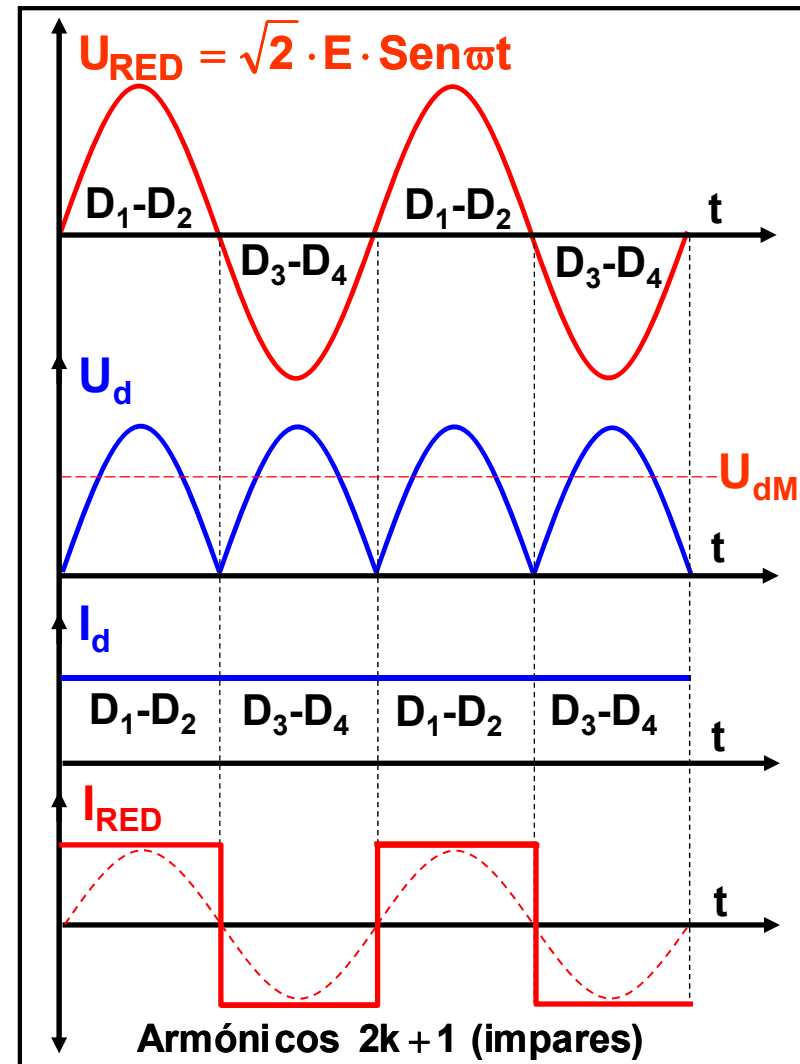


Los diodos conducen por parejas alternativamente

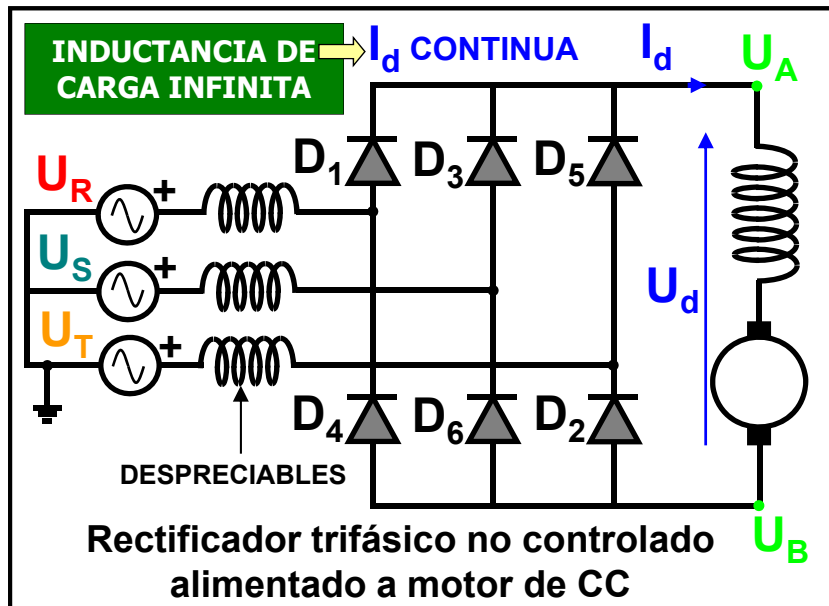
La corriente de red presenta **TODOS** los armónicos impares

$$U_{dM} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot E \approx 0,9 \cdot E$$

Considerando **INFINITA** la inductancia de la carga, la corriente rectificada sería **CONTINUA**. En circunstancias reales presentaría un cierto **RIZADO**



Rectificadores trifásicos no controlados I



D_1 CONDUCE SI: $U_R > U_S$ y $U_R > U_T$

D_3 si: $U_S > U_R$ y $U_S > U_T$

D_5 si: $U_T > U_R$ y $U_T > U_S$

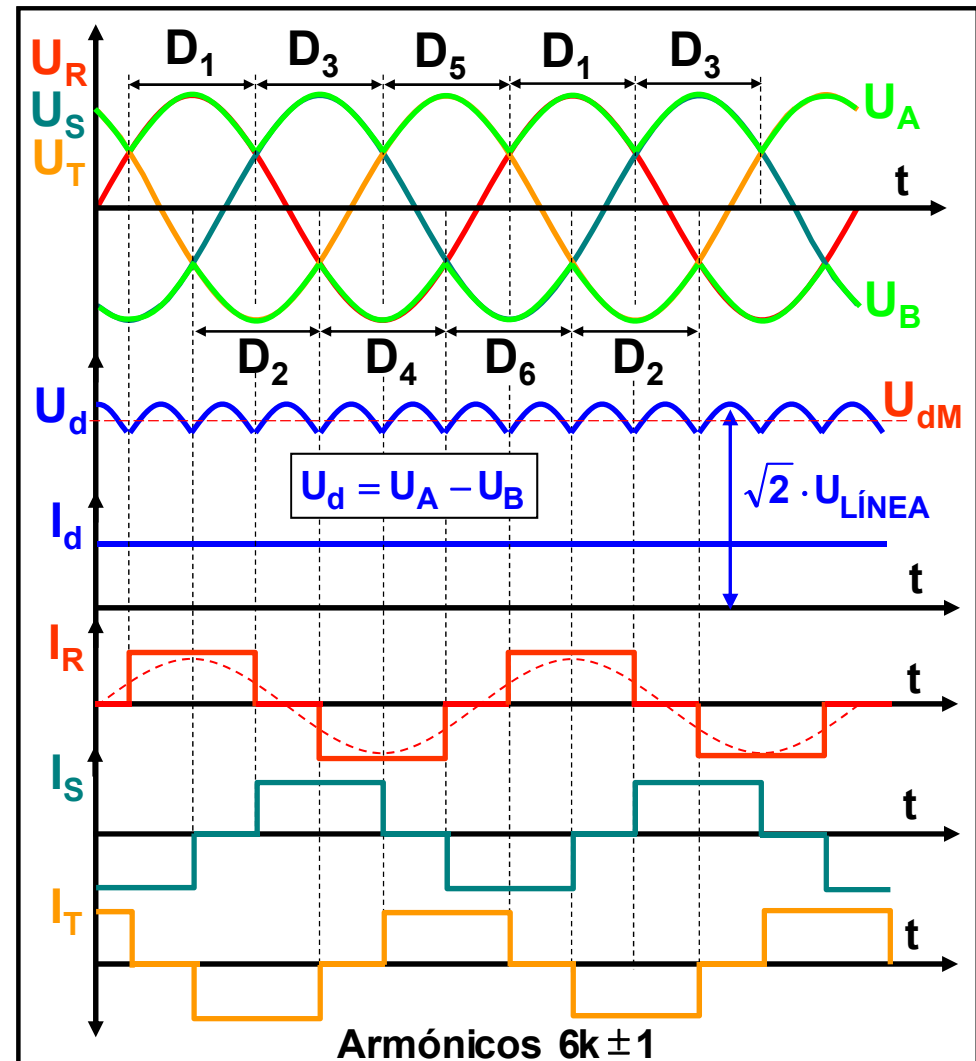
$$U_{dM} = 1,35 \cdot U_{LÍNEA}$$

D_4 si: $U_R < U_S$ y $U_R < U_T$

D_6 si: $U_S < U_R$ y $U_S < U_T$

D_2 si: $U_S < U_R$ y $U_S < U_T$

El primer armónico de cada corriente está EN FASE con la tensión



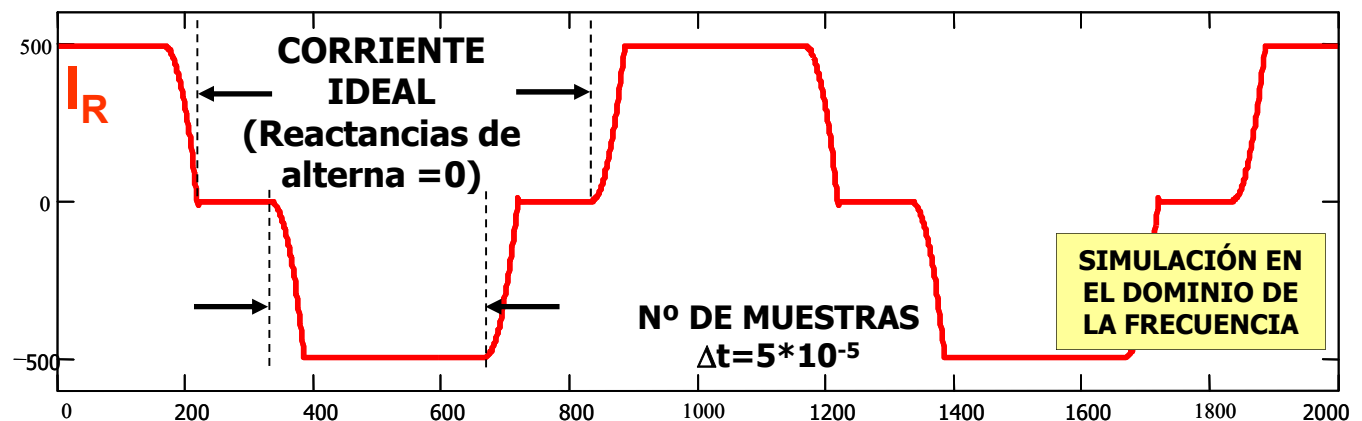
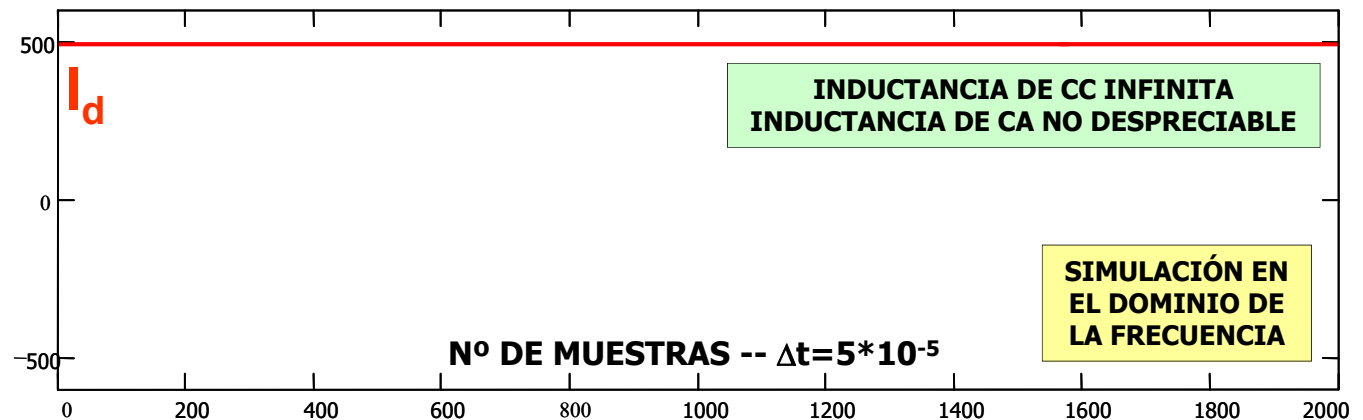
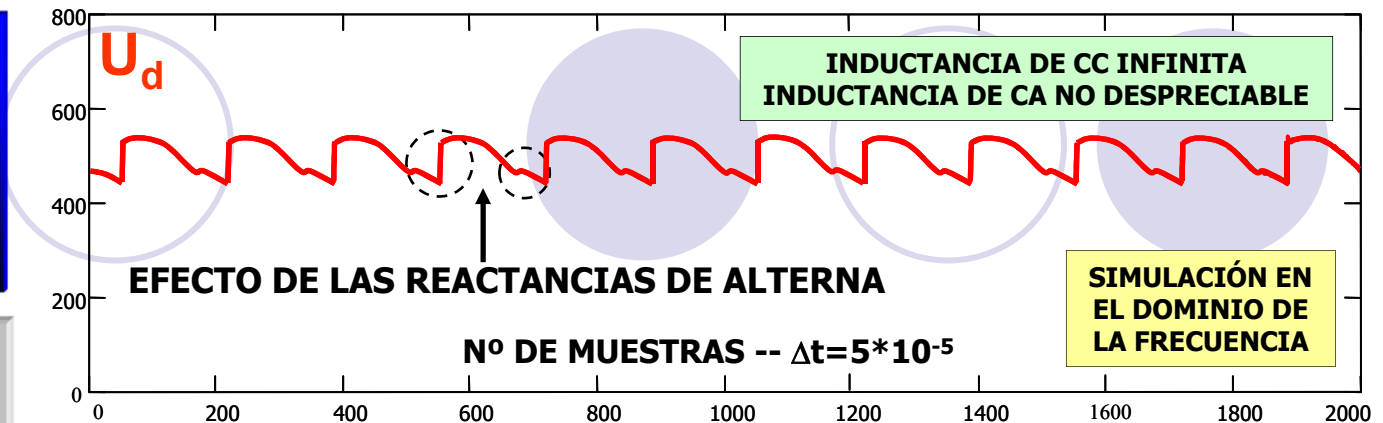
EFFECTOS CAUSADOS POR LA REACTANCIA DE LÍNEA EN EL LADO DE ALTERNA

La presencia de **REACTANCIAS NO DESPRECIABLES** en el lado de alterna hace que la entrada y salida de conducción de los diodos **NO PUEDA SER INSTANTÁNEA**

Las entradas y salidas de las parejas de diodos **SE SOLAPAN**

Las pendientes de la onda de corriente de línea ya **NO SON INSTANTÁNEAS: APARECEN DEFORMADAS**

La tensión de salida del rectificador aparece **LIGERAMENTE DEFORMADA**

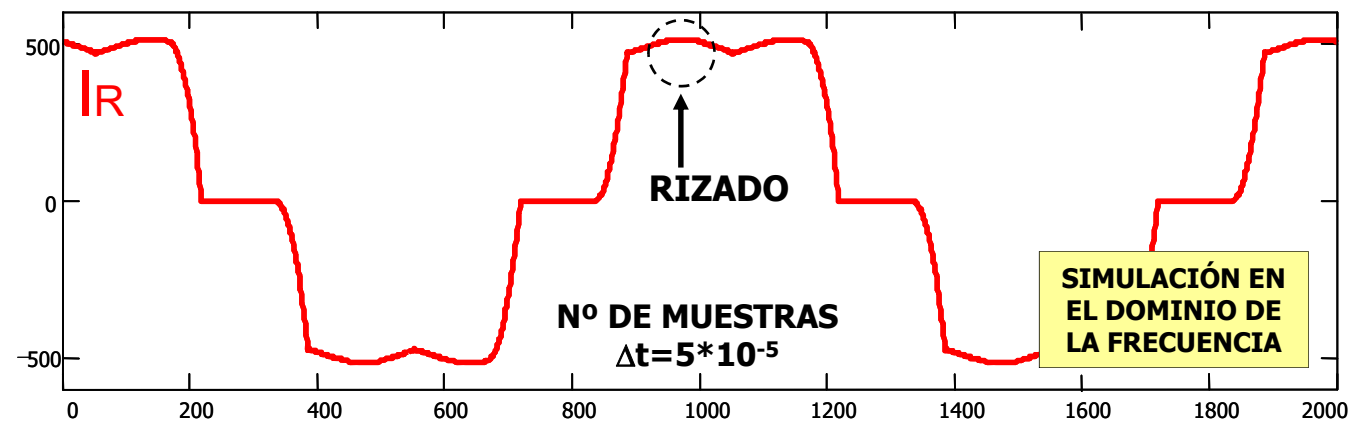
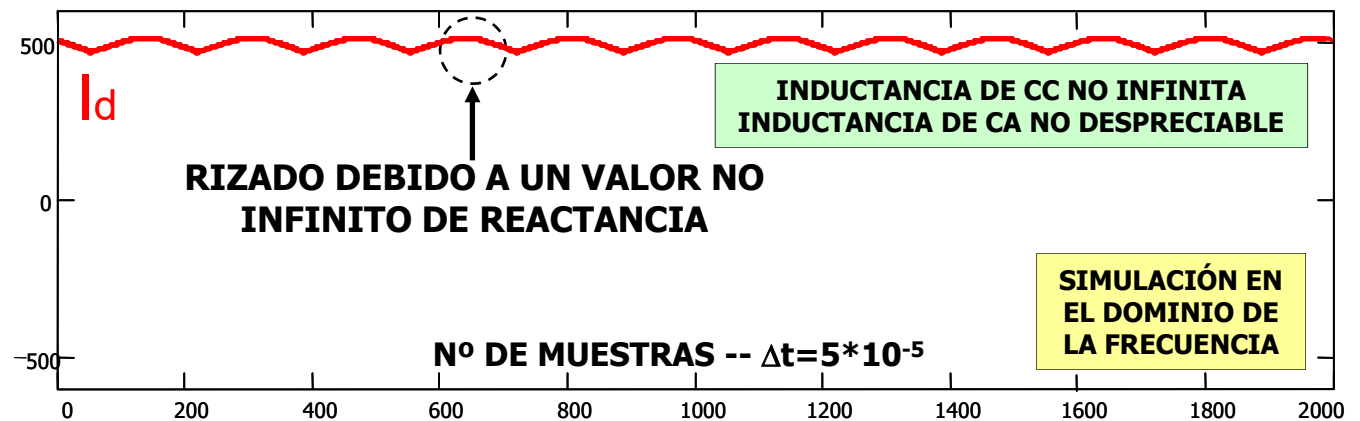
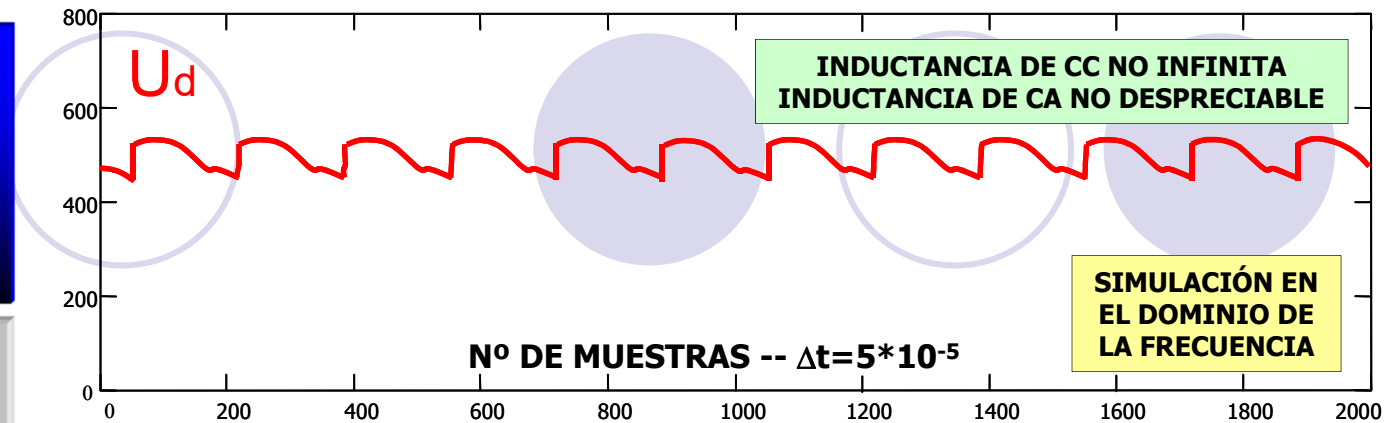


EFFECTOS CAUSADO POR LA REACTANCIA EN EL LADO DE CONTINUA

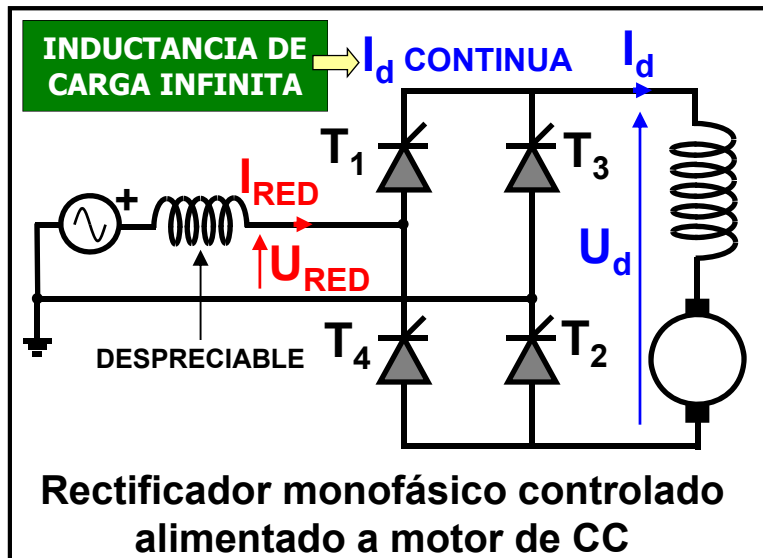
Si la reactancia del lado de alterna no presenta un valor **MUY ELEVADO** la tensión de salida del rectificador **CONTENDRÁ UN CIERTO RIZADO DE ALTERNA**

Este rizado **APARECERÁ TAMBIÉN** en los máximos de la corriente de línea en el lado de alterna

En los accionamientos de máquinas de corriente continua **ES FRECUENTE** utilizar reactancias adicionales **PARA REDUCIR EL RIZADO DE LA CORRIENTE DEL LADO DE CONTINUA**



Rectificadores monofásicos totalmente controlados



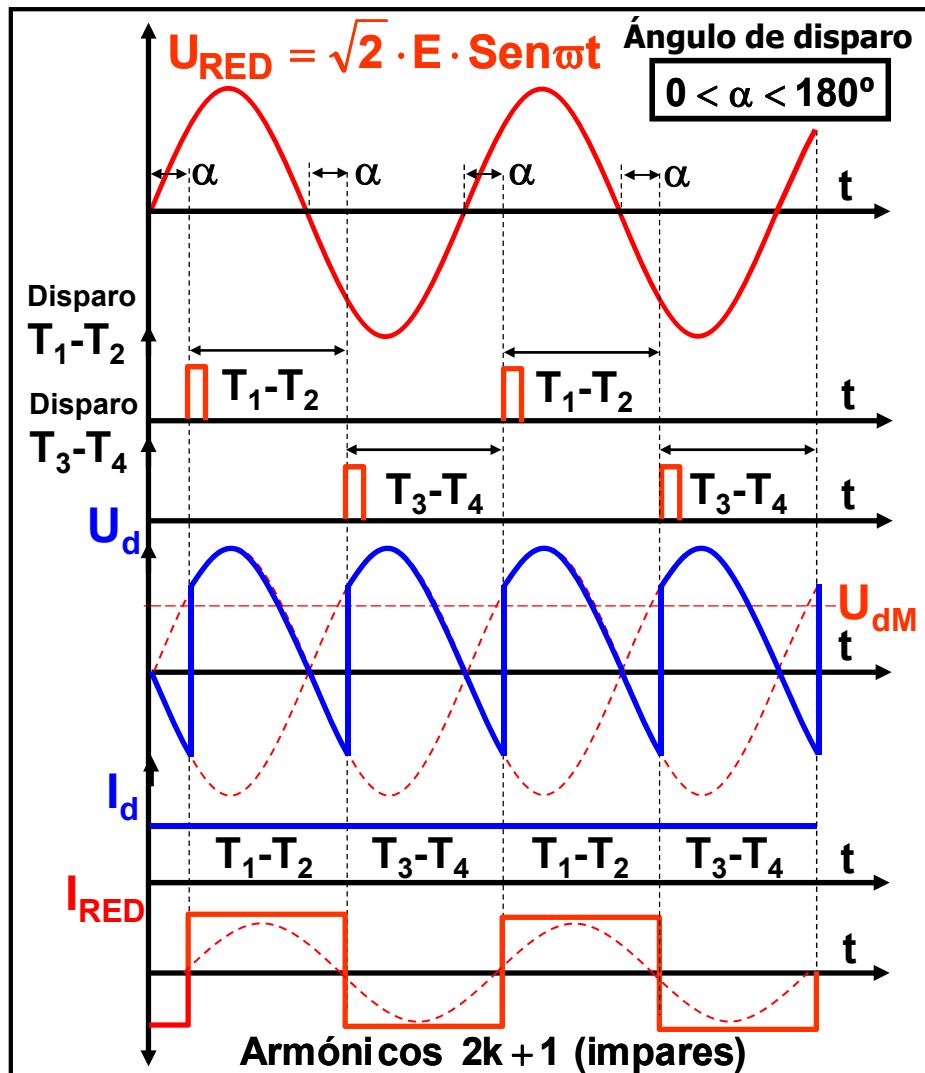
Los tiristores deben estar polarizados **DIRECTAMENTE** y **RECIBIR** la señal de disparo

Cada pareja de tiristores conduce hasta que la otra pareja recibe la señal de disparo

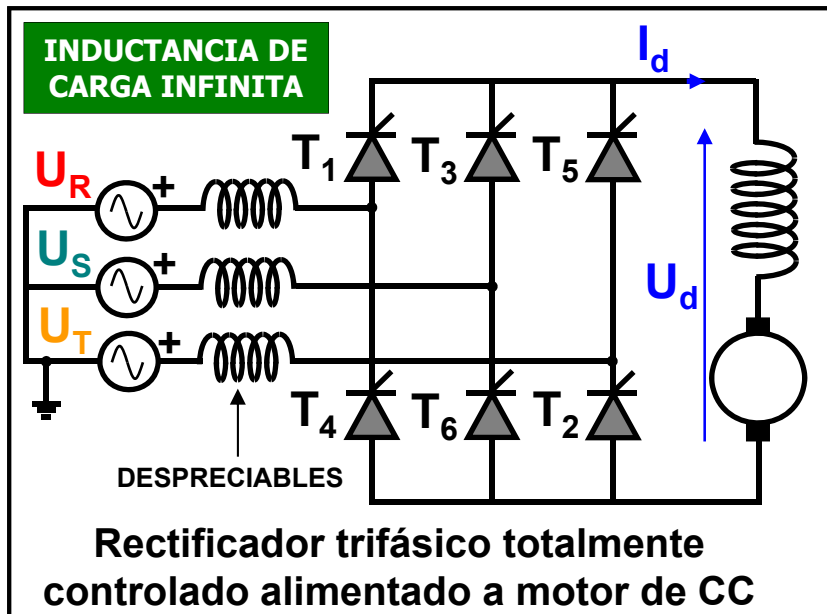
$$U_{dM} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot E \cdot \cos \alpha$$

El primer armónico de corriente está **DESFAZADO** α respecto a U_{RED}

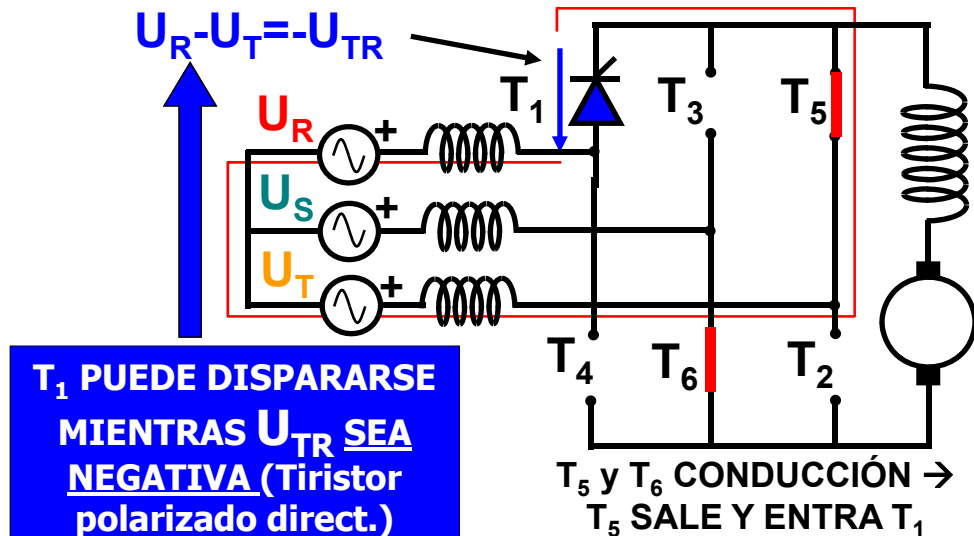
Con ángulos de disparo $> 90^\circ$ se puede suministrar **TENSIÓN NEGATIVA** a la carga



Rectificadores trifásicos totalmente controlados I



Cada tiristor puede dispararse a lo largo de 180°

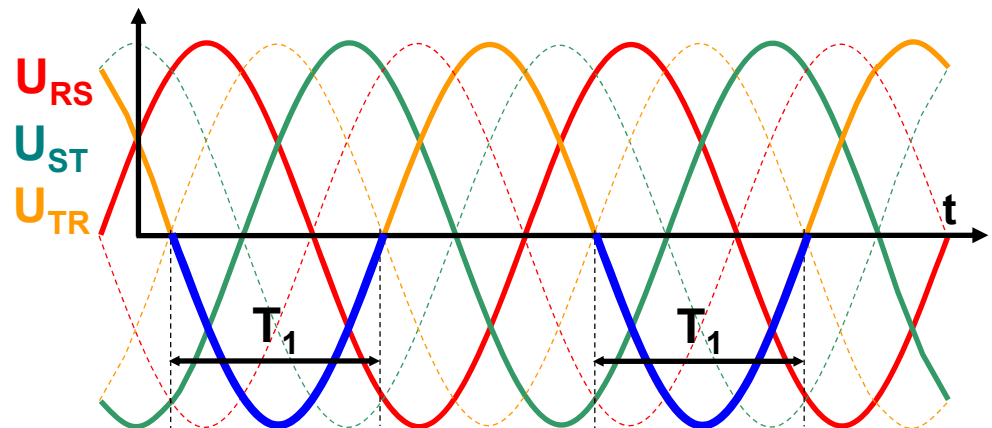


PARA QUE LOS TIRISTORES CONDUZCAN DEBEN ESTAR POLARIZADOS DIRECTAMENTE Y RECIBIR LA SEÑAL DE DISPARO

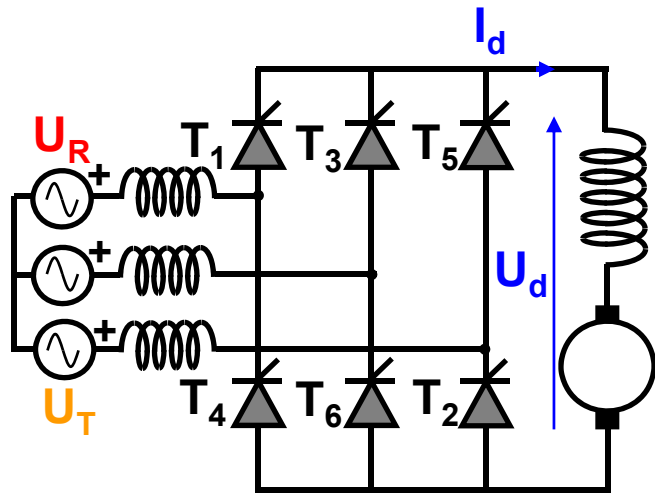
El orden de disparo de los tiristores es:

T₁ → T₂ → T₃ → T₄ → T₅ → T₆ → T₁ ...

En cada instante de tiempo SÓLO conducen SIMULTÁNEAMENTE 2 tiristores

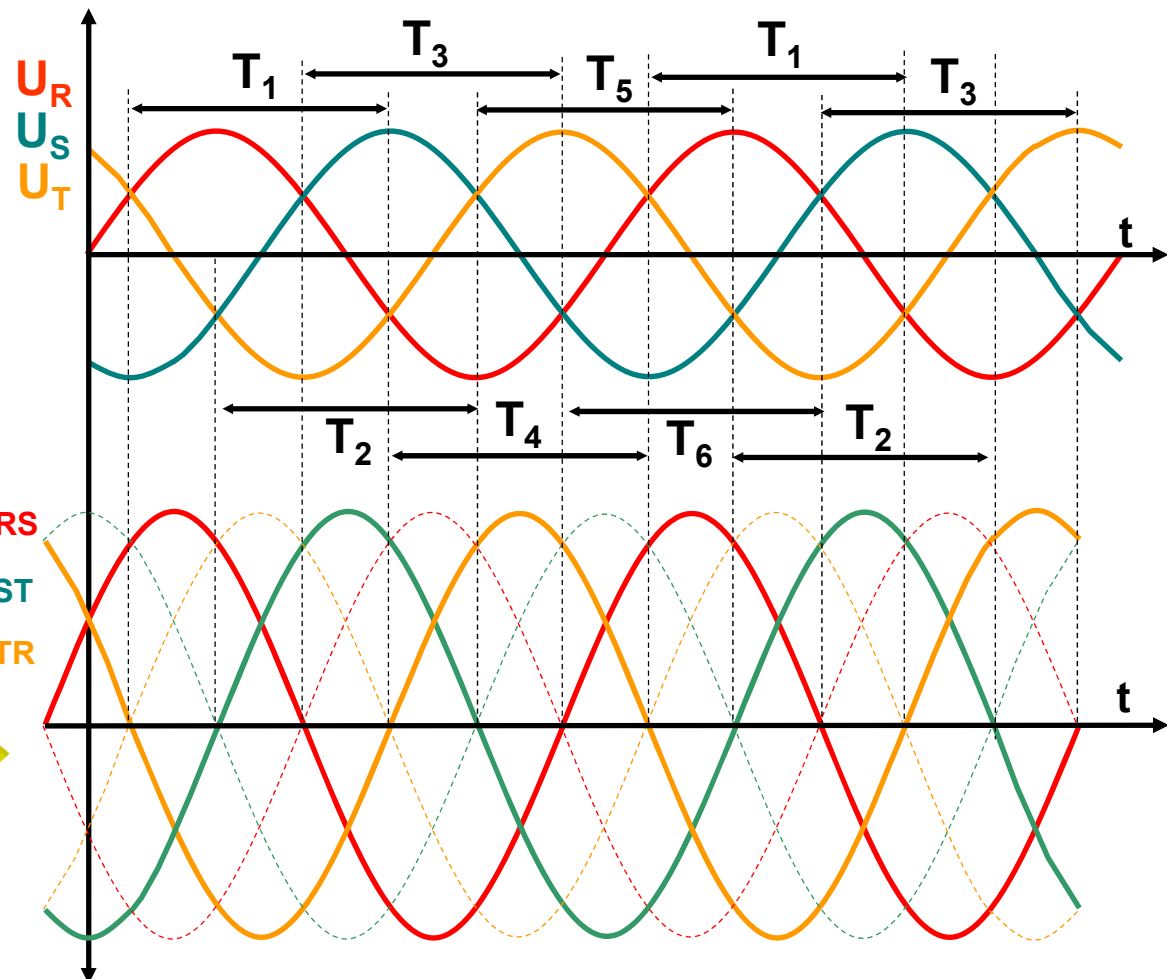


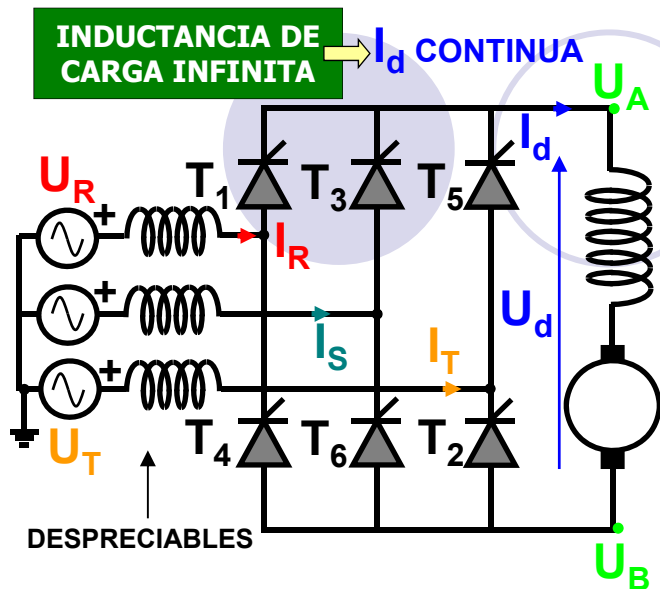
Rectificadores trifásicos totalmente controlados II



INTERVALOS EN LOS QUE ES
POSIBLE DISPARAR CADA
UNO DE LOS TIRISTORES

EL DISPARO PUEDE
EFECTUARSE EN
CUALQUIER INSTANTE
(CUALQUIER ÁNGULO)
DENTRO DE LOS
PERIODOS SEÑALADOS
(0-180°)

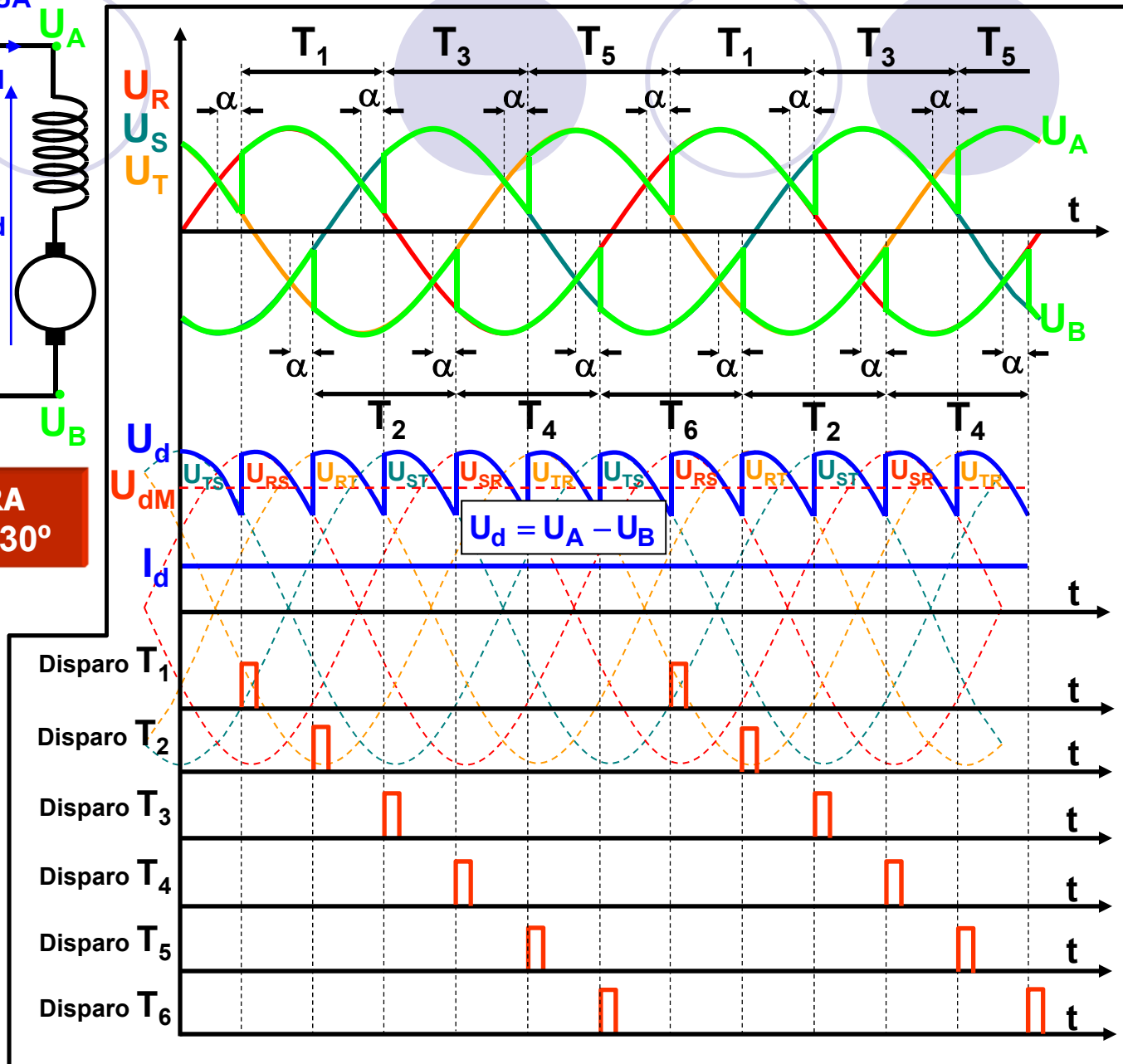




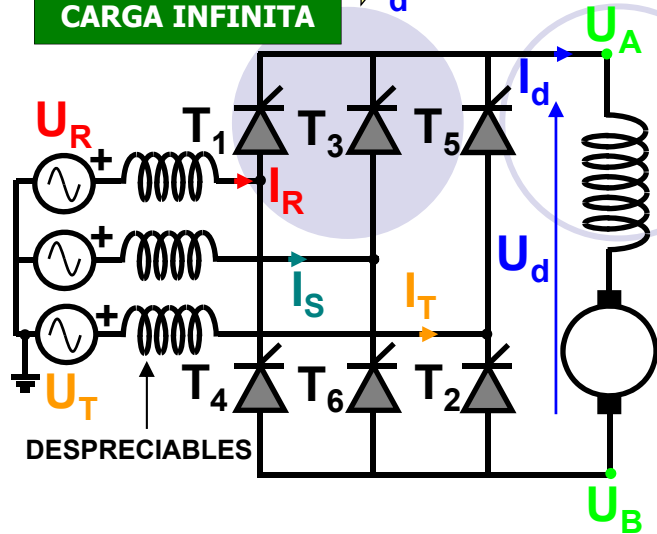
FUNCIONAMIENTO PARA ÁNGULO DE DISPARO $\alpha=30^\circ$

LA TENSIÓN DE SALIDA DEL RECTIFICADOR SE OBTIENE COMO DIFERENCIA ENTRE LA TENSIÓN DEL PUNTO A Y LA DEL PUNTO B: $U_A - U_B$

PARA ÁNGULOS DE DISPARO MENORES DE 90° SE OBTIENE TENSIÓN DE SALIDA POSITIVA, PARA VALORES MAYORES LA TENSIÓN DE SALIDA ES NEGATIVA. PARA $\alpha=90^\circ$ EL VALOR MEDIO DE U_d ES 0



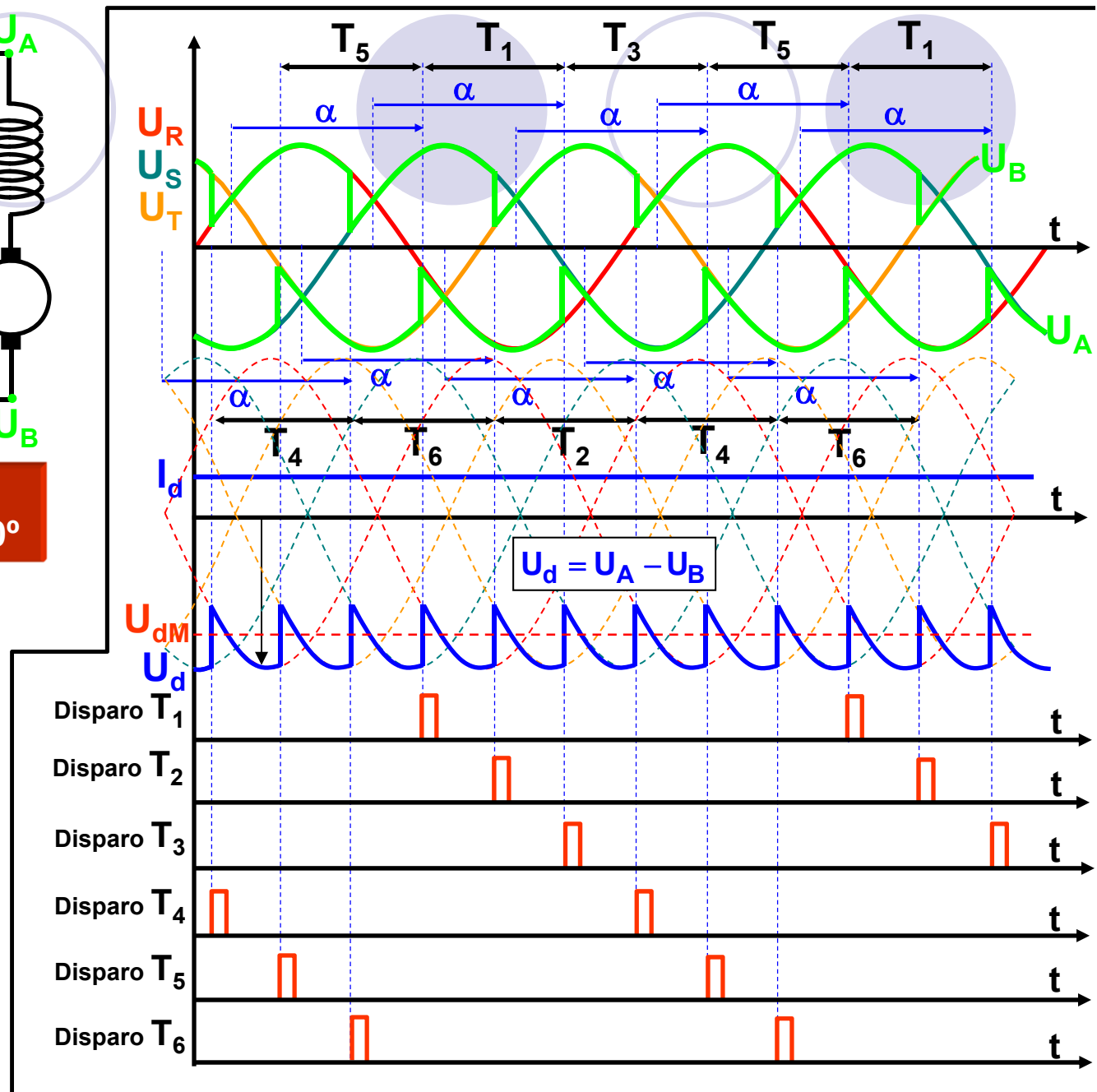
INDUCTANCIA DE CARGA INFINITA $\rightarrow I_d$ CONTINUA



FUNCIONAMIENTO PARA
ÁNGULO DE DISPARO $\alpha=150^\circ$

LA TENSIÓN DE SALIDA
DEL RECTIFICADOR ES LA
DIFERENCIA ENTRE LA
TENSIÓN DEL PUNTO A Y
LA DEL PUNTO B: $U_A - U_B$

PARA $\alpha > 90^\circ$ SE OBTIENE
TENSIÓN DE SALIDA NE-
GATIVA. EN ESTAS CONDI-
CIONES EL RECTIFICADOR
DEVUELVE ENERGÍA A LA
RED (Desfase entre cada
tensión de fase (U_R) y su
corriente (I_R) $> 90^\circ$)



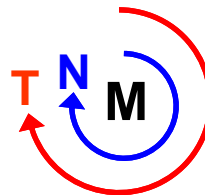
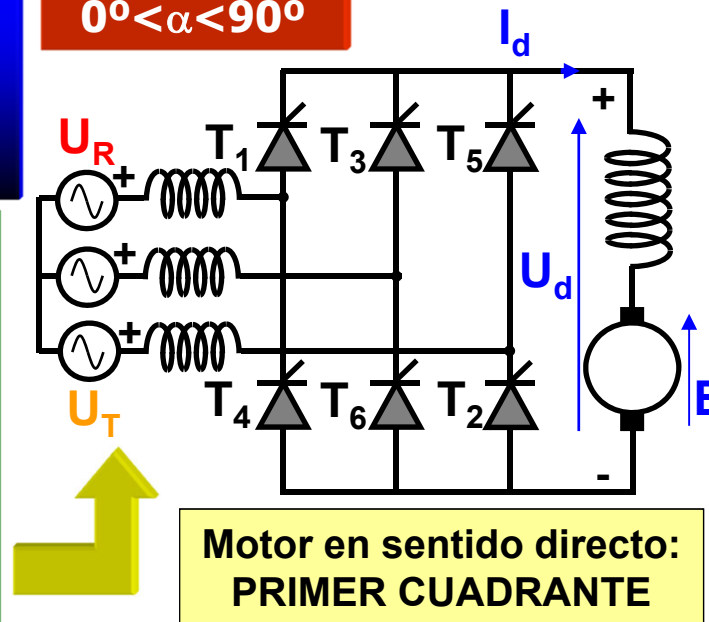
Rectificadores trifásicos totalmente controlados III

CUADRANTES DE FUNCIONAMIENTO DE UN RECTIFICADOR

UTILIZANDO UN ÚNICO RECTIFICADOR TRIFÁSICO CONTROLADO ES POSIBLE HACER TRABAJAR EL MOTOR EN DOS CUADRANTES DEPENDIENDO DEL ÁNGULO DE DISPARO QUE SE UTILICE

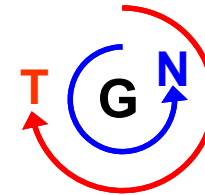
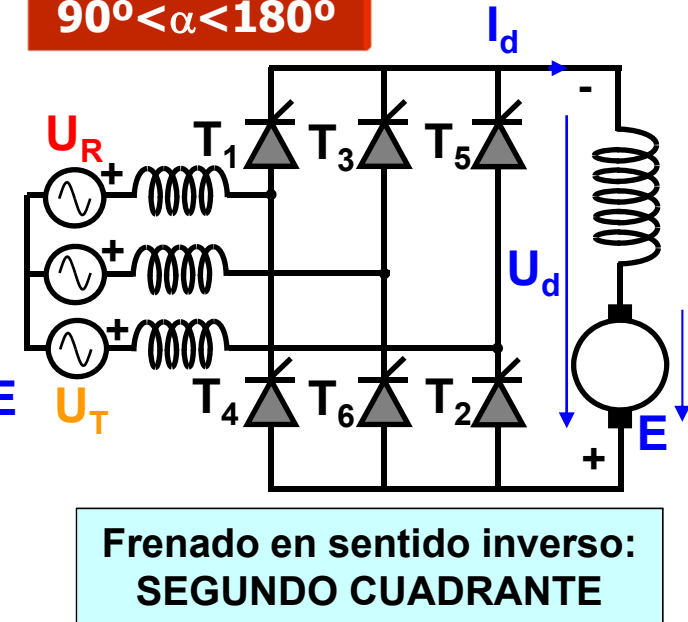
EL RECTIFICADOR NO PERMITE EN NINGÚN CASO LA CIRCULACIÓN DE CORRIENTE DESDE LA CARGA HACIA LA RED

$0^\circ < \alpha < 90^\circ$



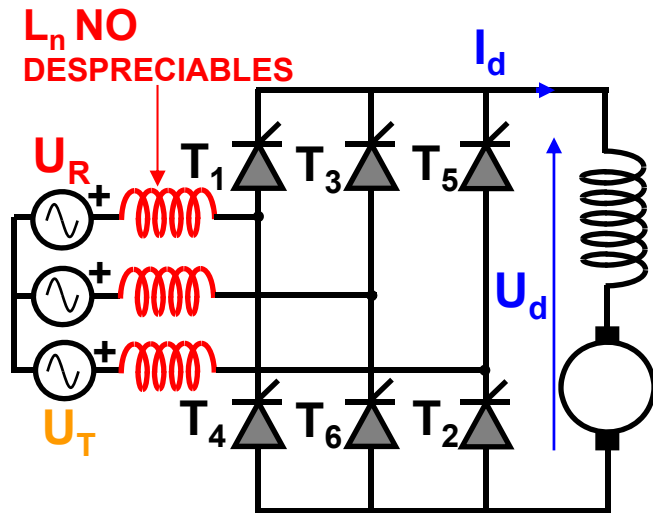
PARA PODER TRABAJAR EN OTROS CUADRANTES ES NECESARIO INVERTIR LAS CONEXIONES DE INDUCIDO O INDUCTOR

$90^\circ < \alpha < 180^\circ$



EL RECTIFICADOR DEVUELVE ENERGÍA A LA RED: TRABAJA CON $\cos \phi < 1$

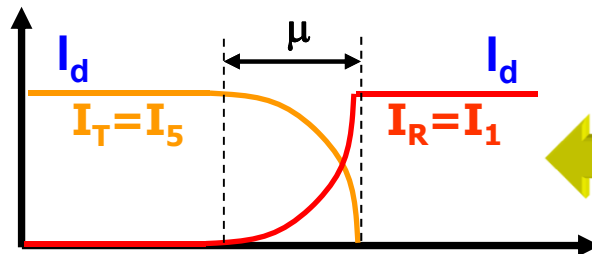
Rectificadores trifásicos totalmente controlados IV



EL SOLAPAMIENTO DE LOS TIRISTORES DURANTE LA CONDUCCIÓN DEBIDO A LAS REACTANCIAS DE LÍNEA EN EL LADO DE ALTERNA

TANTO LA ENTRADA EN CONDUCCIÓN DE LOS TIRISTORES COMO SU SALIDA DE DICHO ESTADO **NO SON PROCESOS INSTANTÁNEOS**

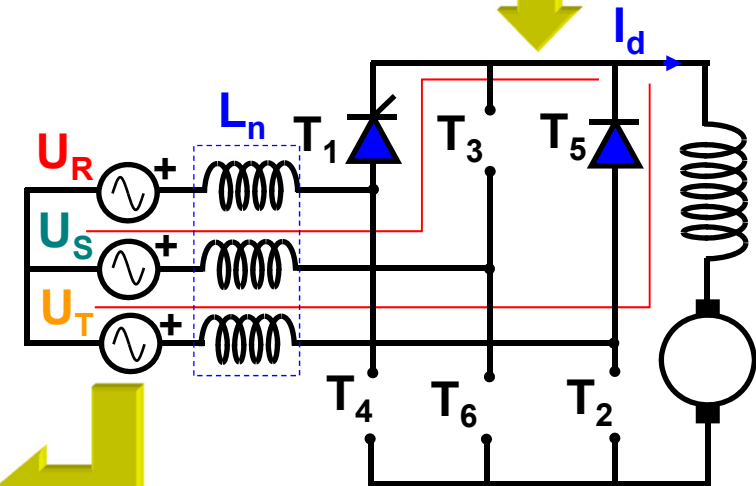
EXISTE UN INTERVALO DE TIEMPO μ EN EL QUE **SE SOLAPA** LA CONDUCCIÓN SIMULTÁNEA DE DOS TIRISTORES



$$\mu = \arccos \left[\cos \alpha - \frac{2\omega \cdot L_n}{\sqrt{2} \cdot U_{\text{Fase}}} \cdot I_d \right] - \alpha$$

SI $L_n = 0 \rightarrow \mu = 0$: NO HAY SOLAPAMIENTO

T_5 SALE DE CONDUCCIÓN Y T_1 ENTRA EN CONDUCCIÓN: LA CORRIENTE DE LA FASE T DECRECERÁ DESDE I_d HASTA 0 Y LA CORRIENTE DE LA FASE R CRECERÁ DESDE 0 A I_d

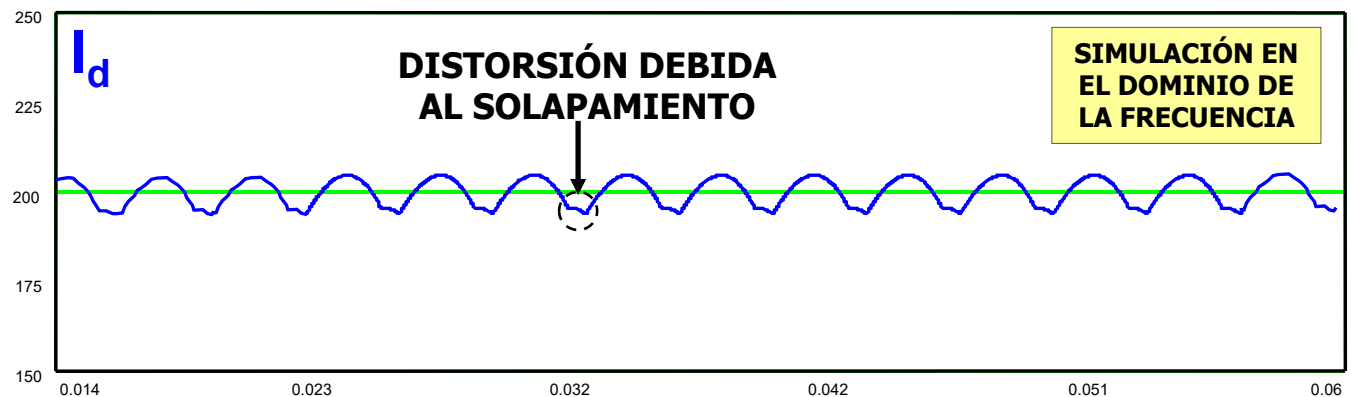
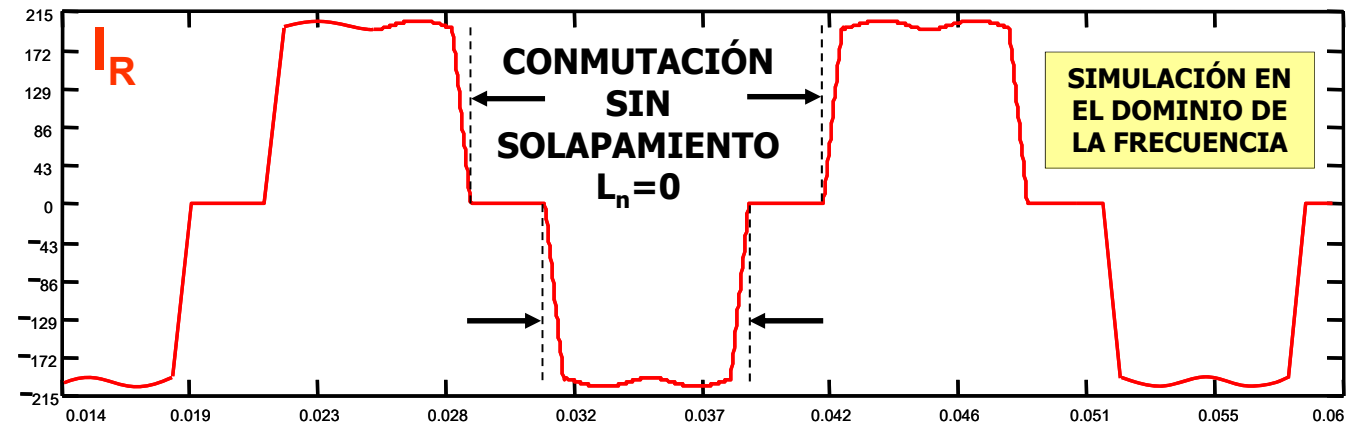
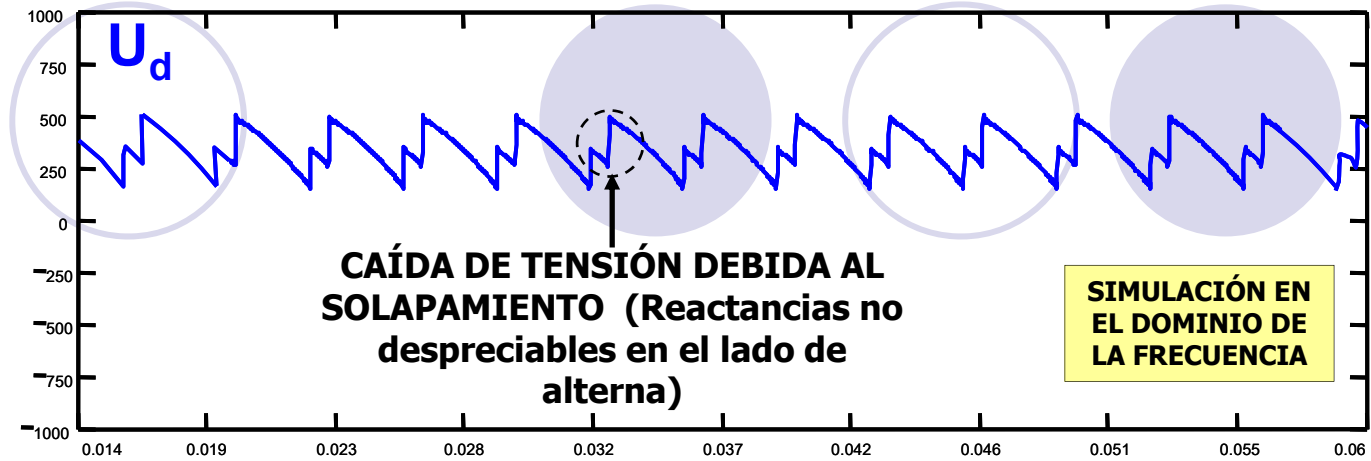


EFFECTOS CAUSADO POR EL SOLAPAMIENTO (REACTANCIA DE ALTERNA) EN LAS FORMAS DE ONDA DEL CIRCUITO

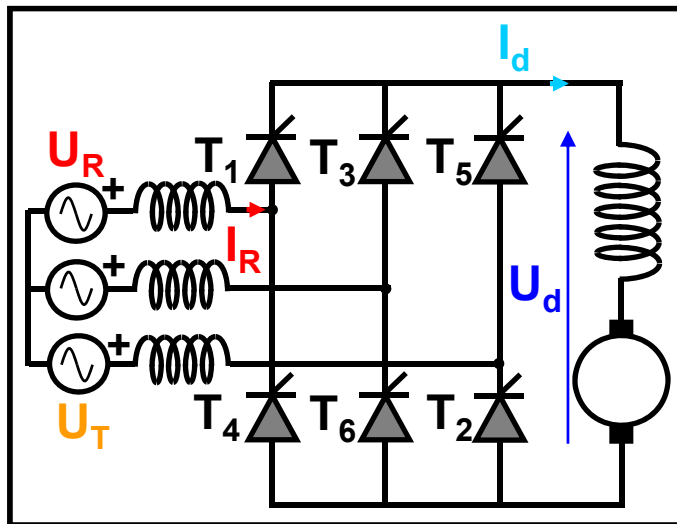
EL SOLAPAMIENTO EN LA CONDUCCIÓN DE LOS TIRISTORES PROVOCA LA APARICIÓN DE CAÍDAS DE TENSÓN PUNTUALES EN LA TENSÓN DE SALIDA

LAS PENDIENTES DE LOS CAMBIOS DE ESTADO EN LA CORRIENTE YA NO SON INSTANTÁNEAS (ESTÁN DEFORMADAS)

LA CORRIENTE DE SALIDA PRESENTA UNA PEQUEÑA DISTORSIÓN EN LA MISMA ZONA QUE LA TENSÓN



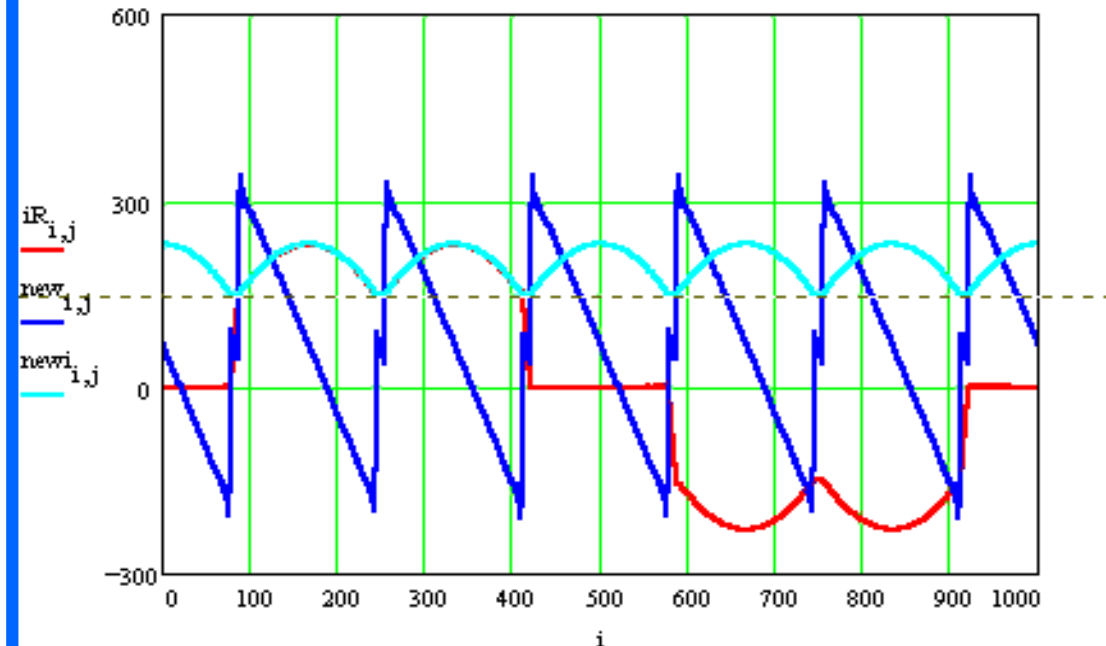
5.1.7 Rectificadores trifásicos totalmente controlados V



**OBSERVACIÓN DE LAS FORMAS DE ONDA
CARACTERÍSTICAS ANTE DIFERENTES
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

**RECTIFICADOR ALIMENTANDO MOTOR EN BUCLE
CERRADO: AUMENTO DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR**

VÍDEO OBTENIDO POR SIMULACIÓN EN EL DOMINIO DE LA FREC.

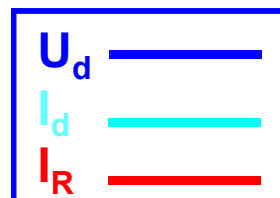


**AUMENTO
DE LA
VELOCIDAD**

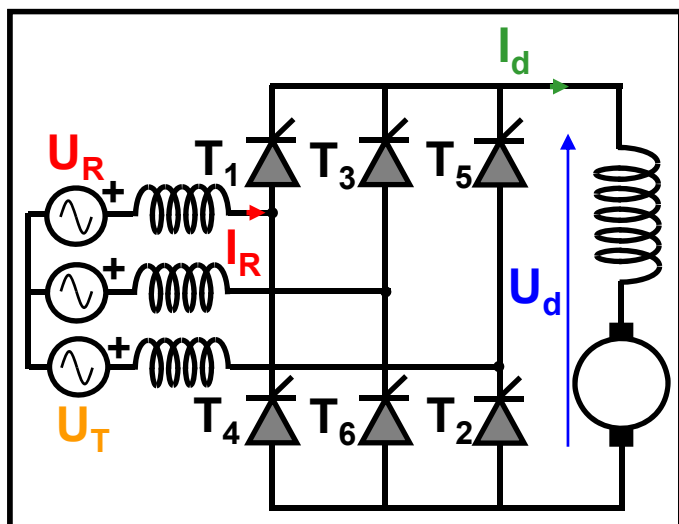
AUMENTO DE U_d

**REDUCCIÓN DEL ÁNGULO
DE DISPARO**

**AUMENTO
DEL
ÁNGULO
DE
SOLAPA-
MIENTO μ**



Rectificadores trifásicos totalmente controlados VI



**OBSERVACIÓN DE LAS FORMAS DE ONDA
CARACTERÍSTICAS ANTE DIFERENTES
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

**RECTIFICADOR ALIMENTANDO MOTOR EN BUCLE
CERRADO: AUMENTO DEL PAR DE CARGA MECÁNICA**

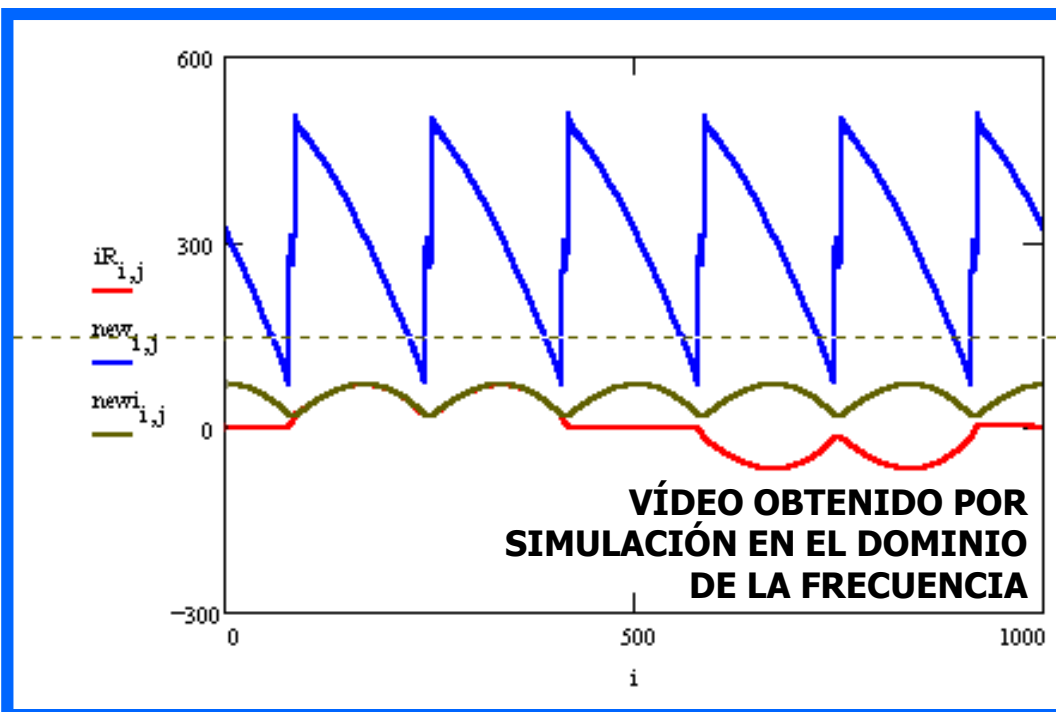
AUMENTO
DEL PAR
DE CARGA

AUMENTO DE I_d

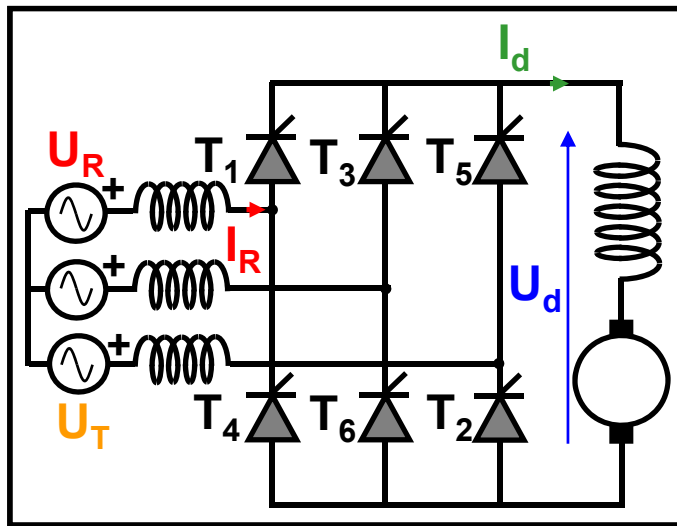
REDUCCIÓN DEL
ÁNGULO DE
DISPARO

AUMENTO
DEL
ÁNGULO DE
SOLAPA-
MIENTO μ

U_d ———
 I_d ———
 I_R ———



Rectificadores trifásicos totalmente controlados VII

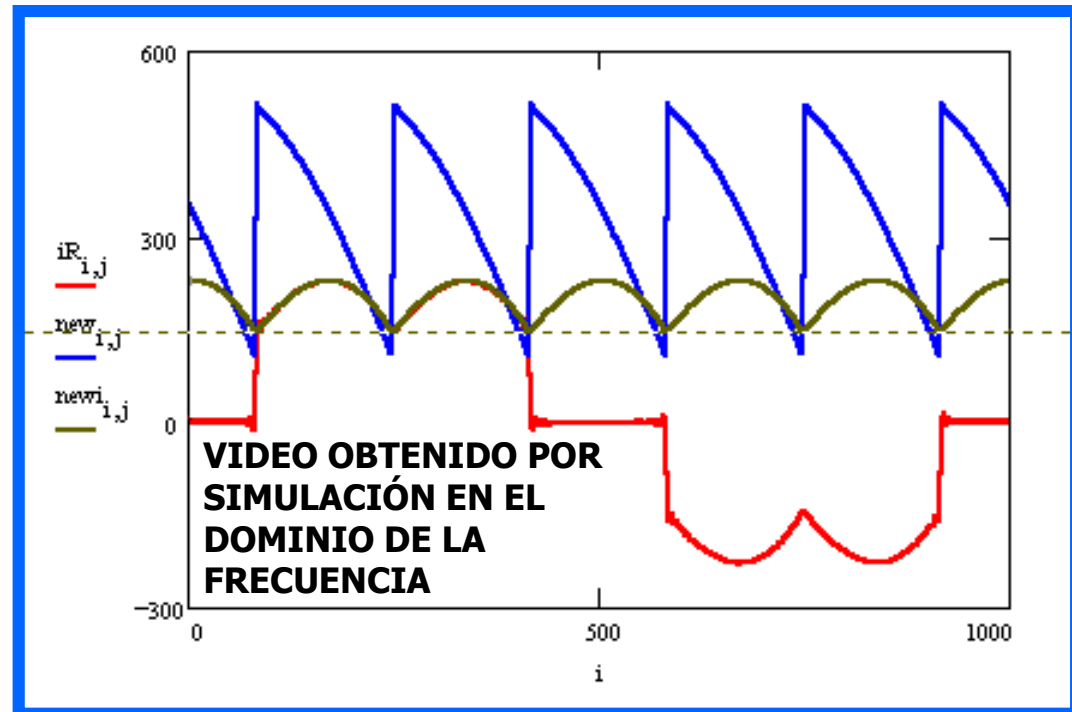
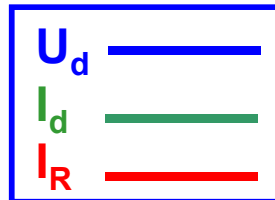


**OBSERVACIÓN DE LAS FORMAS DE ONDA
CARACTERÍSTICAS ANTE DIFERENTES
CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO**

**RECTIFICADOR ALIMENTANDO MOTOR EN BUCLE
CERRADO: AUMENTO DE LA REACTANCIA DE ALTERNA**

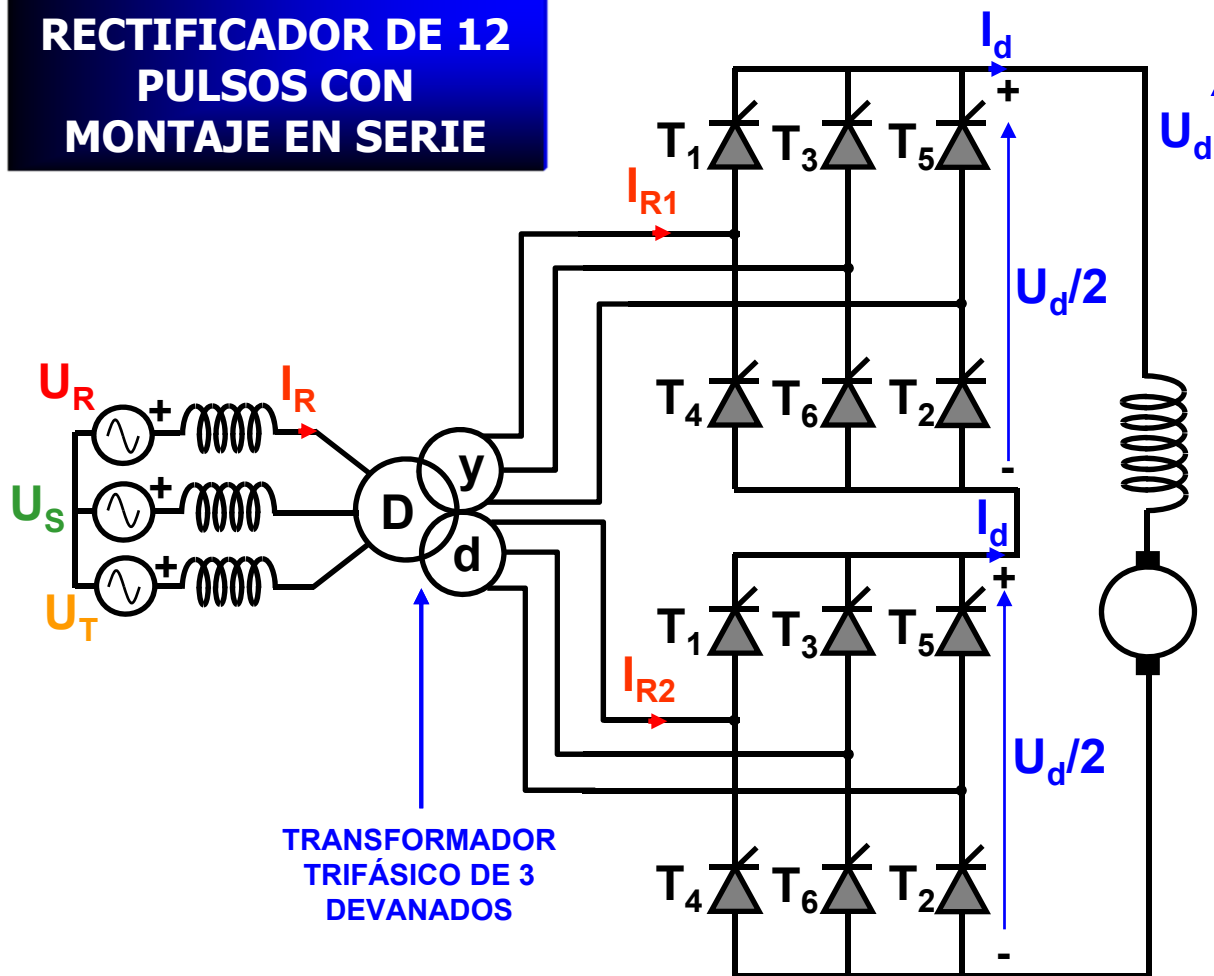
**AUMENTO DE LA REACTANCIA
DE ALTERNA**

**AUMENTO
DEL
ÁNGULO
DE
SOLAPA-
MIENTO μ**



Rectificadores trifásicos totalmente controlados de 12 pulsos I

RECTIFICADOR DE 12 PULSOS CON MONTAJE EN SERIE



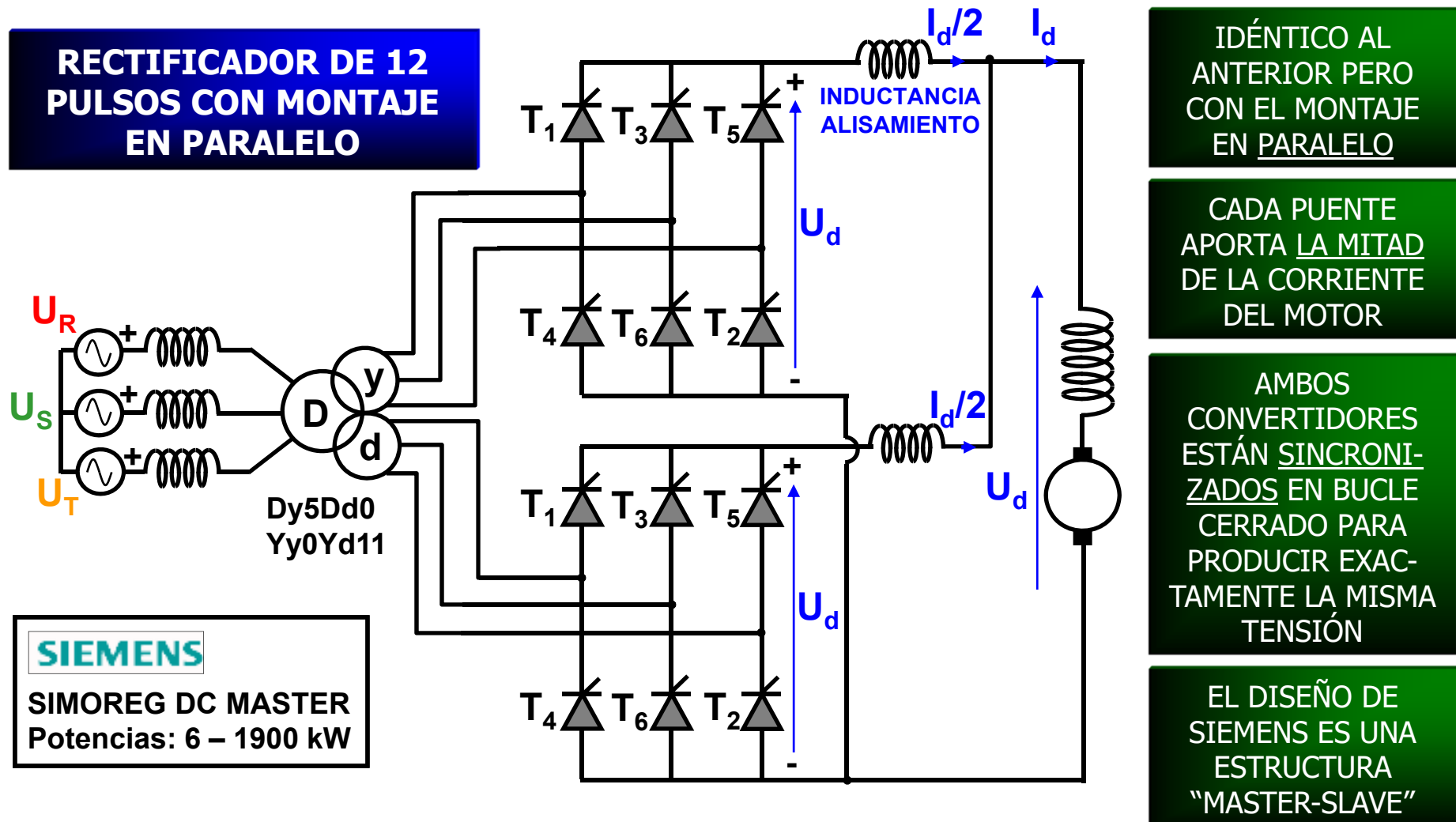
LOS DOS PUENTES FUNCIONAN SIMULTANÉAMENTE CONECTADOS A DOS SECUNDARIOS DIFERENTES

POR LOS DOS PUENTES CIRCU LA MISMA CORRIENTE DE SALIDA. CADA UNO APOR TA LA MITAD DE LA TENSIÓN

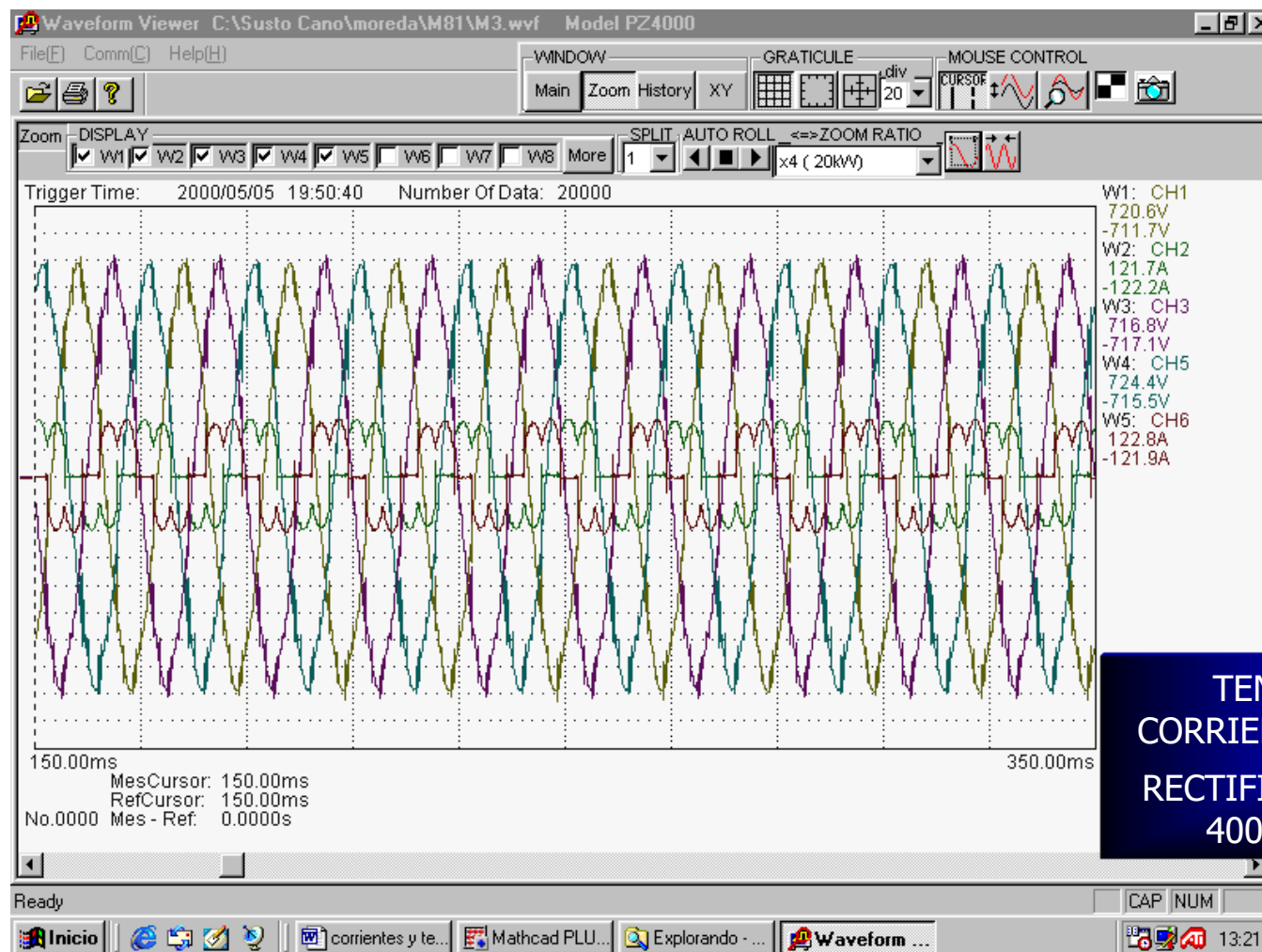
LOS GRUPOS DE CONEXIÓN E ÍNDICES HORARIOS DEL TRANSFORMADOR SE SELEC CIONAN DE FORMA QUE LOS ARMÓNICOS DE LAS CORRIEN TES I_{R1} E I_{R2} SE ANULEN AL APARECER REFLEJADOS EN EL PRIMARIO COMO I_R

SE UTILIZAN PARA GRANDES POTENCIAS (TANTO EN MÁQUINAS DE CC COMO DE CA (como bus del inversor))

Rectificadores trifásicos totalmente controlados de 12 pulsos II

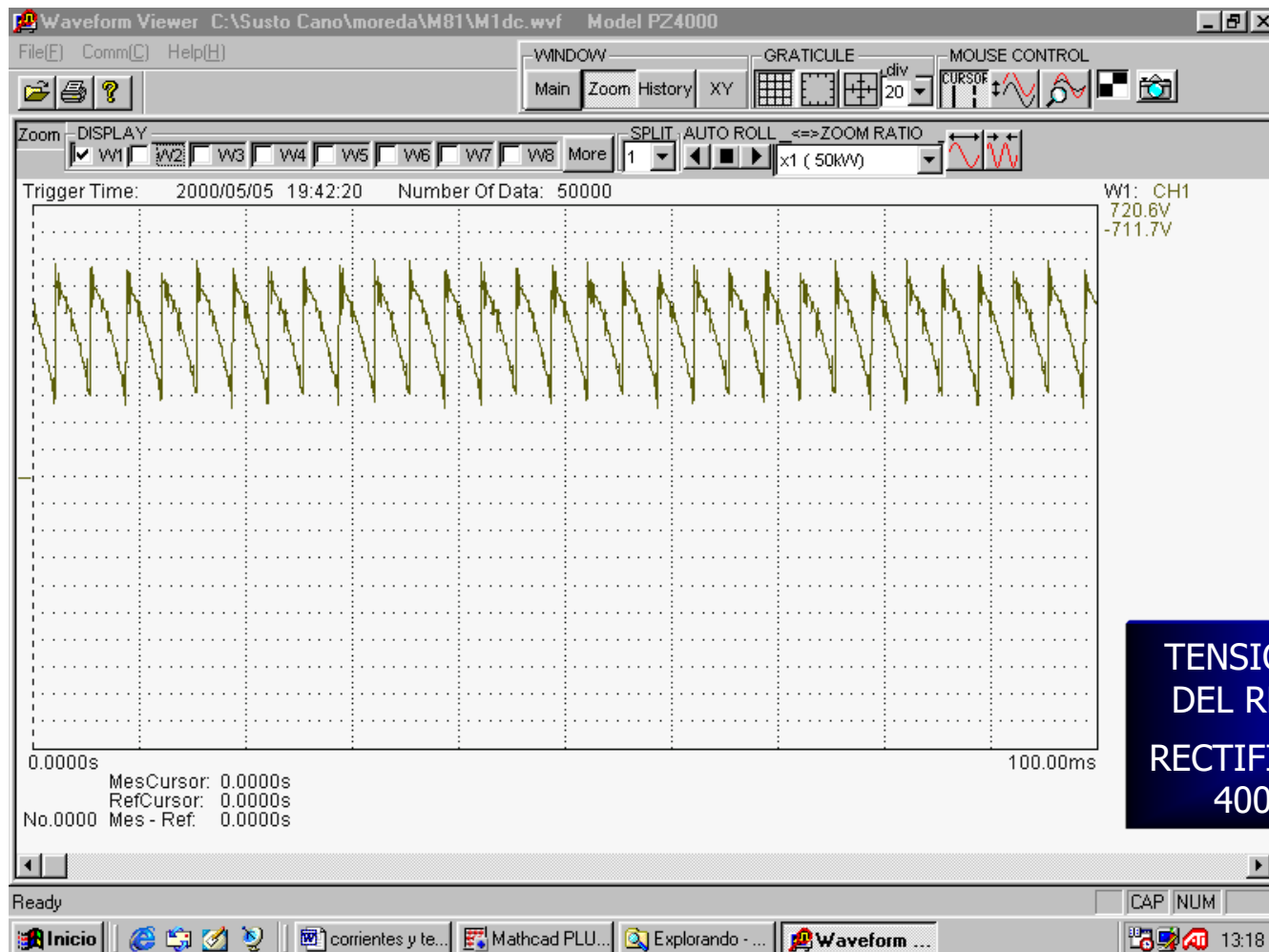


Formas de ondas pertenecientes a equipos industriales I



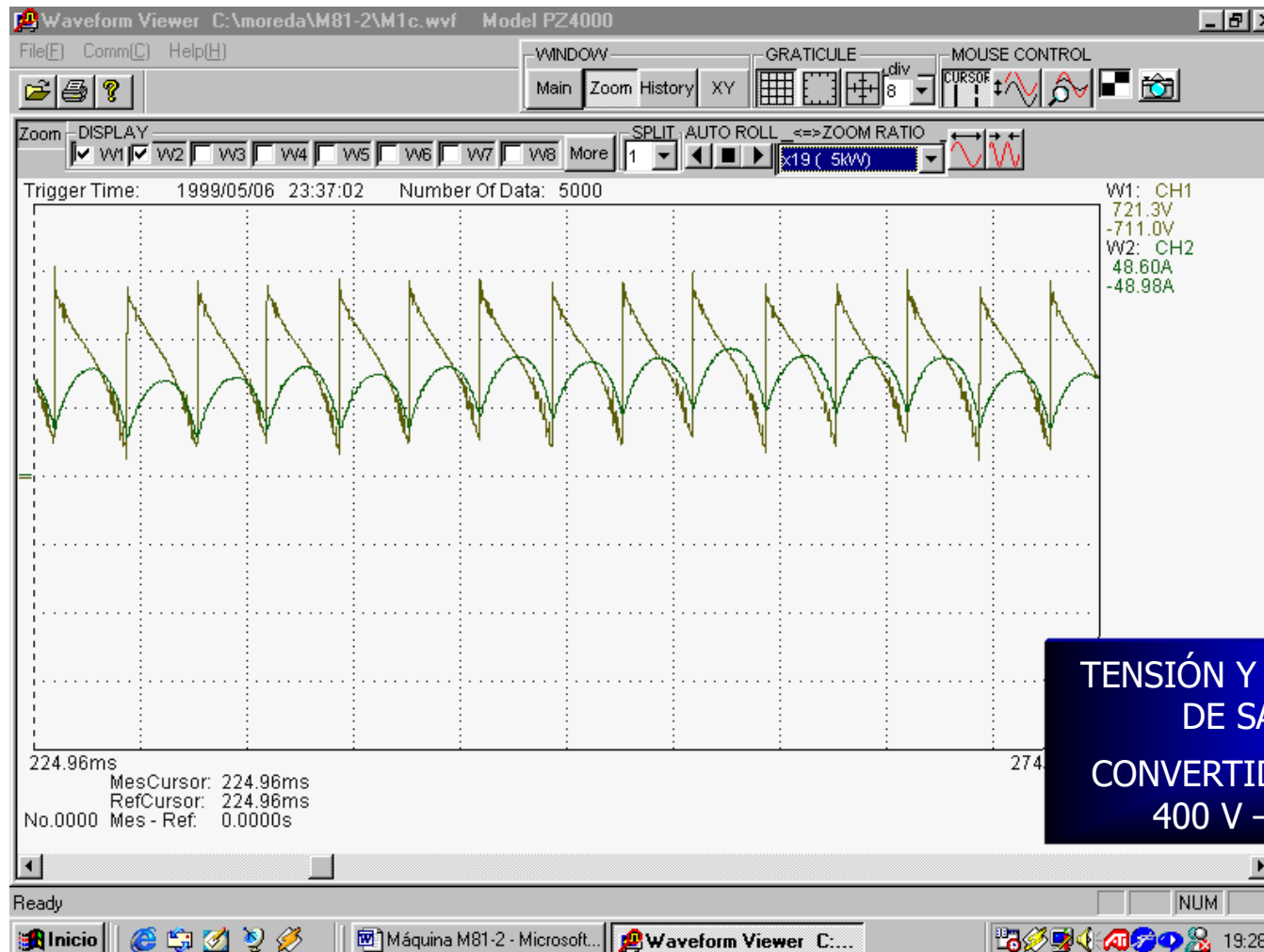
TENSIONES Y
CORRIENTES DE LÍNEA
RECTIFICADOR DE 6P:
400 V – 20 kW

Formas de ondas pertenecientes a equipos industriales II



TENSIÓN DE SALIDA
DEL RECTIFICADOR
RECTIFICADOR DE 6P:
400 V – 20 kW

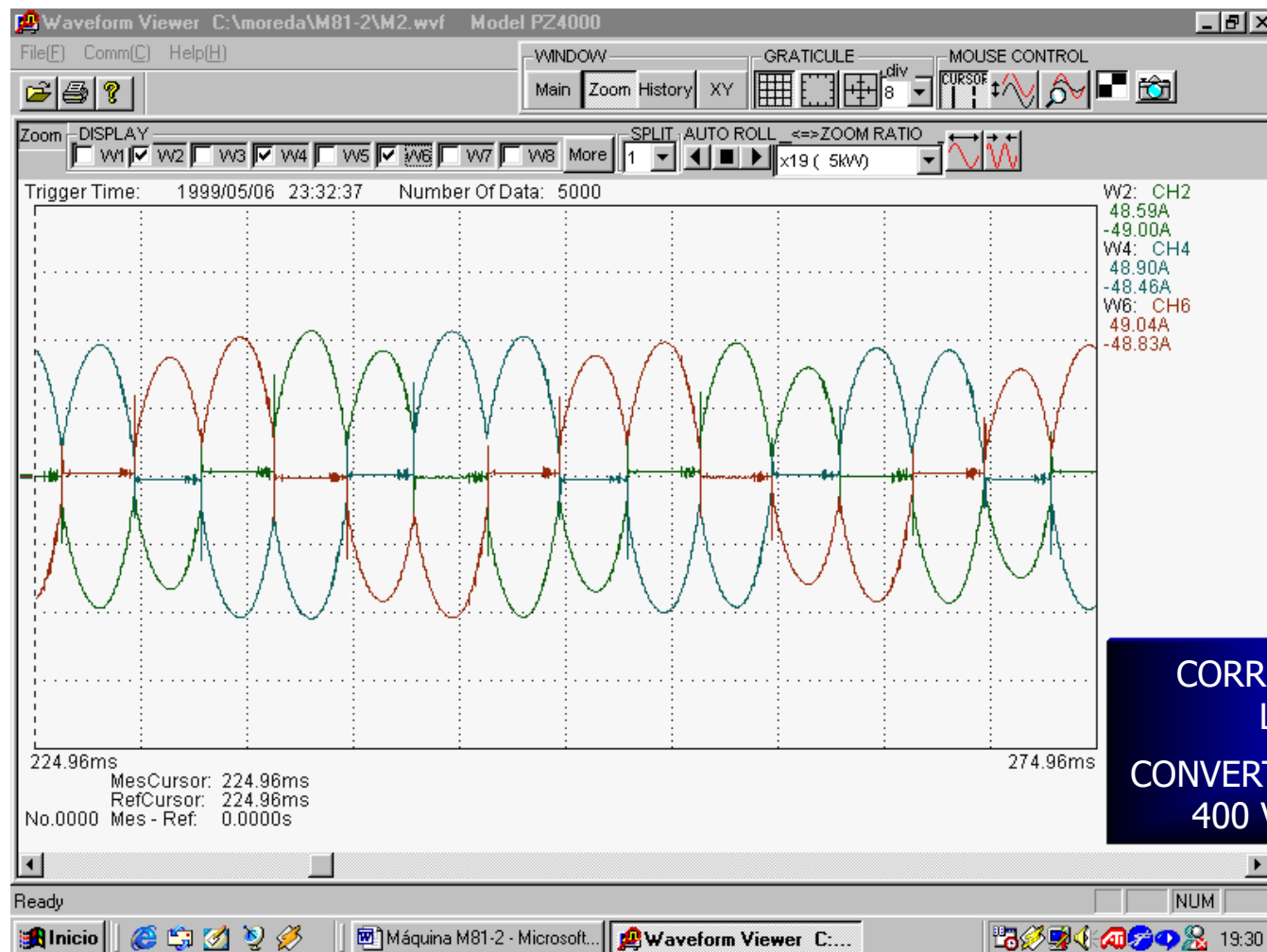
Formas de ondas pertenecientes a equipos industriales III



TENSIÓN Y CORRIENTE
DE SALIDA

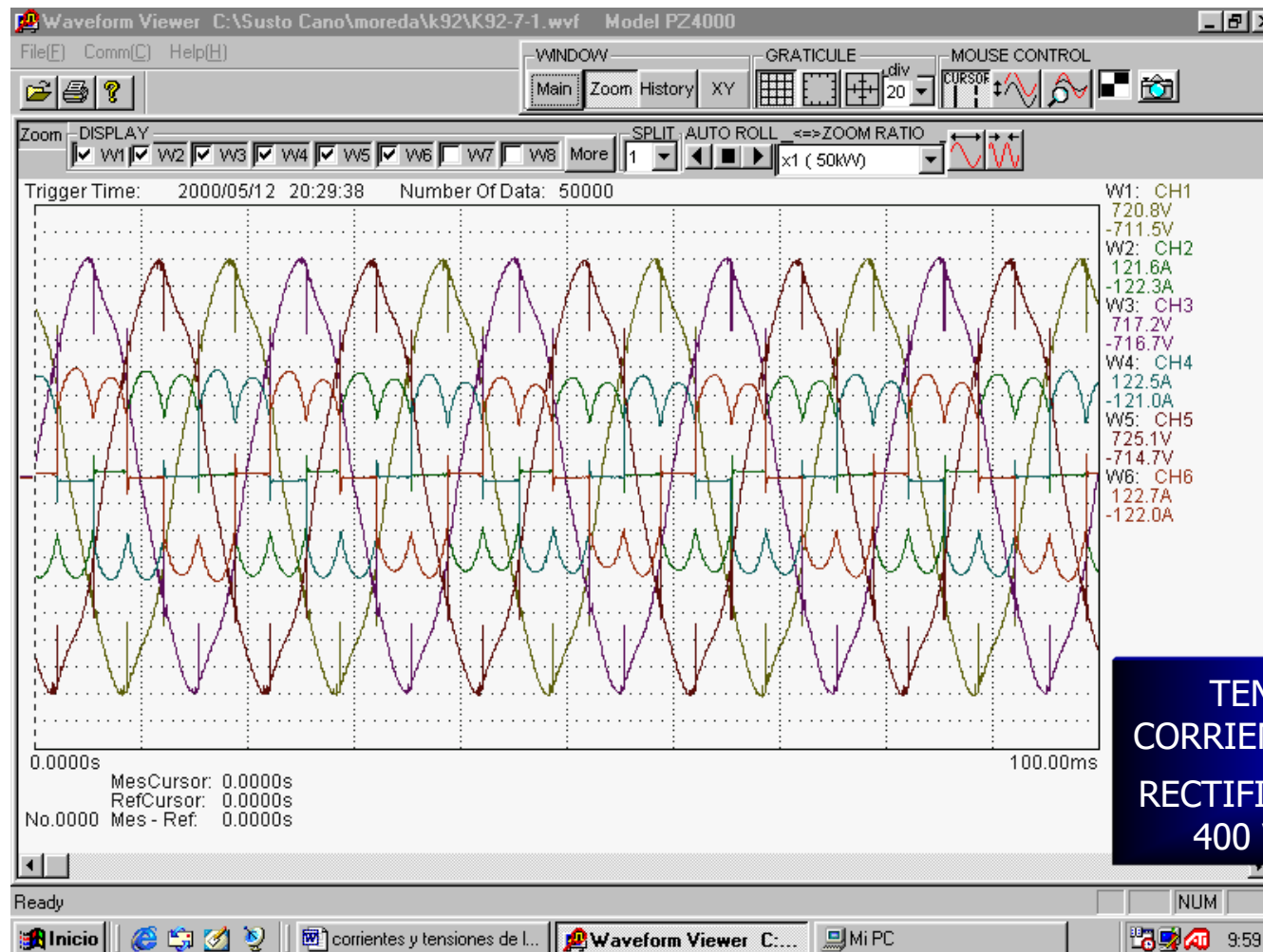
CONVERTIDOR DE 6P:
400 V – 45 kW

Formas de ondas pertenecientes a equipos industriales IV



CORRIENTES DE
LÍNEA
CONVERTIDOR DE 6P:
400 V – 45 kW

Formas de ondas pertenecientes a equipos industriales V



TENSIONES Y
CORRIENTES DE LÍNEA
RECTIFICADOR DE 6P:
400 V – 100 kW

Comparativa entre los distintos tipos de rectificadores

6 PULSOS	ARMÓNICOS EN RED	TENSIÓN MEDIA SALIDA	APLICACIONES
MONOFÁSICO NO CONTROLADO	2K+1 (impares)	$U_{dM} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot E \cong 0,9 \cdot E$	DOMÉSTICAS
MONOFÁSICO CONTROLADO	2K+1 (impares)	$U_{dM} = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot E \cdot \cos\alpha$	CONTROL DE PEQUEÑOS MOTORES
TRIFÁSICO NO CONTROLADO	6K±1	$U_{dM} = 1,35 \cdot U_{LÍNEA}$	BUSES DE CC DE ACCIONAMIENTOS PARA CA
TRIFÁSICO CONTROLADO	6K±1	$U_{dM} = 1,35 \cdot \cos\alpha \cdot U_{LÍNEA}$	CONTROL DE MÁQUINAS INDUSTRIALES

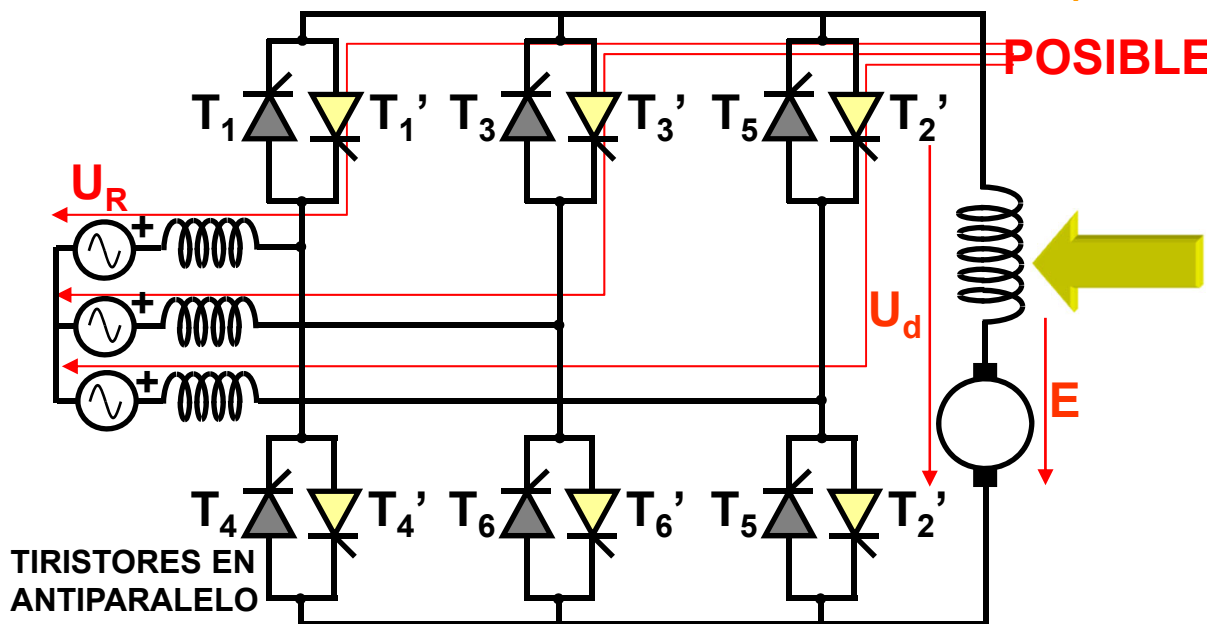
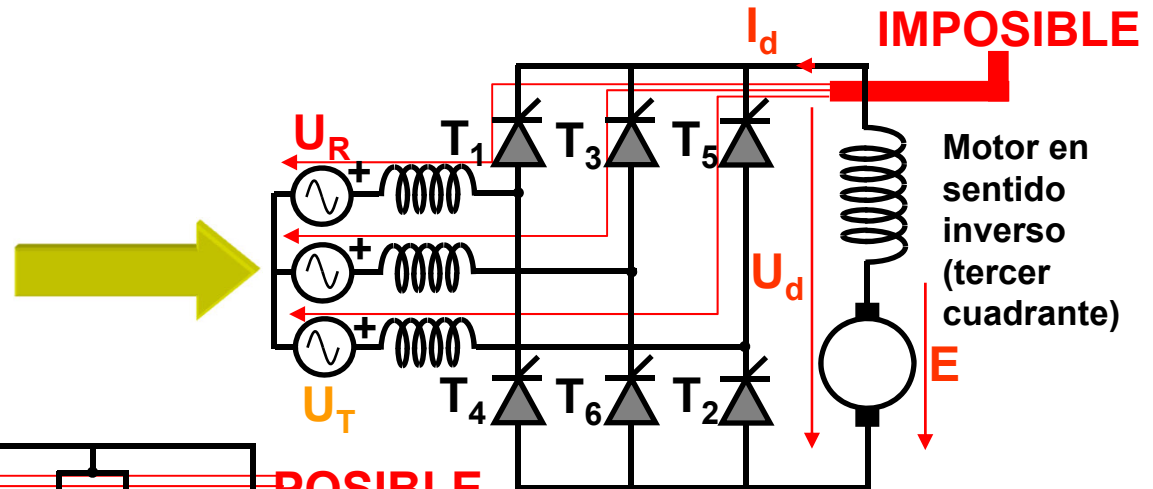
12 PULSOS



REDUCCIÓN DEL CONTENIDO EN ARMÓNICOS EN LA RED. SE UTILIZA PARA GRANDES POTENCIAS (TANTO EN MÁQUINAS DE CC COMO DE CA (como bus del inversor))

Convertidores reversibles basados en rectificadores controlados I

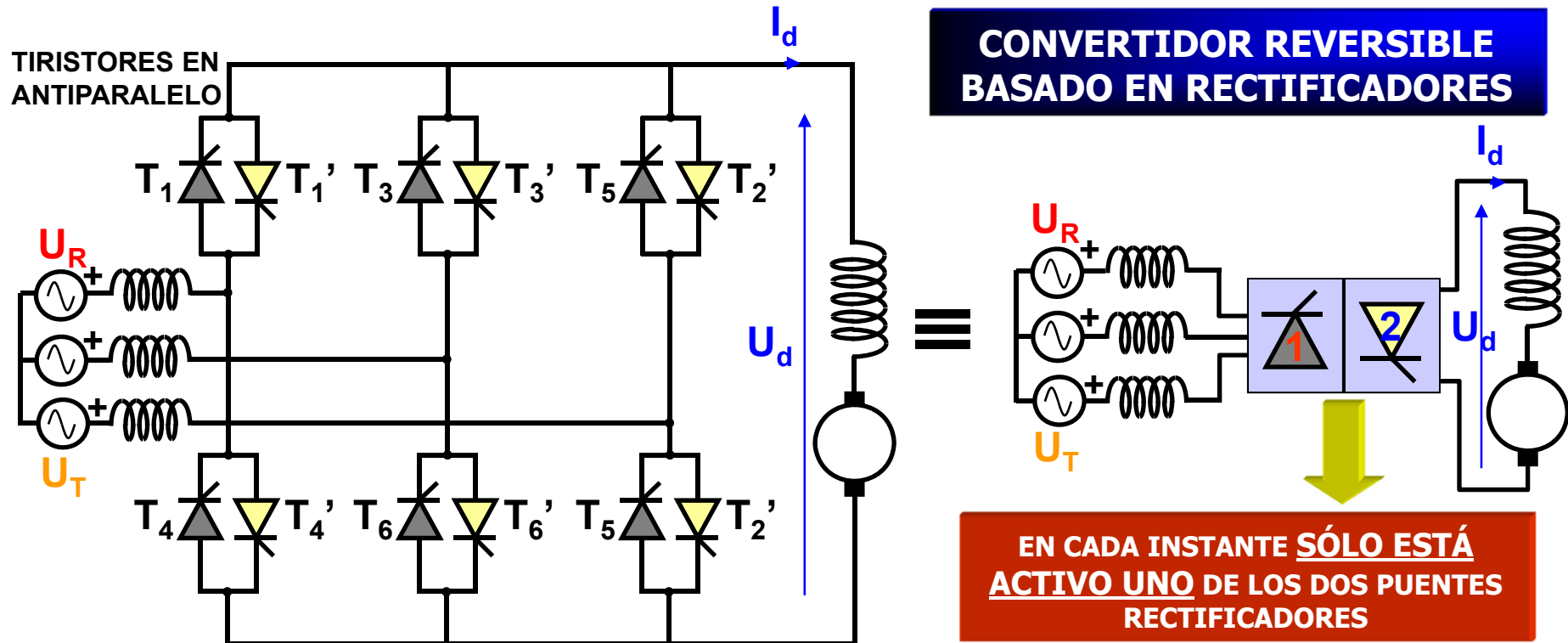
LOS RECTIFICADORES TRIFÁSICOS CONTROLADOS CONVENCIONALES PERMITEN LA CIRCULACIÓN DE CORRIENTE A TRAVÉS DE LA CARGA EN UN ÚNICO SENTIDO. NO PERMITEN TRABAJAR EN LOS CUATRO CUADRANTES SIN REALIZAR MONTAJES ADICIONALES PARA LA INVERSIÓN DE CAMPO O INDUCIDO



PARA CONSTRUIR CONVERTIDORES REVERSIBLES DE 4 CUADRANTES A PARTIR DE RECTIFICADORES CONTROLADOS ES NECESARIO MONTAR DOS Puentes EN ANTIPARALELO

CADA PUEBTE TRABAJA RECTIFICANDO O DEVOLVIENDO LA ENERGÍA A LA RED (ONDULADOR) DEPENDIENDO DEL PUNTO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

Convertidores reversibles basados en rectificadores controlados II

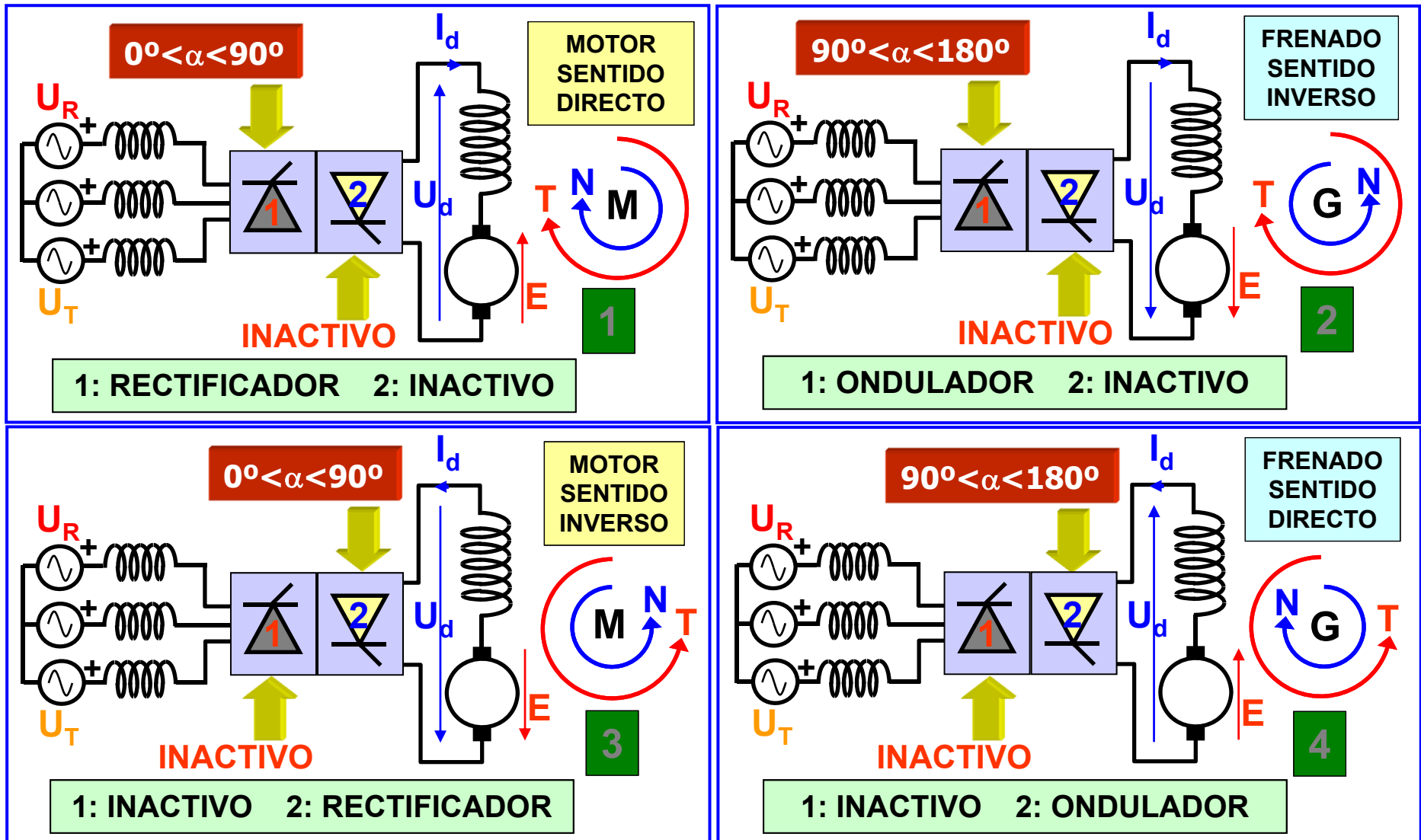


EL SISTEMA DE CONTROL DEL CONVERTIDOR CONTROLA LOS ÁNGULOS DE DISPARO DE CADA PUENTE EN FUNCIÓN DEL CUADRANTE DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR

LA CONMUTACIÓN ENTRE GRUPOS SE REALIZA DESPUÉS DE ANULAR LA CORRIENTE DE CARGA, SUPRIMIR LOS PULSOS DE CONTROL DEL GRUPO SALIENTE, Y ESPERAR EL BLOQUEO DE LOS TIRISTORES

ESTA ESTRUCTURA SE EMPLEA EN ACCIONAMIENTOS COMERCIALES DE ALTAS PRESTACIONES CON ALGORITMOS DE CONTROL SOFISTICADOS

Convertidores reversibles basados en rectificadores controlados III

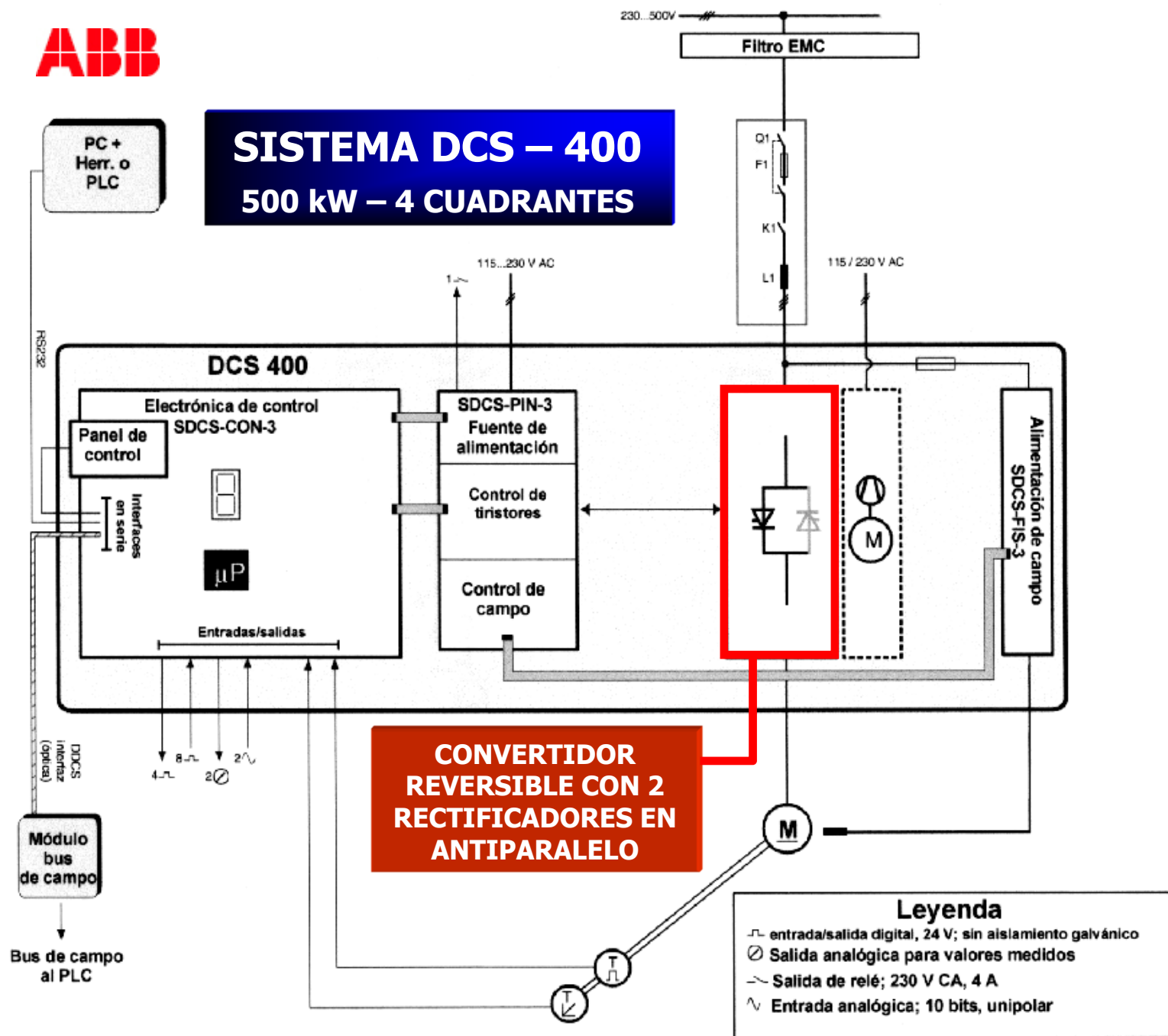




PC +
Herr. o
PLC

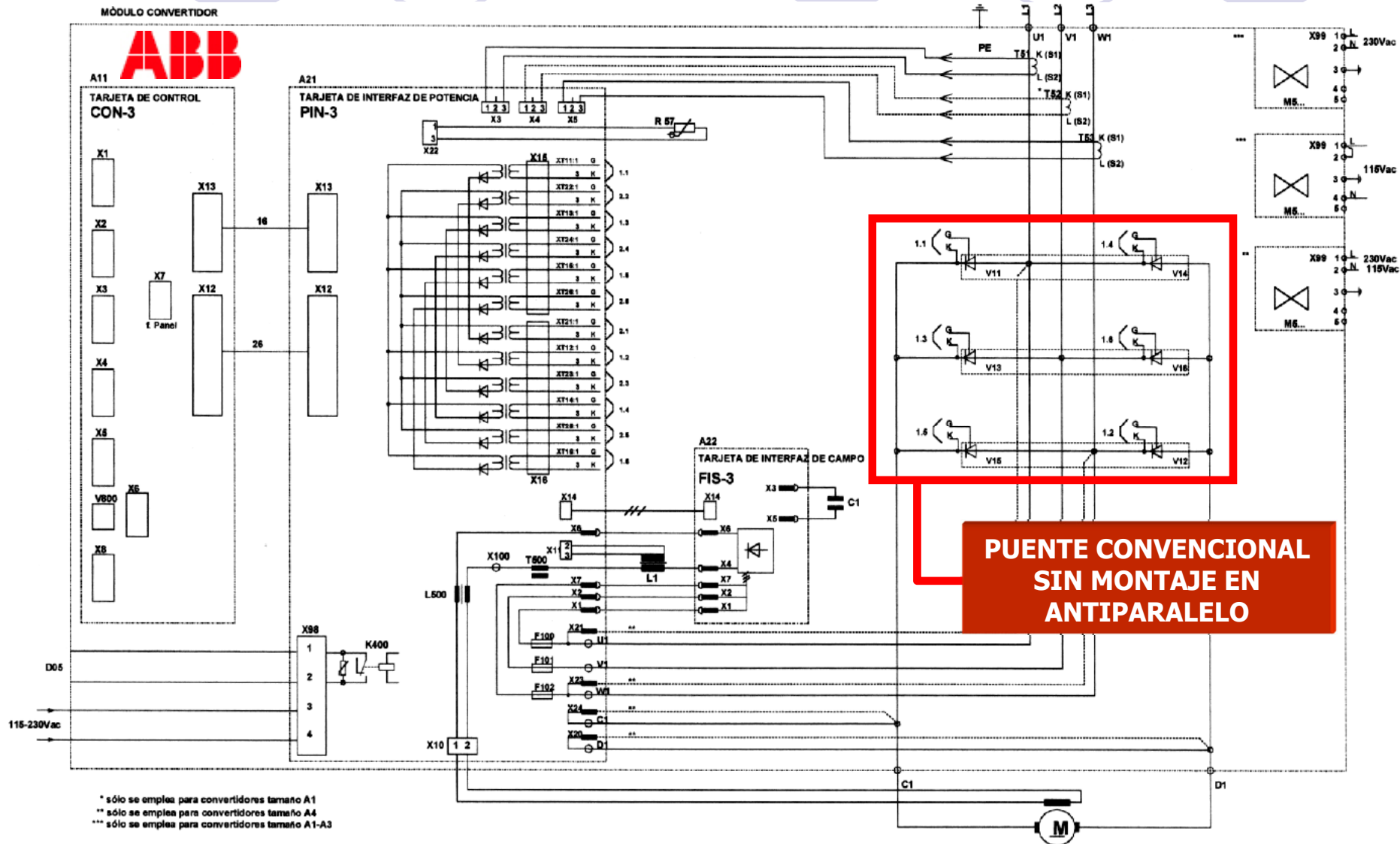
SISTEMA DCS – 400

500 kW – 4 CUADRANTES



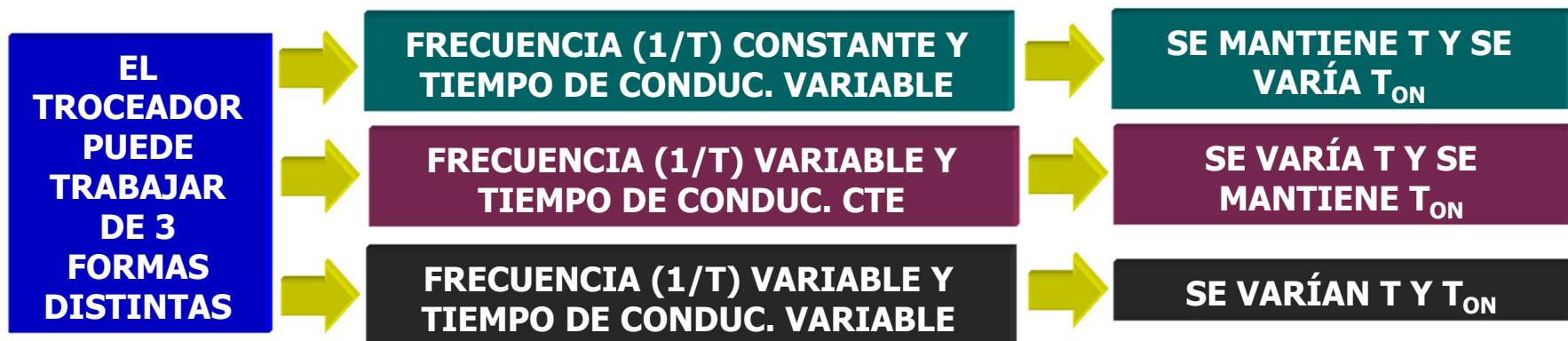
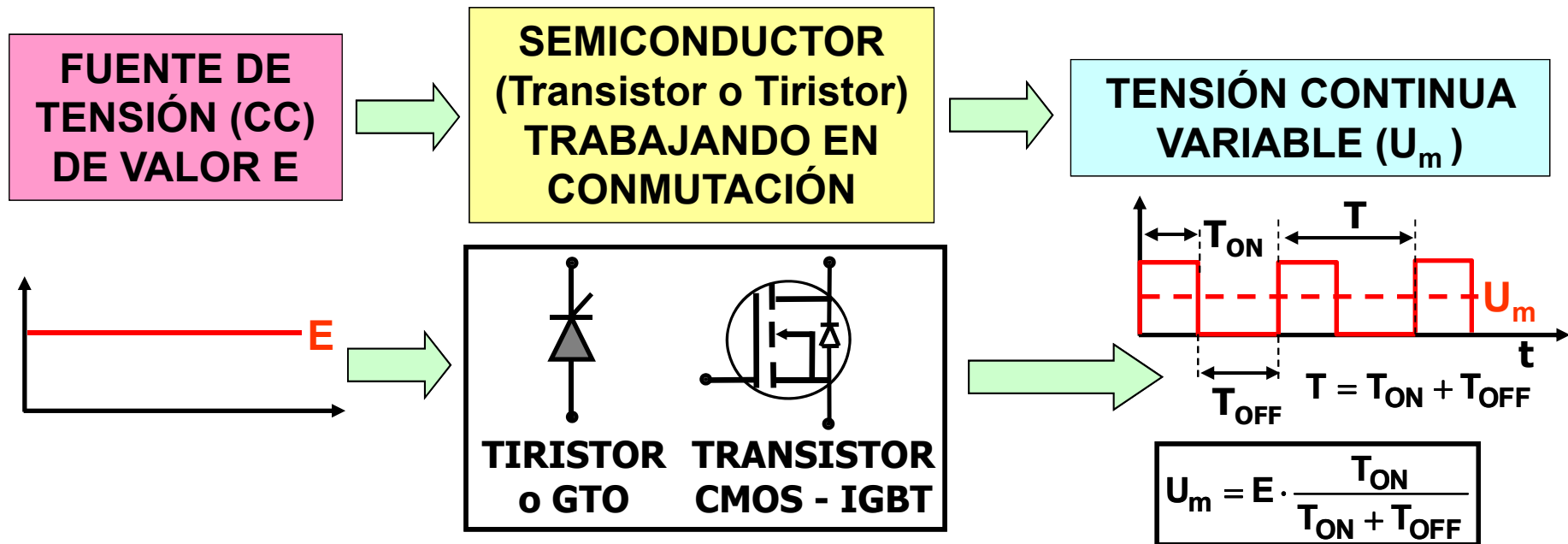
SISTEMA DCS – 400

500 kW – 2 CUADRANTES

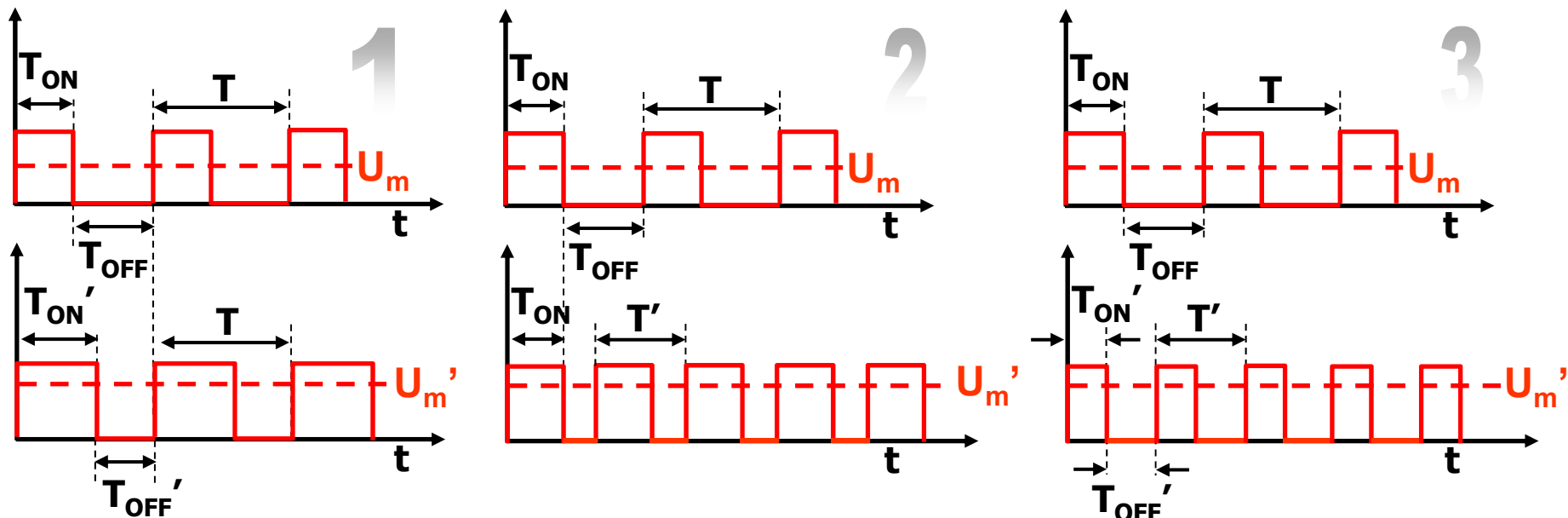




Troceadores ("Choppers") de un solo cuadrante I



Troceadores ("Choppers") de un solo cuadrante II



**FRECUENCIA ($1/T$)
CONSTANTE Y TIEMPO
DE CONDUCT. VARIABLE**

LOS PROCEDIMIENTOS
MÁS UTILIZADOS HABITU-
ALMENTE EN LA INDUS-
TRIA SON EL 1 Y EL 2

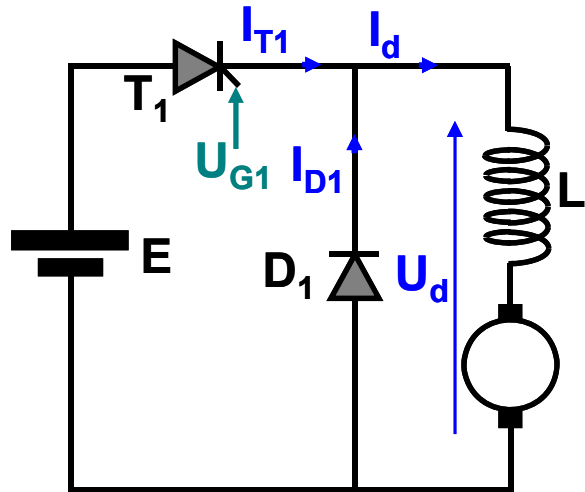
**FRECUENCIA ($1/T$)
VARIABLE Y TIEMPO DE
CONDUCT. CTE**

LOS INTERRUPTORES
SUELEN SER TIRISTORES
O GTO'S Y EN
ACCIONAMIENTOS
MODERNOS DE BAJA
POTENCIA IGBT's

**FRECUENCIA ($1/T$)
VARIABLE Y TIEMPO DE
CONDUCT. VARIABLE**

SUS FRECUENCIAS DE
CONMUTACIÓN NO
SUELEN SUPERAR 1 kHz
(tiristores) - 5 kHz (GTO'S)

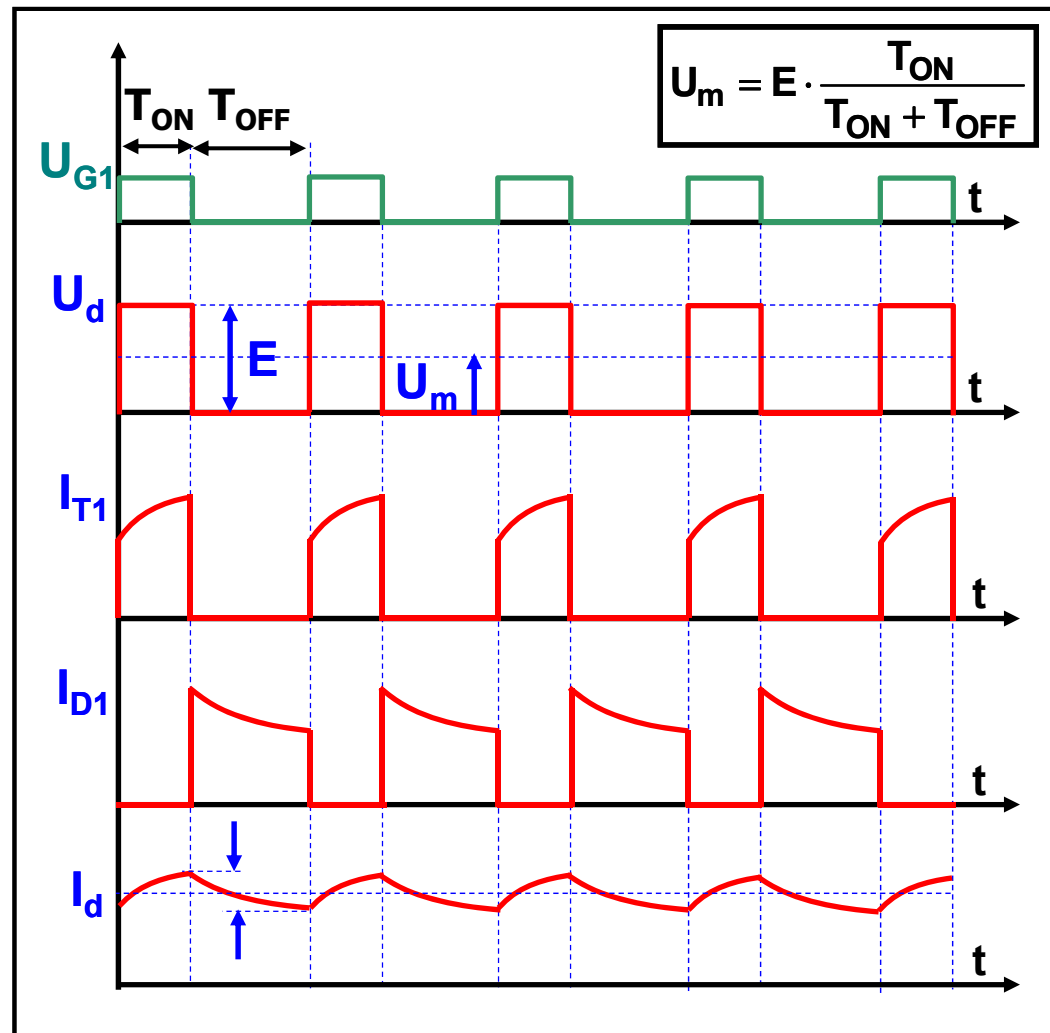
Troceadores ("*Choppers*") de un solo cuadrante III



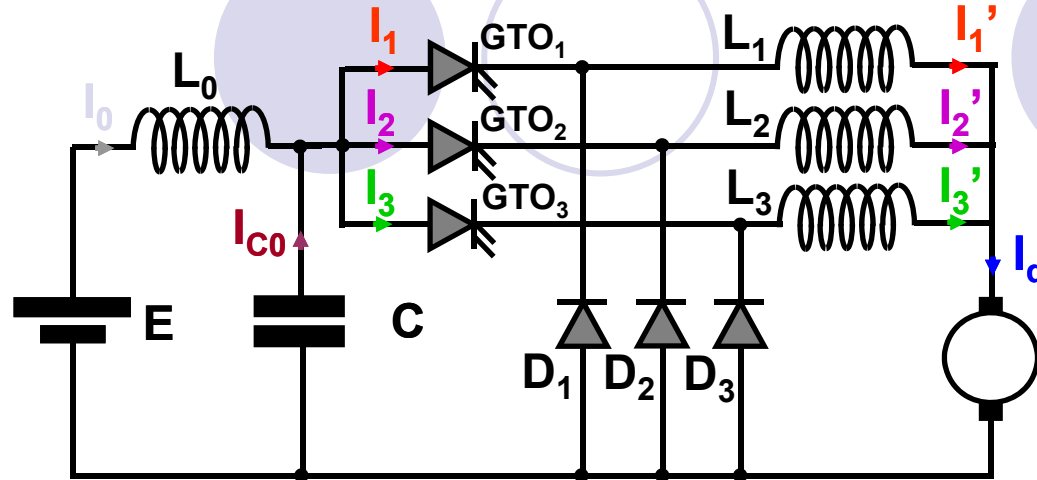
DURANTE EL TIEMPO DE CONDUCCIÓN DEL TIRISTOR LA TENSIÓN QUE SOPORTA LA CARGA ES E CUANDO NO CONDUCE ES 0

CUANDO EL TIRISTOR NO CONDUCE LA CORRIENTE DEL MOTOR SE MANTIENE GRACIAS A L Y/O A LA INDUCTANCIA DEL MOTOR

A > INDUCTANCIA Y FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN < ES EL RIZADO DE LA CORRIENTE DEL MOTOR



TROCEADOR ENTRELAZADO

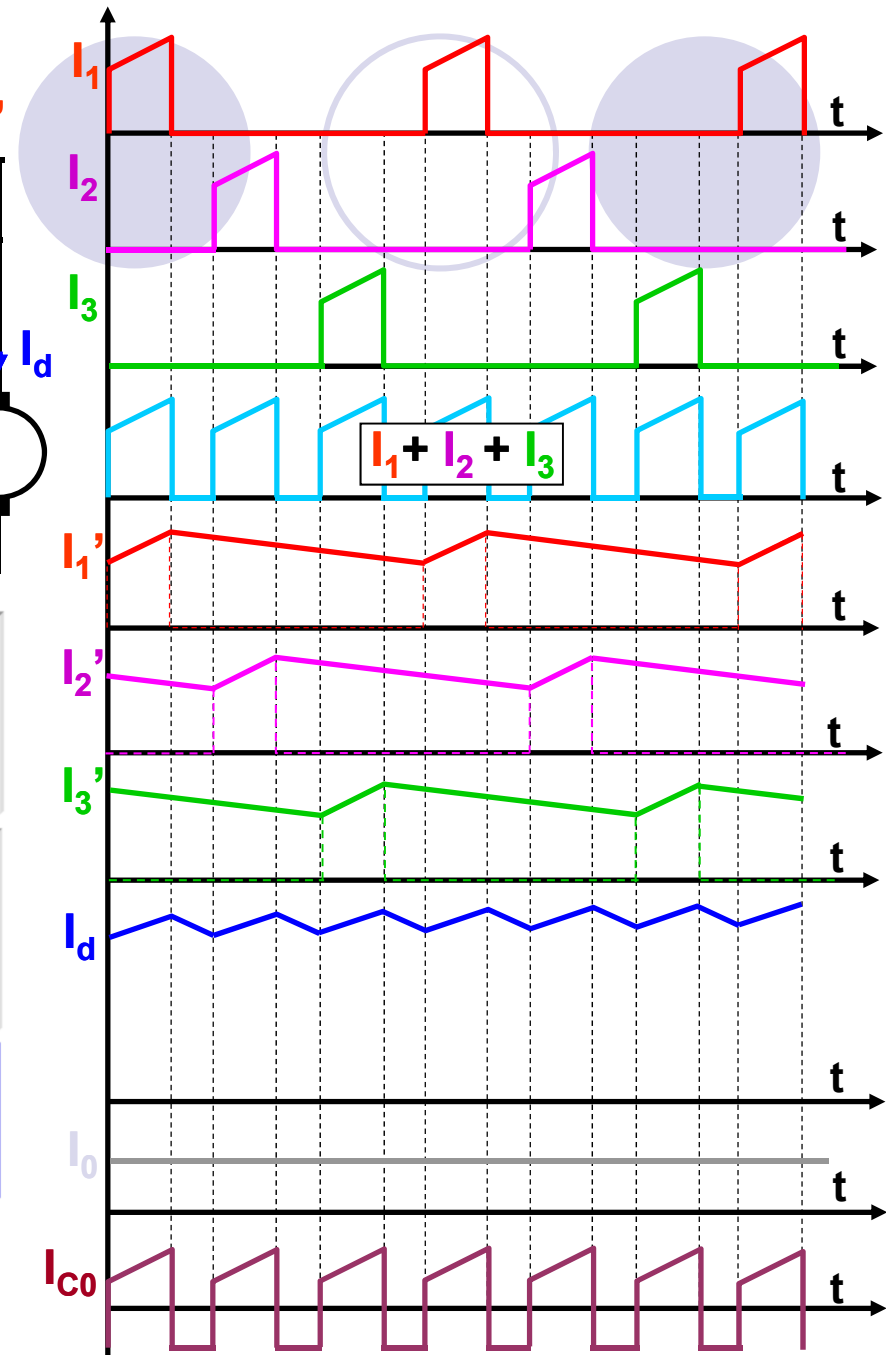


PARA MEJORAR EL RIZADO A LA SALIDA DEL TROCEADOR MANTENIENDO UNA BAJA FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN SE UTILIZAN LOS TROCEADORES ENTRELAZADOS

LOS SEMICONDUCTORES CONMUTAN A BAJA FRECUENCIA, SIN EMBARGO LAS TENSIONES Y CORRIENTES CONMUTADAS QUE PRODUCEN SE SUPERPONEN

EL RESULTADO FINAL ES UNA ONDA CON UN RIZADO MUCHO MÁS BAJO SIN NECESIDAD DE ELEVARE LAS REACTANCIAS O LA FRECUENCIA DE CONMUTACIÓN

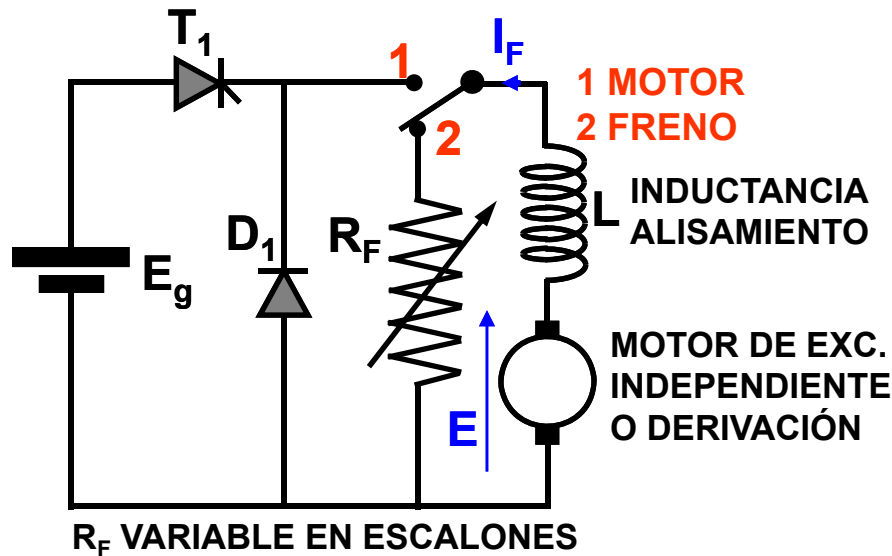
EL MONTAJE ES EQUIVALENTE A 3 TROCEADORES DE UN SOLO CUADRANTE CONECTADOS EN PARALELO



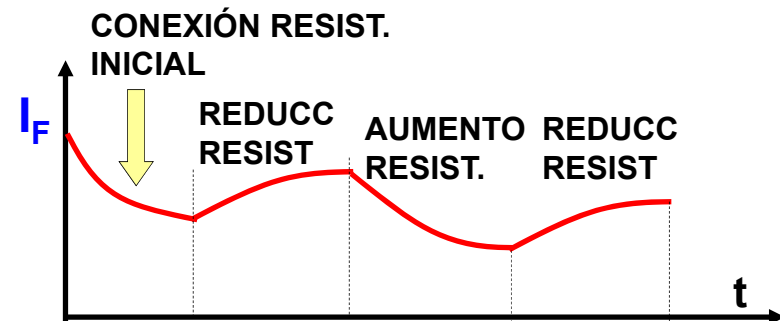
Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores I



Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores II

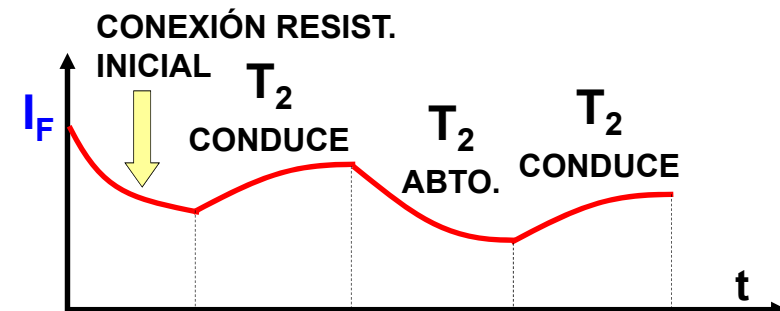
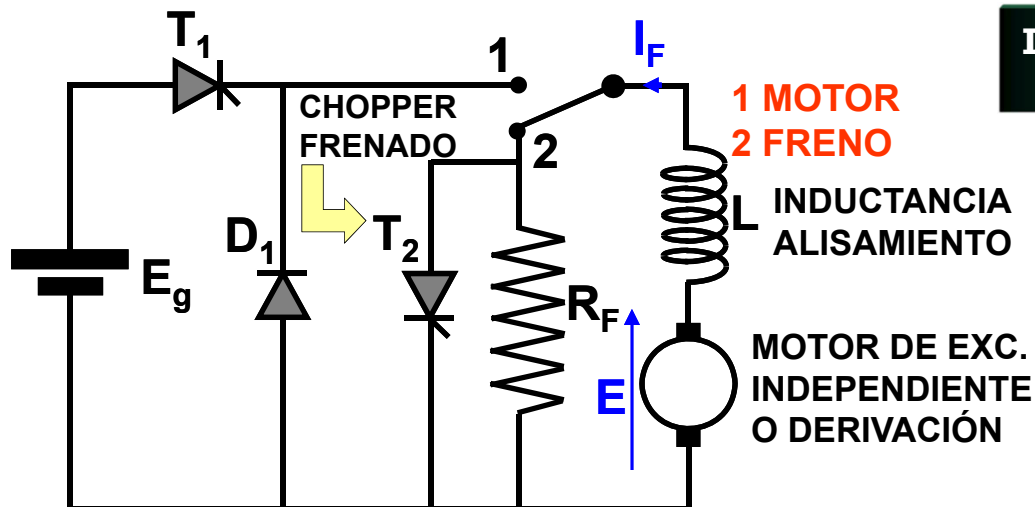


FRENADO REOSTÁTICO

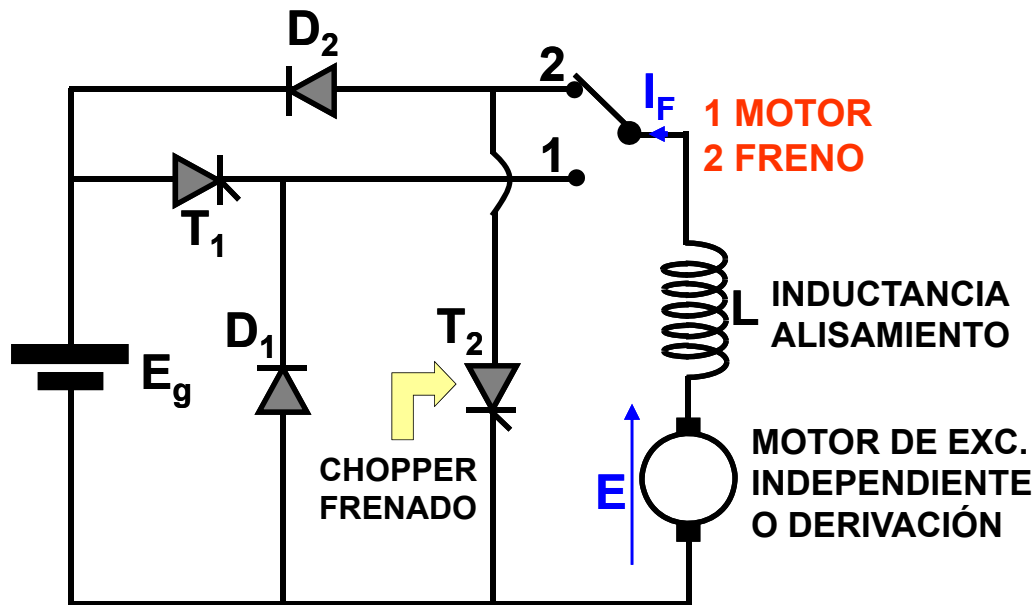


EL PAR DE FRENADO ES PROPORCIONAL A I_F

I_F SE CONTROLA VARIANDO LOS ESCALONES DE RESISTENCIA O CON UN "CHOPPER"



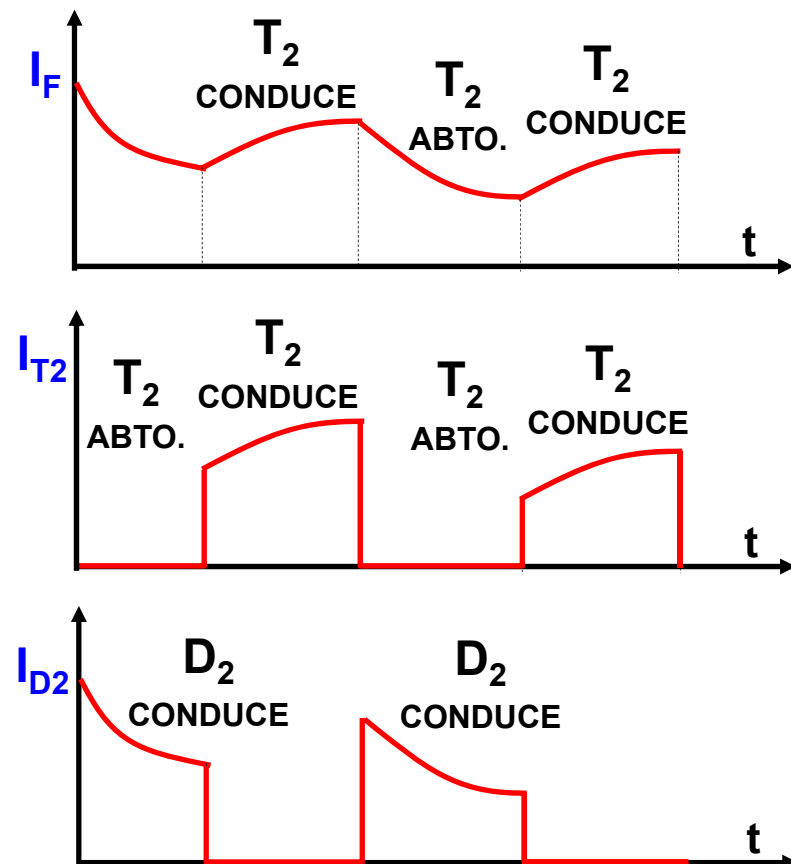
Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores III



LA ENERGÍA GENERADA POR EL MOTOR DURANTE EL PROCESO SE CONTROLA MEDIANTE UN SEGUNDO TROCEADOR Y SE DEVUELVE A LA RED DE ALIMENTACIÓN

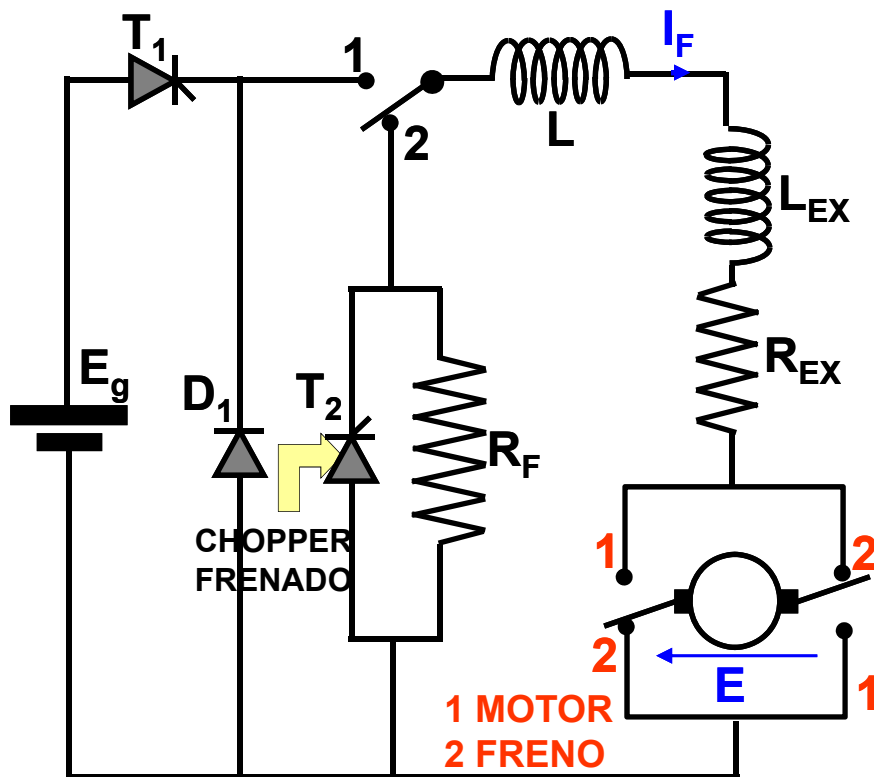
ESTE SISTEMA DE FRENADO ES TÍPICO DE LAS MÁQUINAS DE TRACCIÓN ELÉCTRICA: LOCOMOTORAS, VEHÍCULOS ELÉCTRICOS, ETC.

FRENADO REGENERATIVO



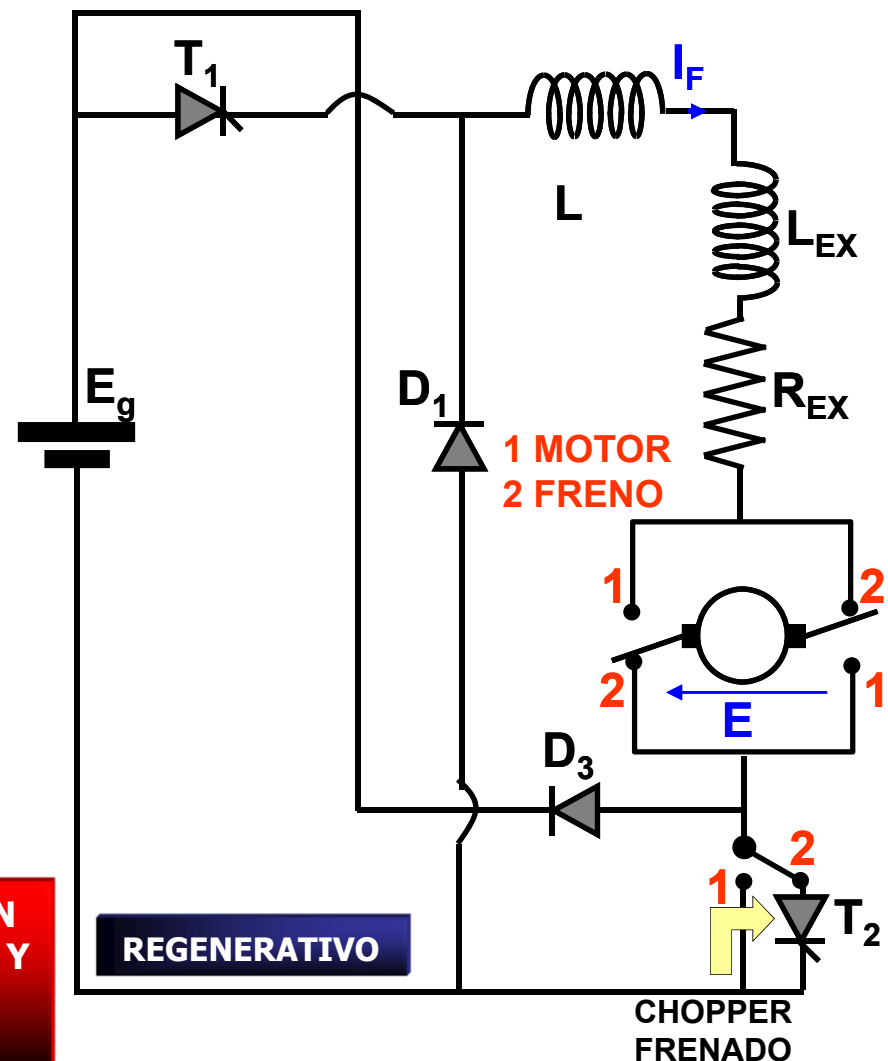
Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores IV

FRENADO DEL MOTOR SERIE



REOSTÁTICO

ESTOS MONTAJES INVIERTEN LA CORRIENTE DE INDUCIDO Y MANTIENEN LA DE CAMPO DURANTE EL FRENADO

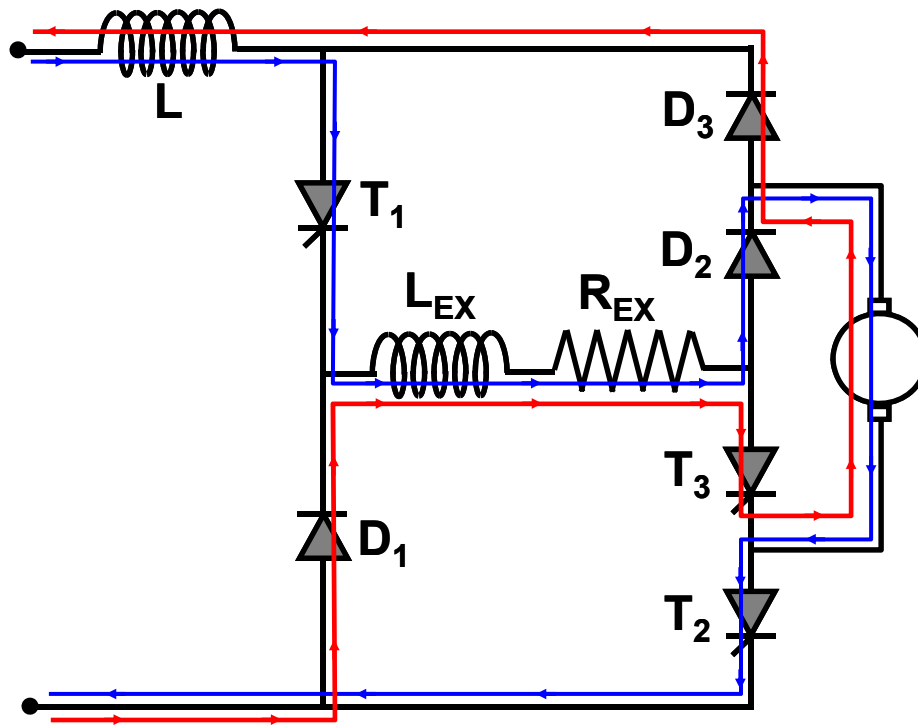


REGENERATIVO

CHOPPER FRENADO

Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores V

CONMUTACIÓN ESTÁTICA (SIN CONTACTORES)



Funcionamiento en tracción

- Conducen T_1 y T_2
- El circuito se cierra por D_2 y el inducido del motor

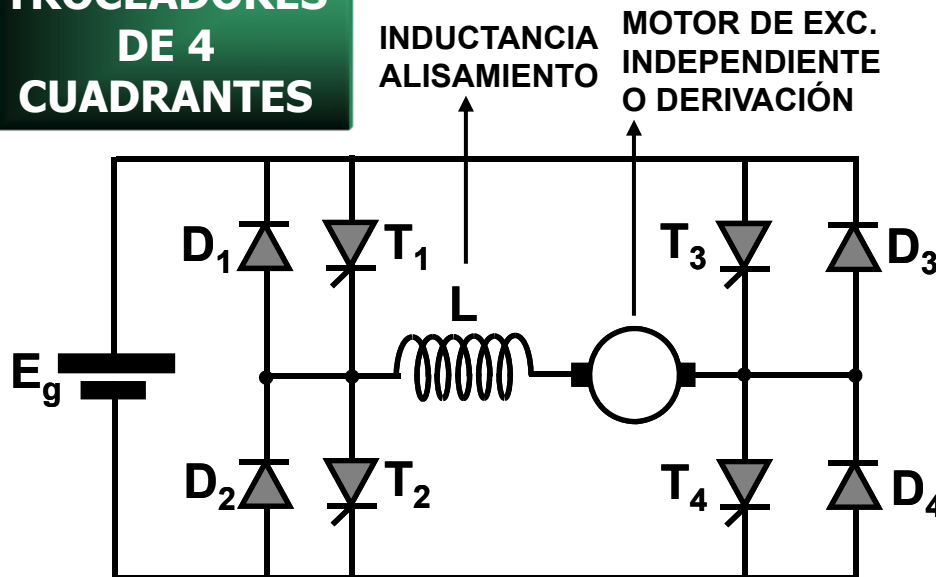
Funcionamiento en frenado

- Conduce T_3
- El circuito se cierra por D_3 , el inducido del motor y D_1
- La corriente por el devanado de excitación mantiene su ref.
- La corriente de inducido cambia de ref.

Mediante el manejo de los semi-conductores es posible conmutar las conexiones del inducido SIN UTILIZAR CONTACTORES

Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores VI

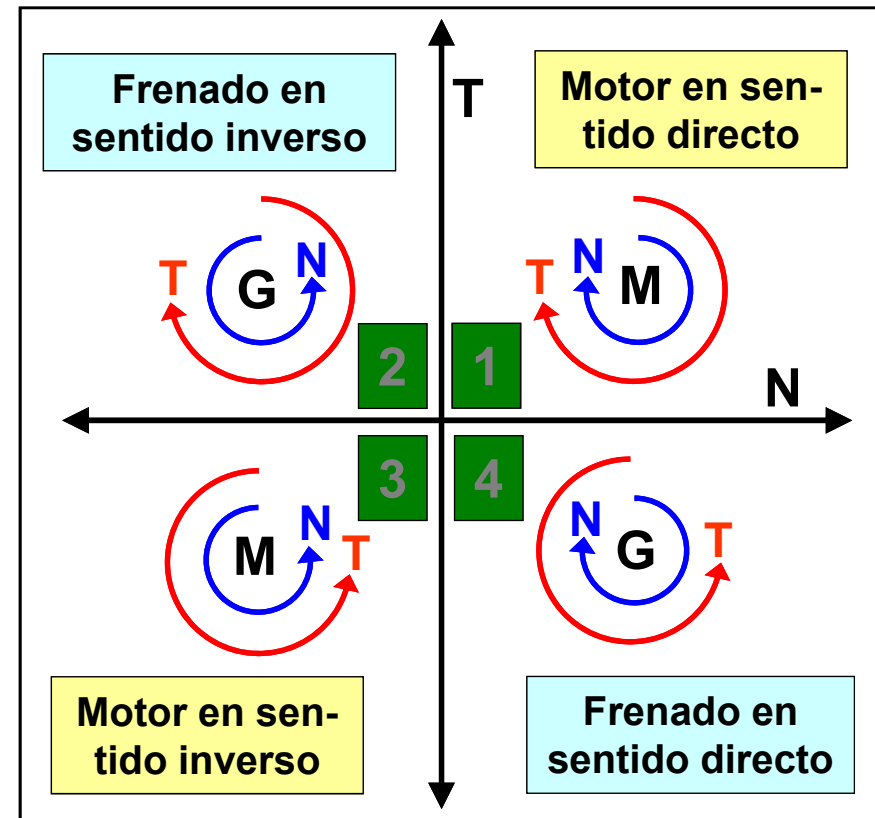
TROCEADORES DE 4 CUADRANTES



ESTE MONTAJE PERMITE TRABAJAR EN LOS 4 CUADRANTES (2 sentidos como motor o generador)

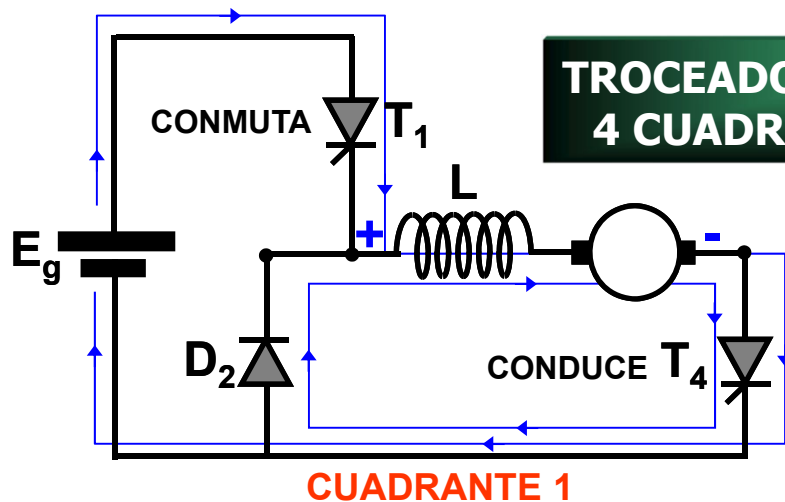
LOS SEMICONDUCTORES PUEDEN SER TIRISTORES, GTO's O TRANSISTORES DE CMOS O IGBT's SI LA POTENCIA ES BAJA

EN LOS CUADRANTES 1 Y 3 TRABAJAN DOS TIRISTORES (uno en conducción y otro conmutando) Y UN DIODO



EN LOS CUADRANTES 2 Y 4 TRABAJAN DOS DIODOS Y UN TIRISTOR (conmutando)

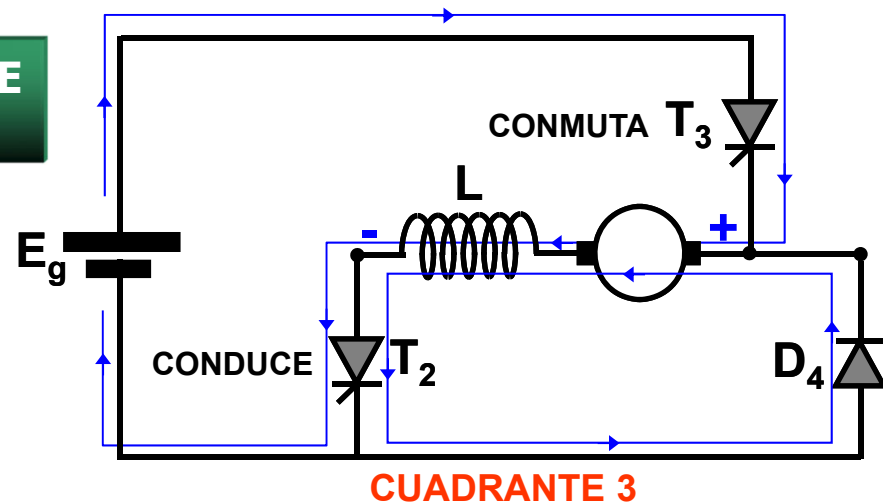
Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores VII



CUADRANTE 1

Funcionamiento cuadrante 1

- T_4 conduce todo el tiempo
- T_1 conmuta troceando
- En los instantes en que T_1 no conduce la corriente circula a través del diodo D_2

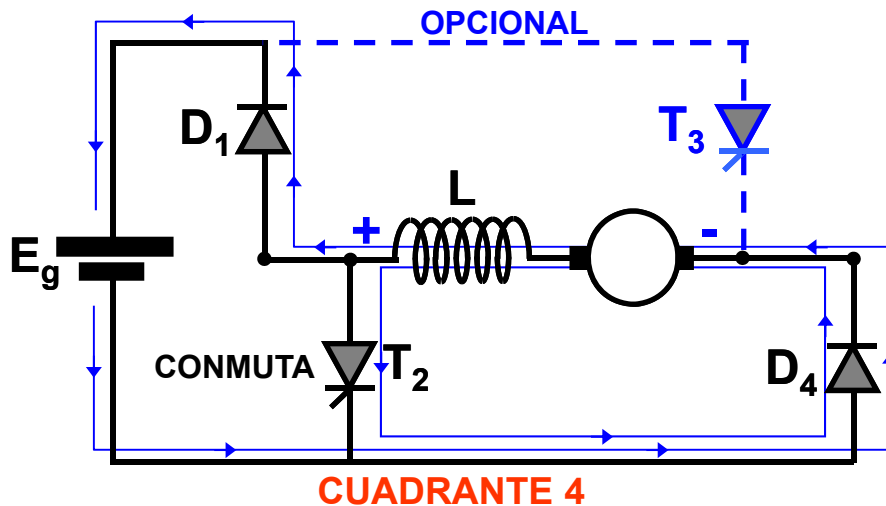


CUADRANTE 3

Funcionamiento cuadrante 3

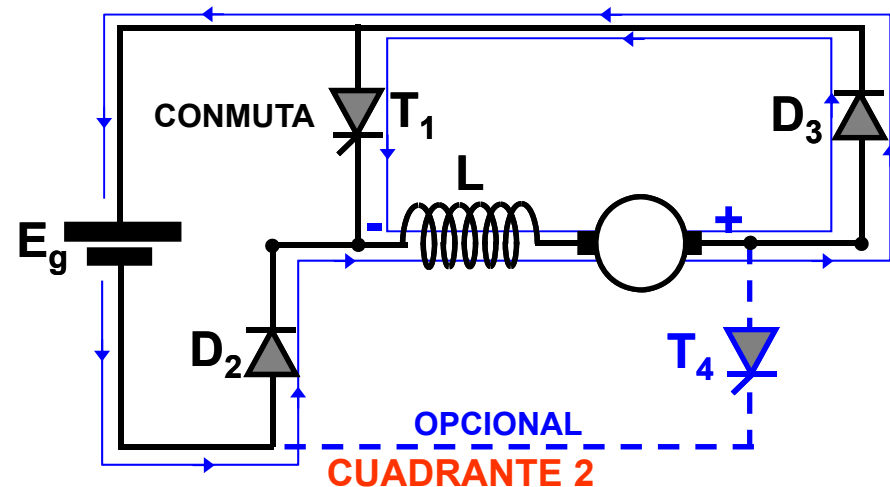
- T_2 conduce todo el tiempo
- T_3 conmuta troceando
- En los instantes en que T_3 no conduce la corriente circula a través del diodo D_4

Frenado y reversibilidad de accionamientos con troceadores VIII



Funcionamiento cuadrante 4

- D_1 y D_4 conducen: la energía se devuelve a la red o se disipa en resistencias
- T_2 se utiliza en conmutación para controlar la corriente de frenado
- Opcionalmente, T_3 podría desarrollar la misma función que T_2



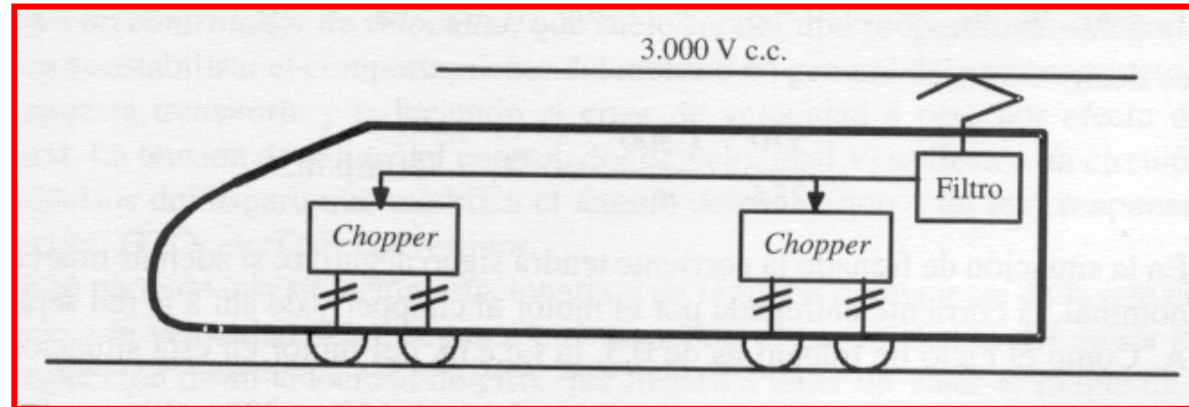
Funcionamiento cuadrante 2

- D_2 y D_3 conducen: la energía se devuelve a la red o se disipa en resistencias
- T_1 se utiliza en conmutación para controlar la corriente de frenado
- Opcionalmente, T_4 podría desarrollar la misma función que T_1

Criterios de selección para accionamientos electrónicos de motores de CC

	TROCEADOR UNIDIRECCIONAL (TRANSISTORES)	TROCEADOR REVERSIBLE (TRANSISTORES)	TROCEADOR UNIDIRECCIONAL TIRISTORES (FREC VAR)	TROCEADOR REVERSIBLE A TIRISTORES (FREC. FIJA.)
Baja potencia, montaje económico	Pequeños vehículos: carretillas eléctricas			
Baja potencia, prestaciones elevadas	Máquina herramienta y servomecanismos de altas prestaciones			
Potencia media, montaje económico	Vehículos eléctricos de tamaño medio (alimentados por baterías)			
Potencia media, prestaciones dinámicas	Máquinas de tracción con frenado por recuperación			
Gran potencia	Locomotoras y navíos (hoy en desuso)			

Aplicación de los choppers a la tracción eléctrica española I



De forma simplificada se muestra el esquema eléctrico de un coche motor de la unidad de tren S/446 de Renfe para cercanías como ejemplo de un sistema de tracción eléctrica que utiliza choppers. Este tren se ajusta a la composición Mc-T-Mc, es decir, tiene dos coches motores y un remolque. La catenaria tiene una tensión de 3.000 V respecto al carril. En cada bogies del coche motor existen dos motores de c.c. de 4 polos de 300 kW de potencia, y como hay cuatro bogies en cada coche motor, se tiene una potencia total instalada de 2.400 kW.

EL chopper de tracción tiene una frecuencia nominal de 300 Hz (aunque funciona en saltos de 75-150 y 300 Hz) para tener en cuenta las condiciones de arranque. El sistema incorpora también un chopper de frenado a 600 Hz que introduce una resistencia eléctrica para disipación de energía reostática y un filtro de entrada del pantógrafo para eliminar lo más posible los armónicos de red, que consiste en una inductancia de núcleo de aire de 17 mH y un condensador de 600 mF. Diseñado para velocidades máximas de solo 100 km/h. Aceleración=0.7 m/s², deceleración máxima= 0,7 m/s² solamente con freno eléctrico y 1 m/s² con freno combinado.



Aplicación de los choppers a la tracción eléctrica española II

La serie 5.500 del Metro de Madrid se alimenta por una catenaria de 600 V de c.c. con motores de tracción (1 bogie) AEG-ABS 3324, con una potencia continua de 211 kW (a 1.900 r.p.m.) y una potencia unihoraria de 235 kW (a 1.825 r.p.m.): El chopper de tracción es del tipo AEG-1.200 A., con frecuencia nominal asignada de 250 Hz. El filtro de red está formado por una inductancia $L=2$ mH y un condensador $C=30$ mF. El freno eléctrico es de recuperación y está combinado con frenado reostático. La velocidad máxima del tren es de 70 km/h, con una aceleración-deceleración de $1,05$ m/s².