

TEMA 16. CONVERTIDORES CC/AC.

16.1. INTRODUCCIÓN

16.1.1. Armónicos

16.1.2. Conexión de un Convertidor CC/AC

16.1.3. Clasificación

16.2. INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL

16.3. INVERSOR MONOFÁSICO EN PUENTE COMPLETO

16.4. INVERSOR TRIFÁSICO

16.4.1. Tensión en el Neutro

16.4.2. Armónicos

16.4.3. Espacio de Estados

16.5. OTROS INVERSORES

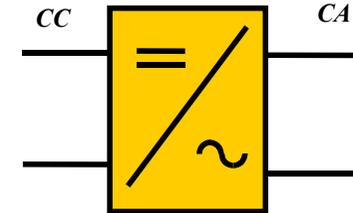
16.5.1. Inversor con Fuente de Corriente

16.5.2. Inversores de tres niveles

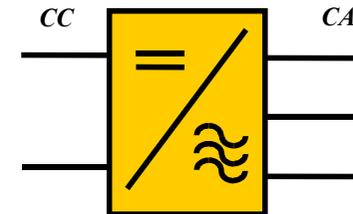
16.5.3. Inversores Multinivel

INTRODUCCIÓN

Símbolos para la Representación de Convertidores CC/CA (Inversores)



(a) Inversor Monofásico.



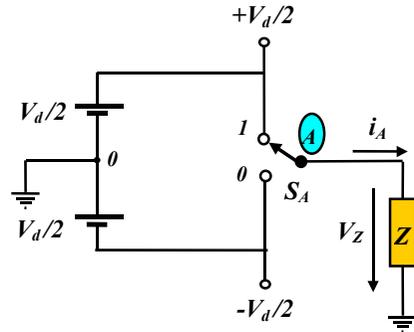
(b) Inversor Trifásico

APLICACIONES:

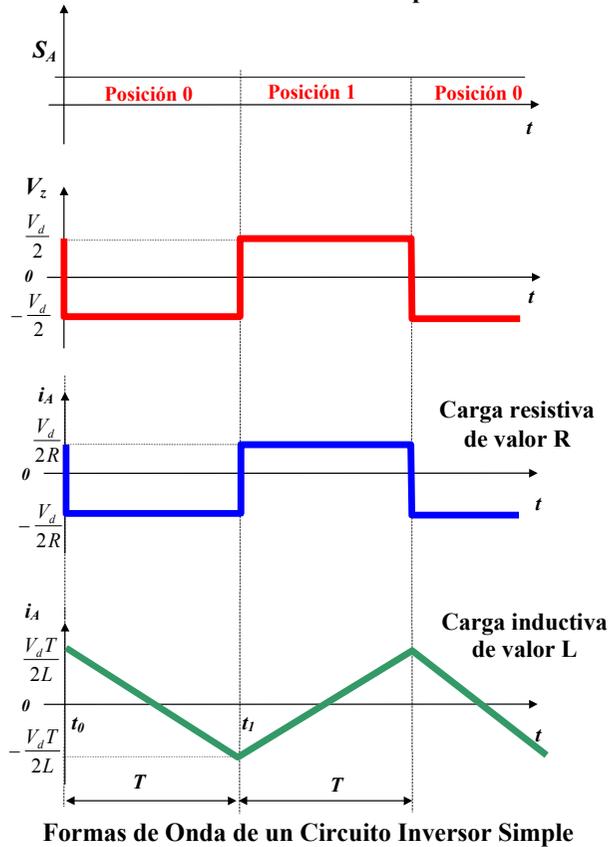
- **Actuadores para motores de corriente alterna.** Permite variar la tensión y la frecuencia de estos motores.
- **Fuentes de alimentación ininterrumpida (UPS).** Genera una tensión senoidal a partir de una batería con el fin de sustituir a la red cuando se ha producido un corte en el suministro eléctrico.
- **Generación fotovoltaica.** Genera la tensión senoidal de 50Hz a partir de una tensión continua producida por una serie de paneles fotovoltaicos.

En este tema, se considerará únicamente el funcionamiento a **bajas frecuencias**, es decir: los interruptores conmutando a la frecuencia de la red.

INTRODUCCIÓN

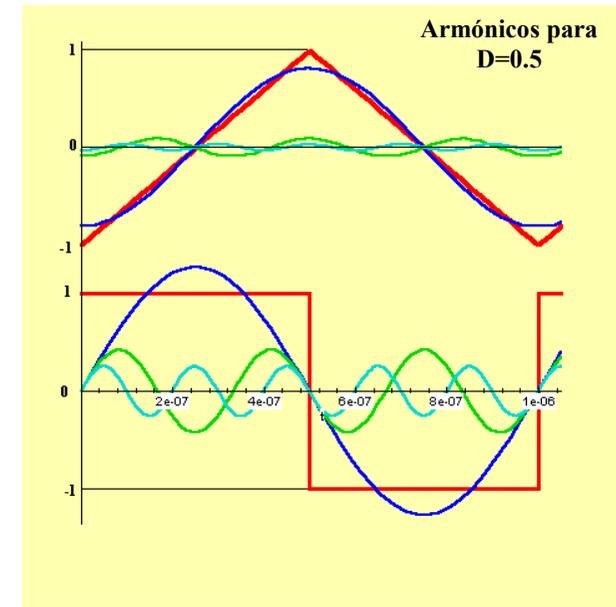


Circuito Inversor Simple

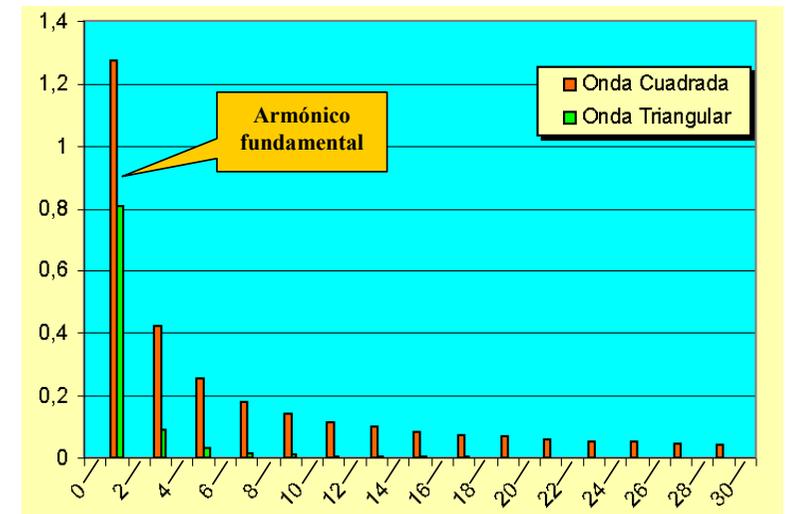


Formas de Onda de un Circuito Inversor Simple

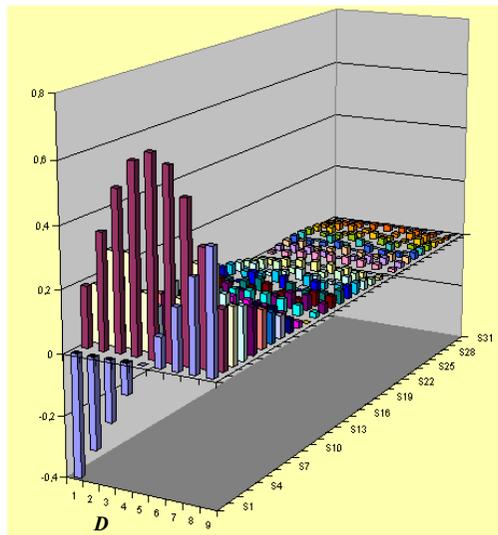
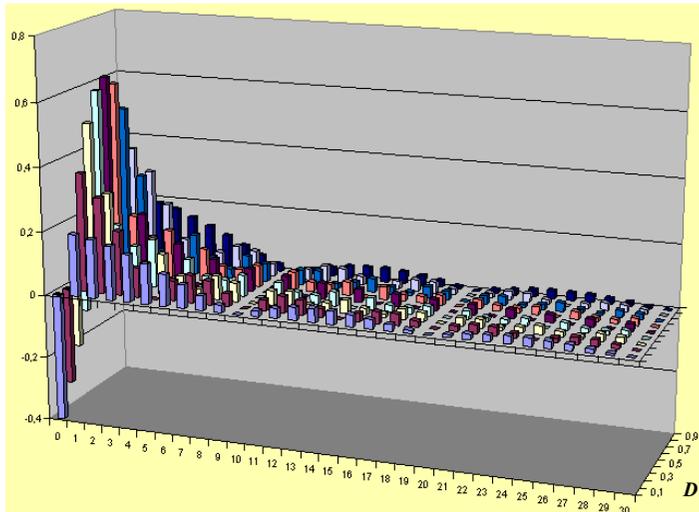
INTRODUCCIÓN. Armónicos



Armónicos de ondas cuadrada y triangular

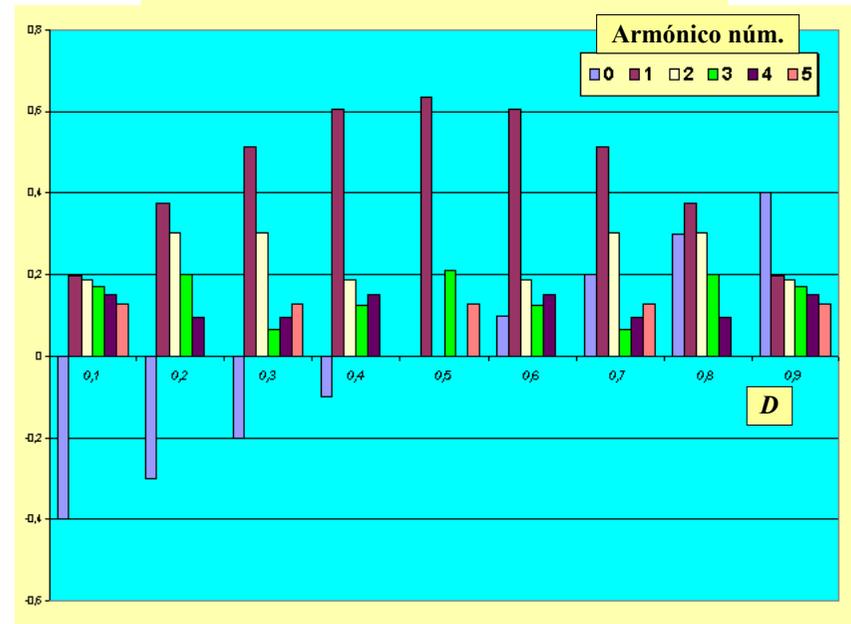
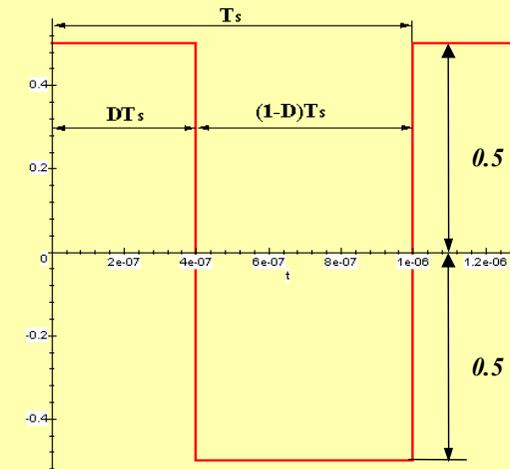


INTRODUCCIÓN. Armónicos



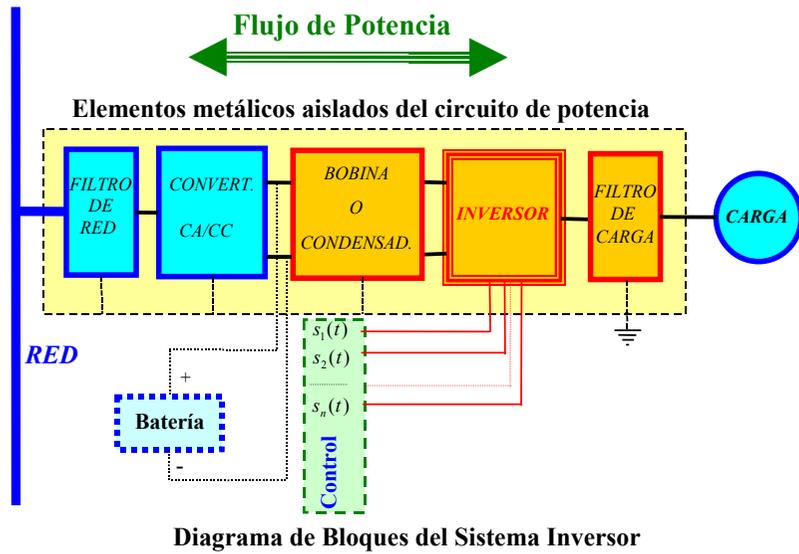
Armónicos en una Onda Cuadrada de amplitud $\pm \frac{1}{2}$ en función de D

INTRODUCCIÓN. Armónicos

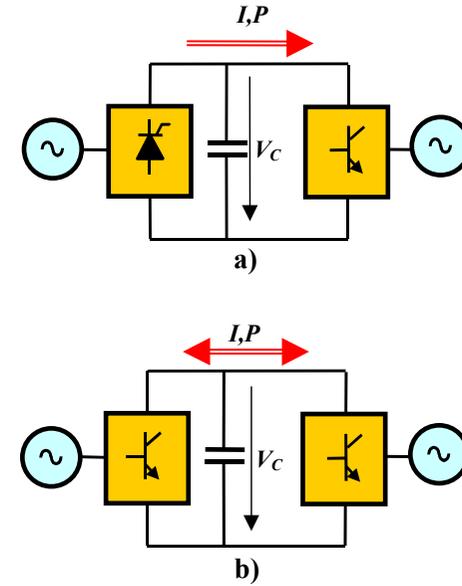


Armónicos 0 a 5 de una Onda Cuadrada de amplitud $\pm \frac{1}{2}$ en función de D

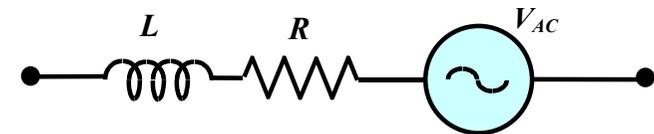
INTRODUCCIÓN. Conexión de un Convertidor CC/AC



INTRODUCCIÓN. Conexión de un Convertidor CC/AC



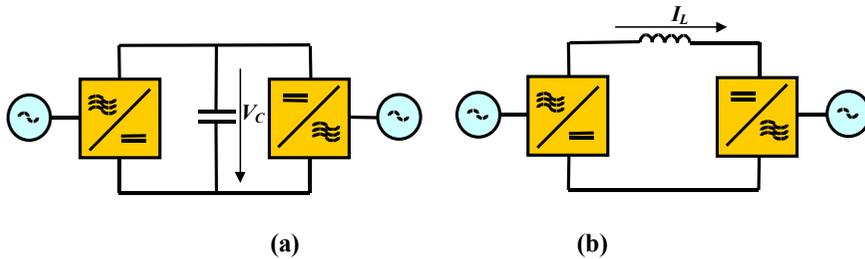
Circuito de Alimentación de Inversores. (a) Alimentación Mediante un Rectificador Controlado. (b) Alimentación Mediante Otro Inversor



Modelo por Fase de la Carga del Inversor

INTRODUCCIÓN. Clasificación

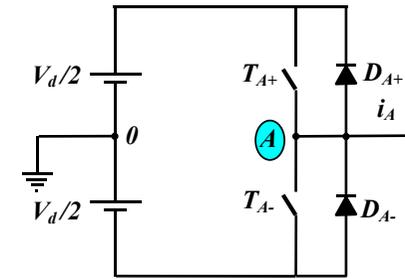
- Inversores con fuente de corriente (CSI).
- Inversores con fuente de tensión (VSI).



Inversores con: (a) Fuente de Tensión (VSI). (b) Fuente de Corriente (CSI)

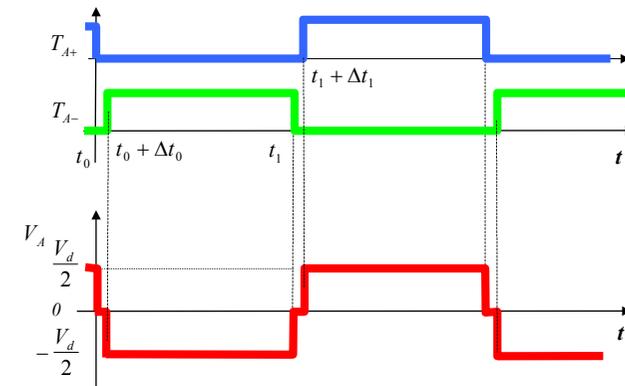
- Inversores de baja frecuencia (onda cuadrada).
- Inversores de alta frecuencia (modulación por anchura de pulsos).
- Inversores de transistores bipolares.
- Inversores de MOSFET's.
- Inversores de IGBT's.
- Inversores de tiristores.
- Inversores de GTO's.
- Inversores no resonantes.
- Inversores resonantes.
- Medio puente o batería con toma media.
- Transformador con toma medio o Push-Pull.
- Puente completo monofásico.
- Puente trifásico.

INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL



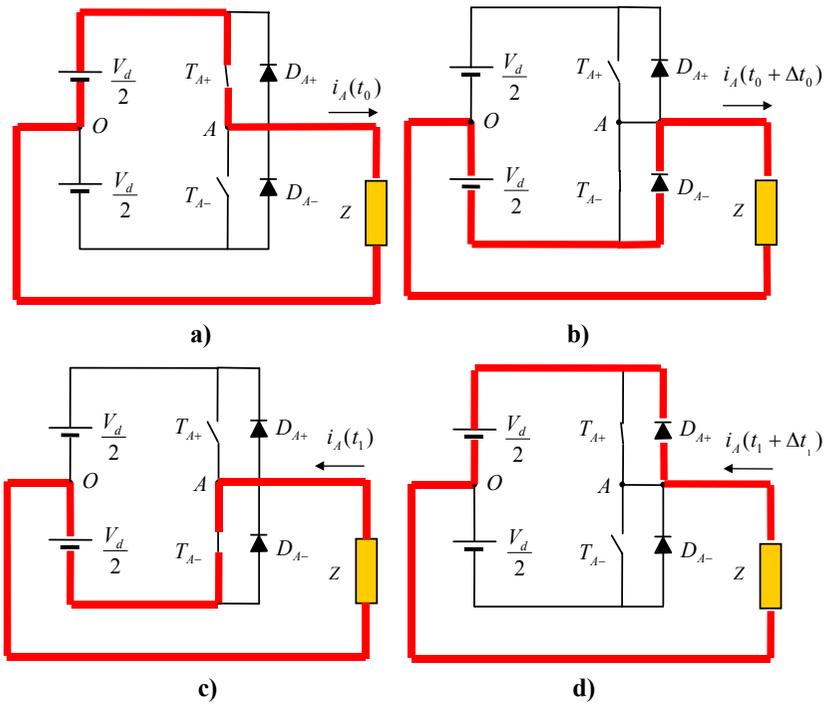
Inversor en Medio Puente

- t_0 , instante de tiempo en el que se abre el interruptor T_{A+} .
- $t_0 + \Delta t_0$ instante de tiempo en el que se cierra el interruptor T_{A-} .
- t_1 , instante de tiempo en el que se abre en interruptor T_{A-} .
- $t_1 + \Delta t_1$ instante de tiempo en el que se cierra el interruptor T_{A+} .
- Δt_0 y Δt_1 son los tiempos muertos (generalmente coinciden).



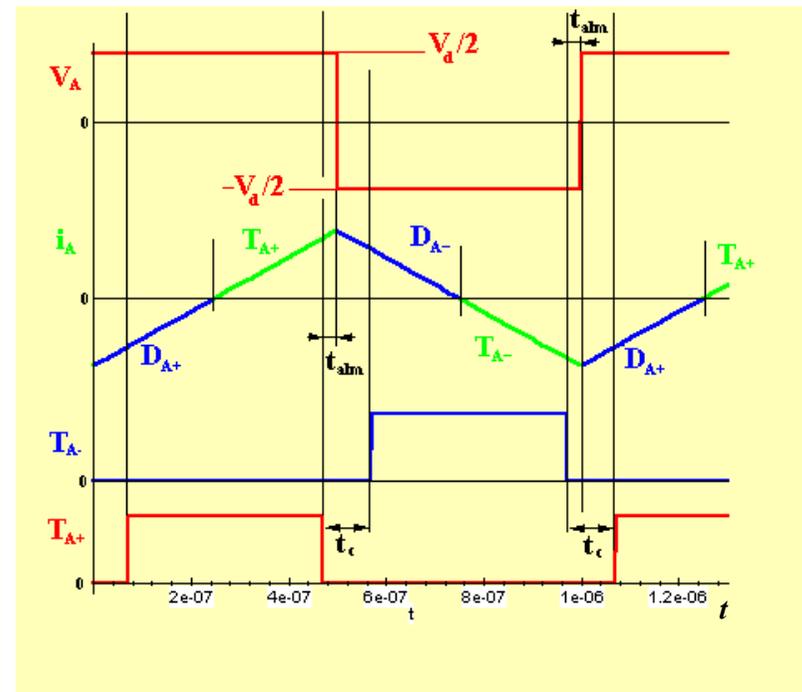
Formas de Onda del Inversor Medio Puente con Carga Resistiva

INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL



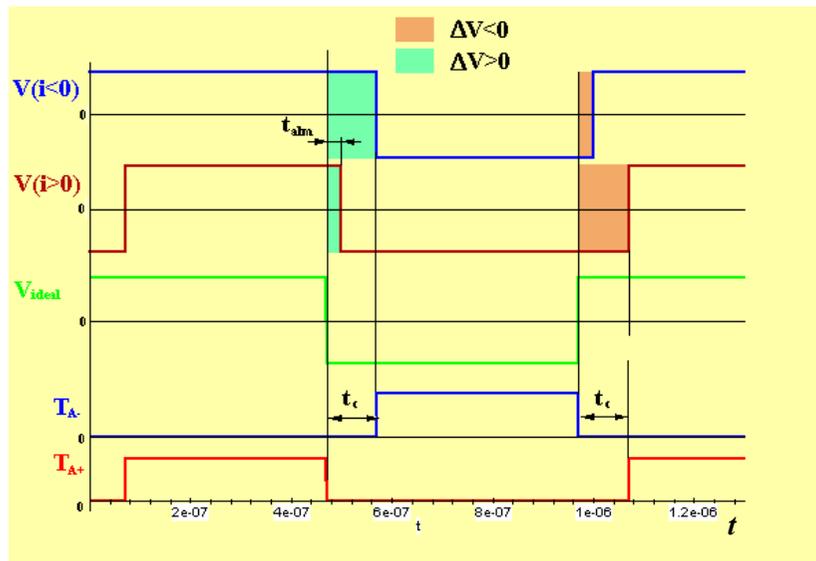
Circuitos Equivalentes durante los Intervalos de Funcionamiento del Inversor en Medio Puente

INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL



Formas de Onda de Tensión y Corriente de un Inversor Medio Puente con Carga Inductiva considerando tiempos muertos y tiempos de almacenamiento de los interruptores

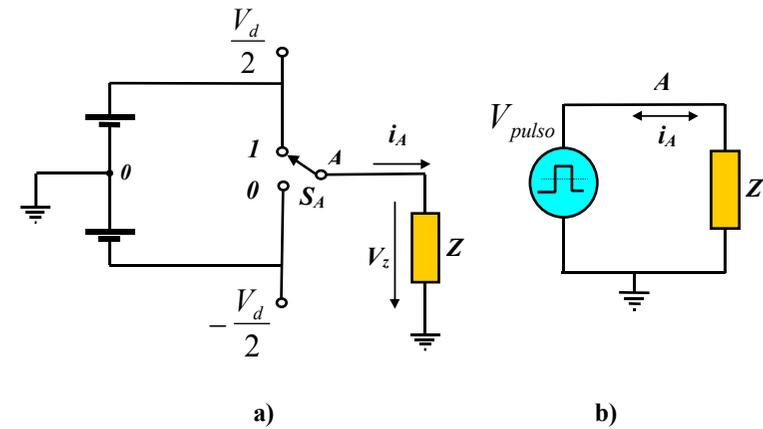
INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL



Efecto de los Tiempos Muertos en la Pérdida de Tensión en la Carga cuando la corriente no cambia de signo

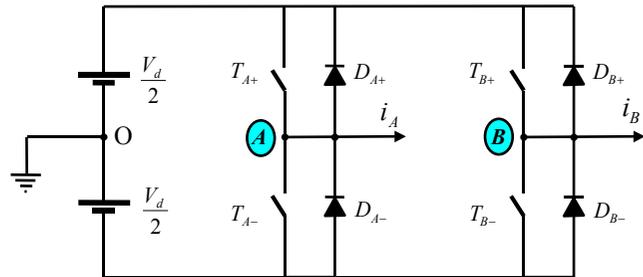
$$\Delta V_A = -V_d \frac{t_c - t_{alm}}{T_S} \text{sig}(i_A)$$

INVERSOR MEDIO PUENTE. RAMA ELEMENTAL

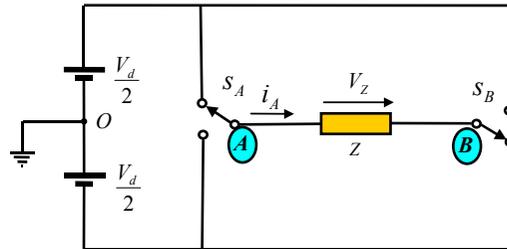


Circuitos Simplificados del Inversor en Medio Puente:
a) Como Conmutador. b) Como Fuente de Onda Cuadrada

INVERSOR MONOFÁSICO. PUENTE COMPLETO



Inversor Monofásico en Puente Completo

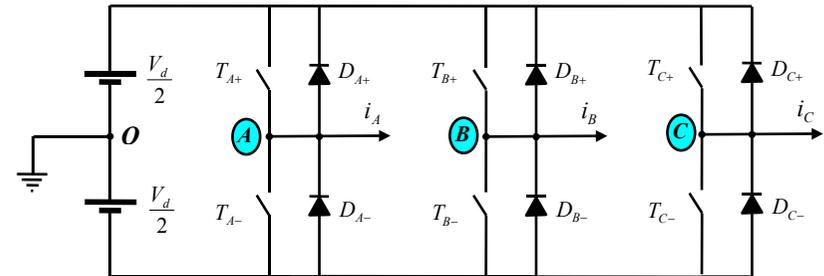


Circuito Equivalente del Inversor Monofásico en Puente Completo

Estado	Interrupor S_A	Interrupor S_B	Tensión en la carga
0	0	0	0
1	0	1	$-V_d$
2	1	0	V_d
3	1	1	0

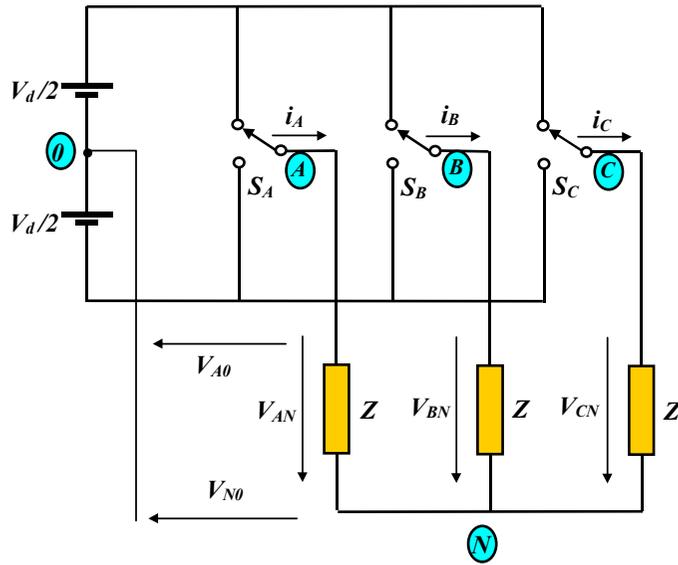
Resumen de los Estados de un Inversor Monofásico en Puente Completo

INVERSOR TRIFÁSICO



Inversor puente trifásico

INVERSOR TRIFÁSICO

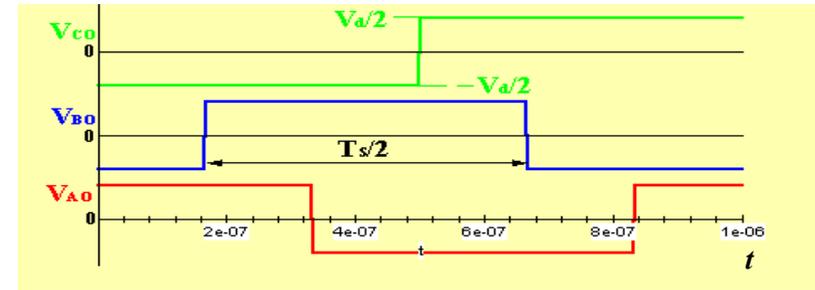


Circuito Equivalente del Inversor Trifásico

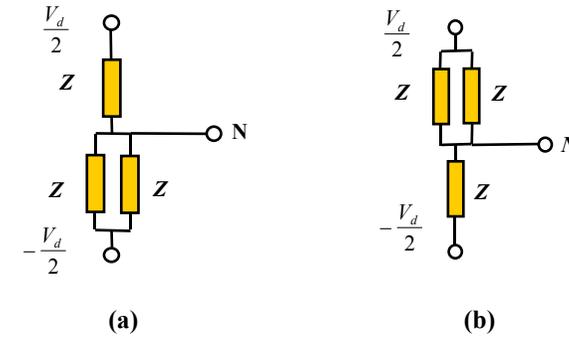
Interruptores			
Estado	SA	SB	SC
S0	0	0	0
S1	1	0	0
S2	1	1	0
S3	0	1	0
S4	0	1	1
S5	0	0	1
S6	1	0	1
S7	1	1	1

Estados de un Inversor Trifásico.

INVERSOR TRIFÁSICO. Tensión en el Neutro



Tensiones en las tres ramas del inversor. Determinación de la tensión del neutro de la carga:



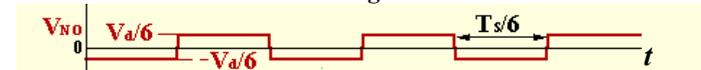
Circuitos Equivalentes para Determinar la Tensión del Neutro de la carga

Estados:

$$\text{a) } V_{NO} = \frac{Z/2}{3/2 Z} \frac{V_d}{2} - \frac{Z}{3/2 Z} \frac{V_d}{2} = \frac{V_d}{6} - \frac{V_d}{3} = -\frac{V_d}{6} \quad \text{S1, S3 y S5}$$

$$\text{b) } V_{NO} = \frac{Z}{3/2 Z} \frac{V_d}{2} - \frac{Z/2}{3/2 Z} \frac{V_d}{2} = \frac{V_d}{3} - \frac{V_d}{6} = \frac{V_d}{6} \quad \text{S2, S4 y S6}$$

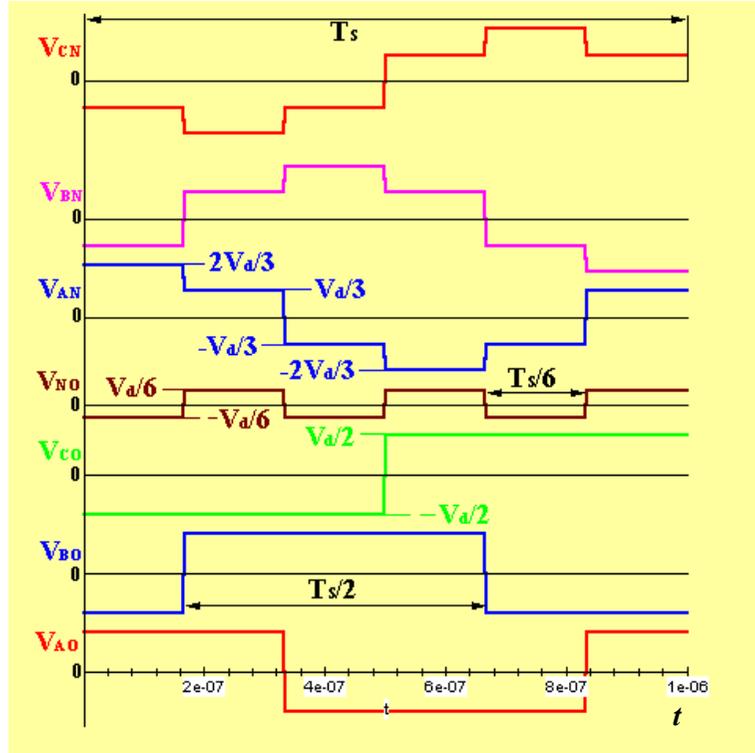
Luego:



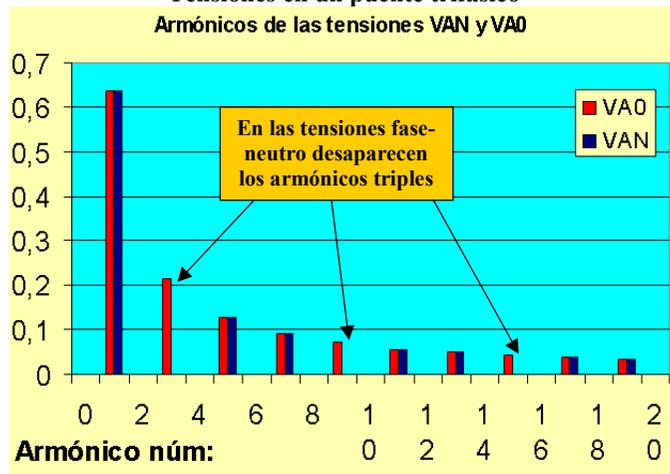
y las tensiones aplicadas a la carga por fase son:

$$V_{AN} = V_{AO} - V_{NO} ; V_{BN} = V_{BO} - V_{NO} ; V_{CN} = V_{CO} - V_{NO}$$

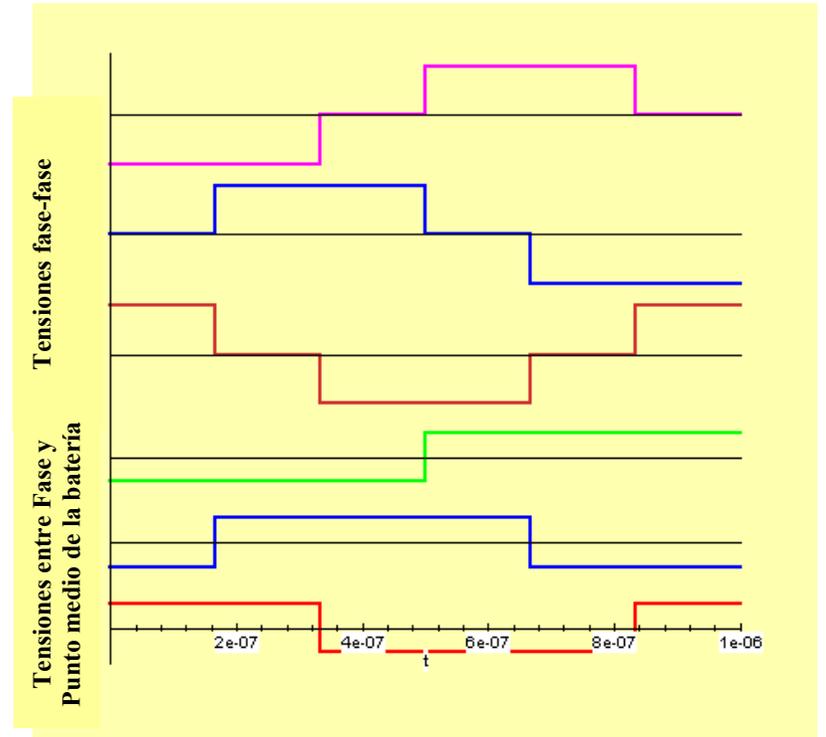
INVERSOR TRIFÁSICO. Armónicos



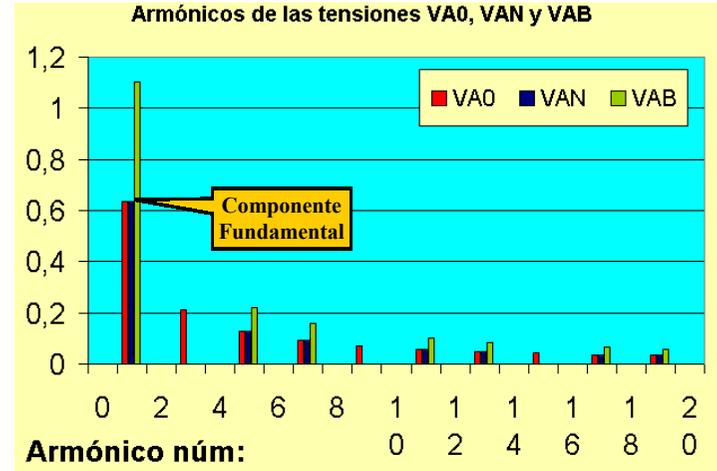
Tensiones en un puente trifásico
Armónicos de las tensiones VAN y VA0



INVERSOR TRIFÁSICO. Armónicos

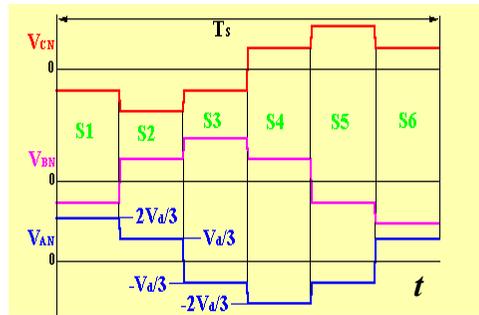


Armónicos de las tensiones VA0, VAN y VAB



INVERSOR TRIFÁSICO. Espacio de Estados

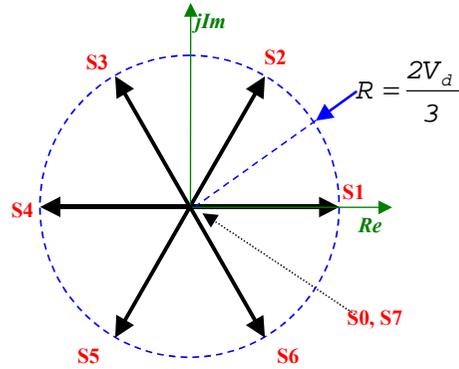
Estado	Interruptores			Tensiones/ V_d		
	S_A	S_B	S_C	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}
S0	0	0	0	0	0	0
S1	1	0	0	$2/3$	$-1/3$	$-1/3$
S2	1	1	0	$1/3$	$1/3$	$-2/3$
S3	0	1	0	$-1/3$	$2/3$	$-1/3$
S4	0	1	1	$-2/3$	$1/3$	$1/3$
S5	0	0	1	$-1/3$	$-1/3$	$2/3$
S6	1	0	1	$1/3$	$-2/3$	$1/3$
S7	1	1	1	0	0	0



Estados de un Inversor Trifásico.

Conversión de coordenadas del espacio tridimensional al plano (proyección):

$$\begin{bmatrix} \text{Re} \\ \text{Im} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}$$



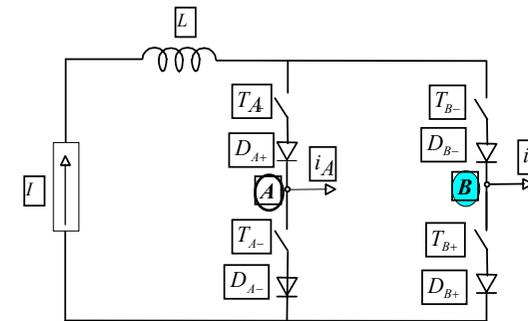
Por ejemplo, para **S1**: $V_A = \frac{2V_d}{3}$; $V_B = -\frac{V_d}{3}$; $V_C = -\frac{V_d}{3}$, resulta:

$$\text{Re} = \frac{2V_d}{3}; \quad \text{Im} = 0, \quad \text{cuyo módulo es: } \frac{2V_d}{3}$$

para **S5**: $V_A = -\frac{V_d}{3}$; $V_B = -\frac{V_d}{3}$; $V_C = \frac{2V_d}{3}$, resulta:

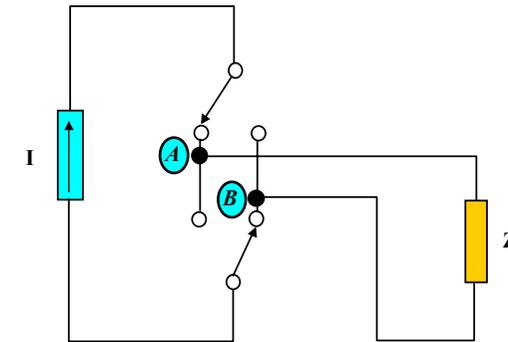
$$\text{Re} = -\frac{V_d}{3}; \quad \text{Im} = -\frac{V_d}{\sqrt{3}}, \quad \text{cuyo módulo es: } \frac{2V_d}{3}$$

OTROS INVERSORES. Inversor con Fuente de Corriente



Inversor en Puentes Completo con Fuente de Corriente.

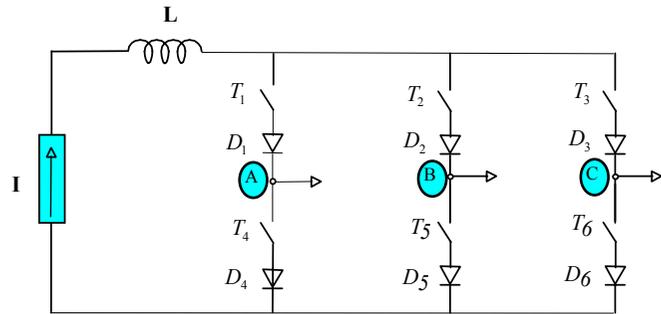
Los diodos son necesarios si los interruptores no soportan tensiones inversas. Nota: En este montaje pueden cerrarse simultáneamente los dos interruptores de una rama, pero no se pueden dejar abiertos a la vez los dos de la parte de arriba (o de abajo) de ambas ramas.



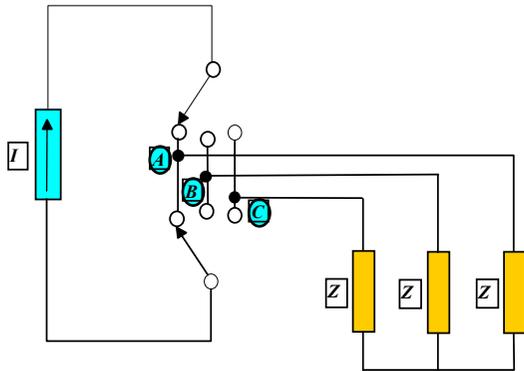
Modelo Equivalente del Inversor Monofásico con Fuente de Corriente

Su uso principal es para grandes potencias con SCR (tendencia a desuso). Tienen una ventaja, ya que pueden devolver energía a la red si la fuente de corriente se construye con una bobina y un rectificador controlado.

OTROS INVERSORES. Inversor con Fuente de Corriente

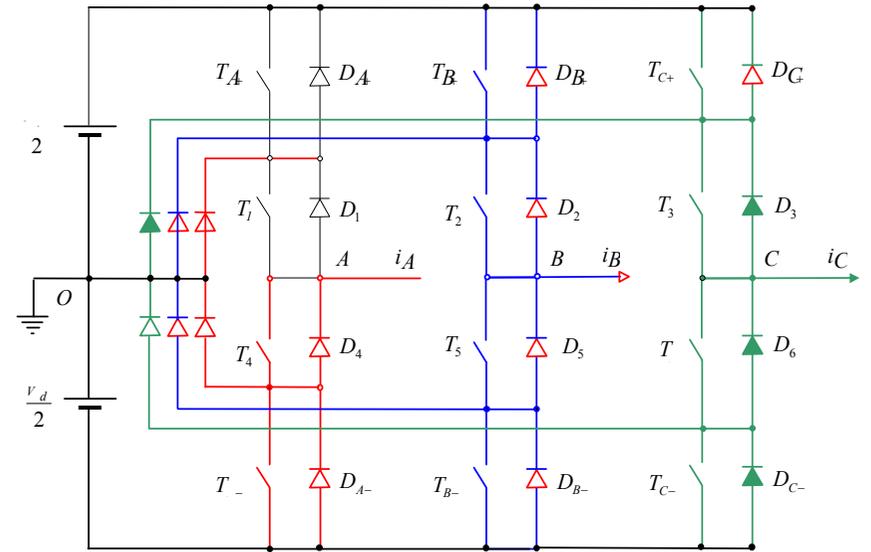


Inversor Trifásico con Fuente de Corriente



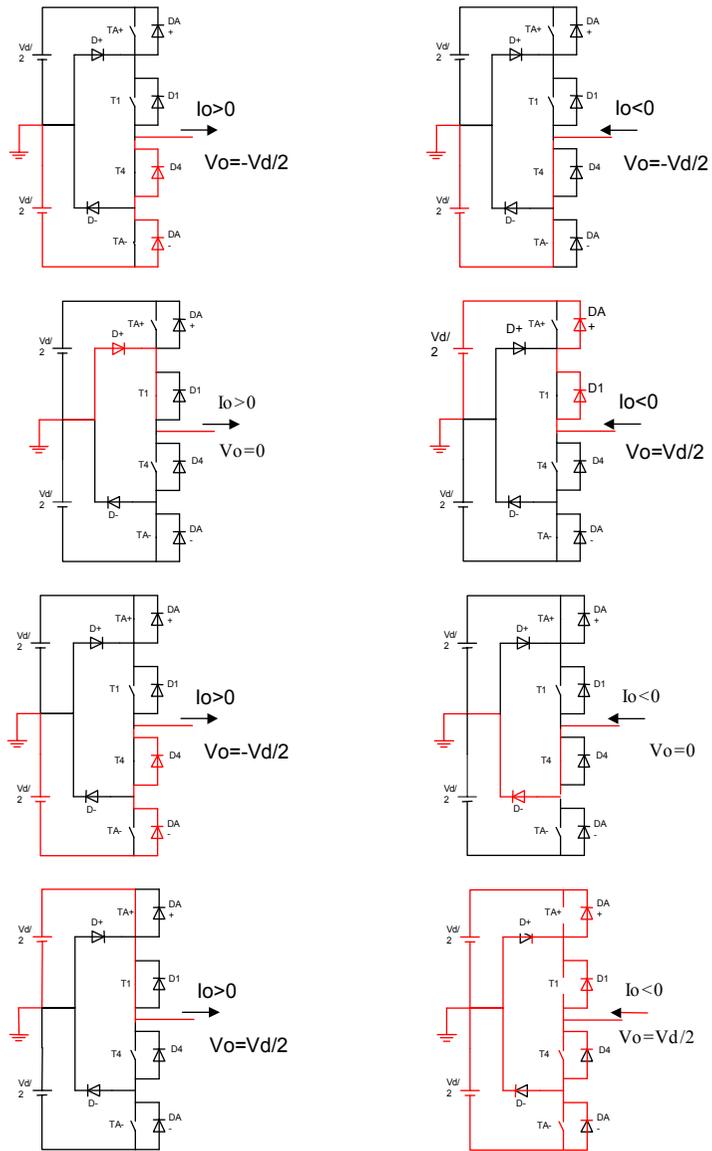
Modelo Equivalente del Inversor Trifásico con Fuente de Corriente

OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



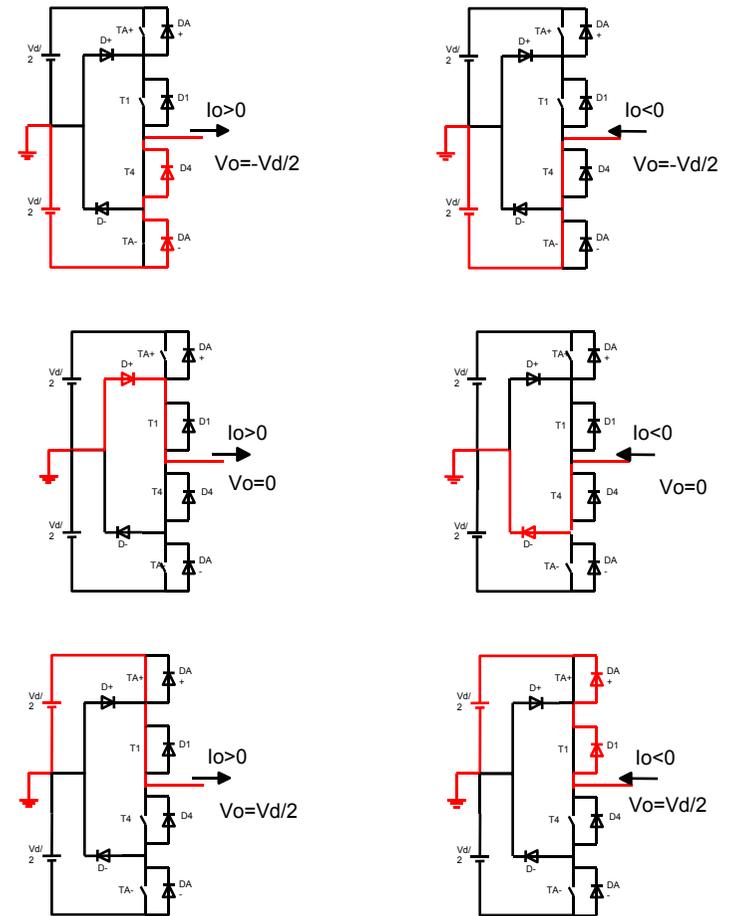
Inversor Trifásico de Tres Niveles

OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



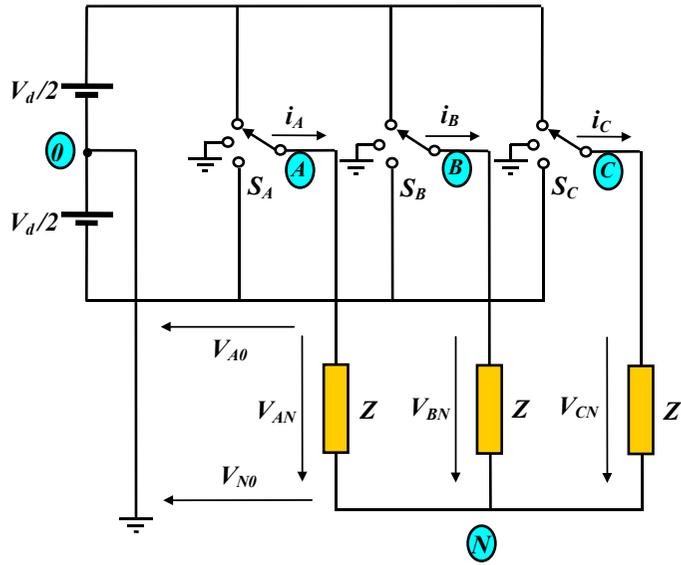
Estados de una rama de inversor a tres niveles

OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



Estados de una rama de inversor a tres niveles

OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



Circuito Equivalente del Inversor Trifásico de tres niveles

La tensión V_{N0} se puede calcular aplicando el Teorema de Superposición:

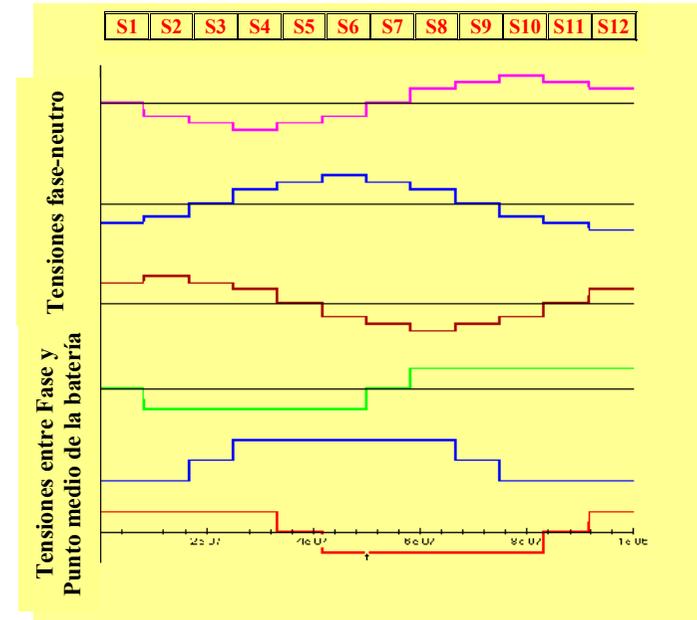
$$V_{N0} = V_{A0} \left(\frac{Z/2}{Z + Z/2} \right) + V_{B0} \left(\frac{Z/2}{Z + Z/2} \right) + V_{C0} \left(\frac{Z/2}{Z + Z/2} \right) =$$

$$V_{N0} = \frac{(V_{A0} + V_{B0} + V_{C0})}{3}$$

Las tensiones V_{A0} , V_{B0} y V_{C0} pueden tomar los valores: $+V_d/2$, $-V_d/2$ y 0 .

Luego los posibles valores de V_{N0} serán: 0 , $\pm V_d/6$, $\pm V_d/3$ y $\pm V_d/2$

OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



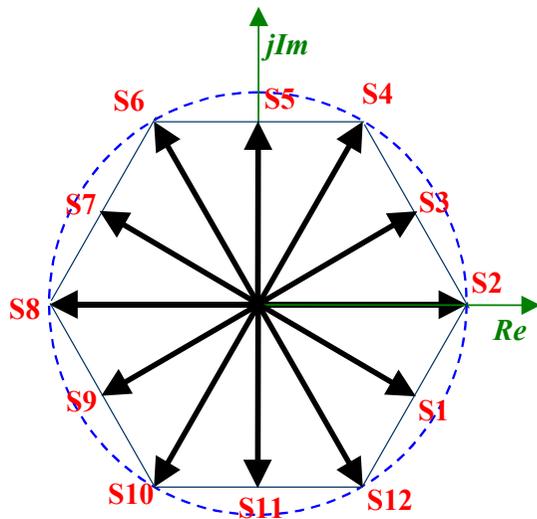
	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}	V_{N0}	S_A	S_B	S_C
S1	1/2	-1/2	0	0	+	-	0
S2	2/3	-1/3	-1/3	-1/6	+	-	-
S3	1/2	0	-1/2	0	+	0	-
S4	1/3	1/3	-2/3	1/6	+	+	-
S5	0	1/2	-1/2	0	0	+	-
S6	-1/3	2/3	-1/3	-1/6	-	+	-
S7	-1/2	1/2	0	0	-	+	0
S8	-2/3	1/3	1/3	1/6	-	+	+
S9	-1/2	0	1/2	0	-	0	+
S10	-1/3	-1/3	2/3	-1/6	-	-	+
S11	0	-1/2	1/2	0	0	-	+
S12	1/3	-2/3	1/3	1/6	+	-	+

Tensiones y estados en un inversor de tres niveles

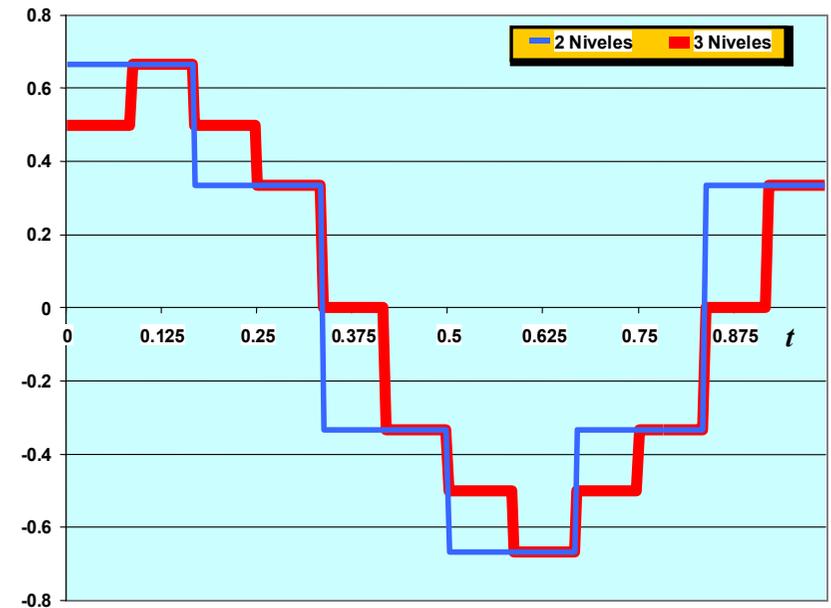
OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles

	V_{AN}	V_{BN}	V_{CN}	S_A	S_B	S_C
S1	1/2	-1/2	0	+	-	0
S2	2/3	-1/3	-1/3	+	-	-
S3	1/2	0	-1/2	+	0	-
S4	1/3	1/3	-2/3	+	+	-
S5	0	1/2	-1/2	0	+	-
S6	-1/3	2/3	-1/3	-	+	-
S7	-1/2	1/2	0	-	+	0
S8	-2/3	1/3	1/3	-	+	+
S9	-1/2	0	1/2	-	0	+
S10	-1/3	-1/3	2/3	-	-	+
S11	0	-1/2	1/2	0	-	+
S12	1/3	-2/3	1/3	+	-	+

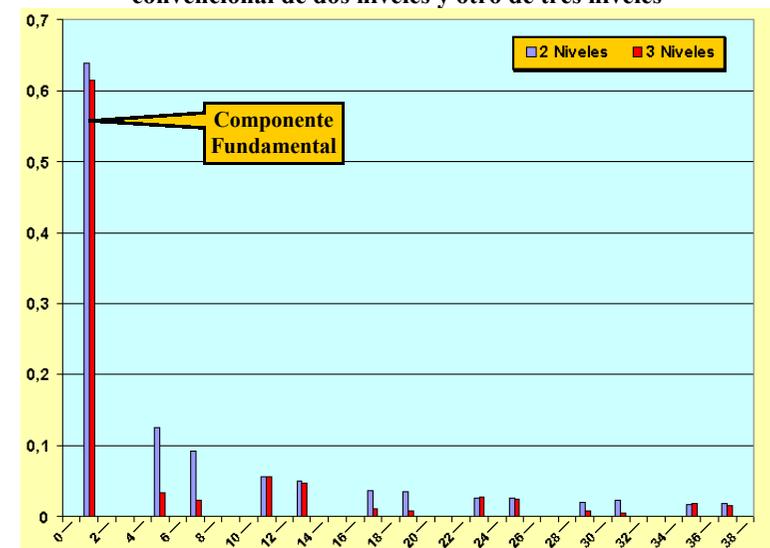
Estados en un inversor de tres niveles



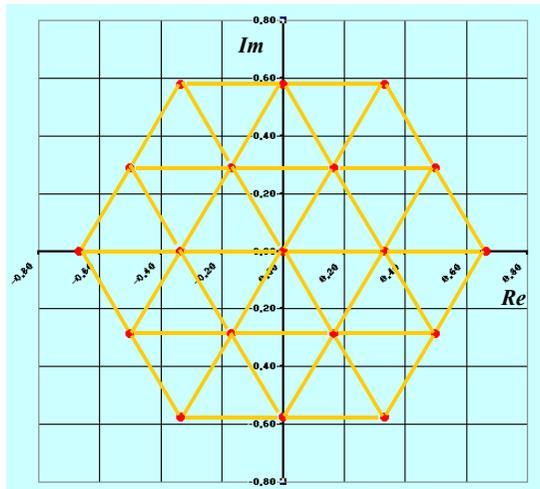
OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



Comparación de las tensiones de fase y sus armónicos entre un inversor convencional de dos niveles y otro de tres niveles



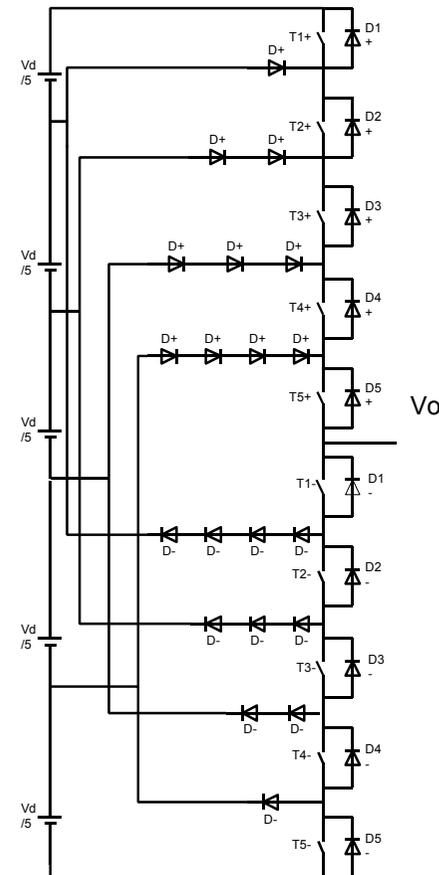
OTROS INVERSORES. Inversores de tres niveles



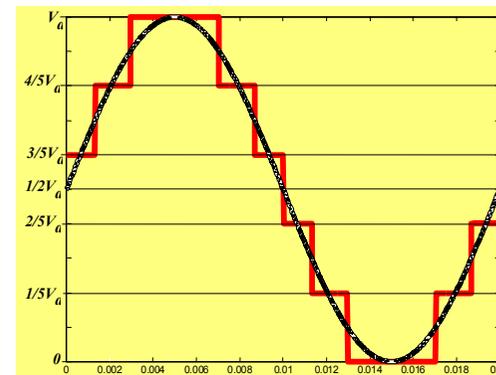
Estados (27) en un inversor trifásico de tres niveles

ESTADO	VA0	VB0	VC0	VN0	VAN	VBN	VCN	=
S0	-0,5	-0,5	-0,5	-0,50	0,00	0,00	0,00	S13,S26
S1	-0,5	-0,5	0	-0,33	-0,17	-0,17	0,33	S14
S2	-0,5	-0,5	0,5	-0,17	-0,33	-0,33	0,67	
S3	-0,5	0	-0,5	-0,33	-0,17	0,33	-0,17	S16
S4	-0,5	0	0	-0,17	-0,33	0,17	0,17	S17
S5	-0,5	0	0,5	0,00	-0,50	0,00	0,50	
S6	-0,5	0,5	-0,5	-0,17	-0,33	0,67	-0,33	
S7	-0,5	0,5	0	0,00	-0,50	0,50	0,00	
S8	-0,5	0,5	0,5	0,17	-0,67	0,33	0,33	
S9	0	-0,5	-0,5	-0,33	0,33	-0,17	-0,17	S22
S10	0	-0,5	0	-0,17	0,17	-0,33	0,17	S23
S11	0	-0,5	0,5	0,00	0,00	-0,50	0,50	
S12	0	0	-0,5	-0,17	0,17	0,17	-0,33	S25
S13	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	S0,S26
S14	0	0	0,5	0,17	-0,17	-0,17	0,33	S1
S15	0	0,5	-0,5	0,00	0,00	0,50	-0,50	
S16	0	0,5	0	0,17	-0,17	0,33	-0,17	S3
S17	0	0,5	0,5	0,33	-0,33	0,17	0,17	S4
S18	0,5	-0,5	-0,5	-0,17	0,67	-0,33	-0,33	
S19	0,5	-0,5	0	0,00	0,50	-0,50	0,00	
S20	0,5	-0,5	0,5	0,17	0,33	-0,67	0,33	
S21	0,5	0	-0,5	0,00	0,50	0,00	-0,50	
S22	0,5	0	0	0,17	0,33	-0,17	-0,17	S9
S23	0,5	0	0,5	0,33	0,17	-0,33	0,17	S10
S24	0,5	0,5	-0,5	0,17	0,33	0,33	-0,67	
S25	0,5	0,5	0	0,33	0,17	0,17	-0,33	S12
S26	0,5	0,5	0,5	0,50	0,00	0,00	0,00	S0,S13

OTROS INVERSORES. Inversores Multinivel

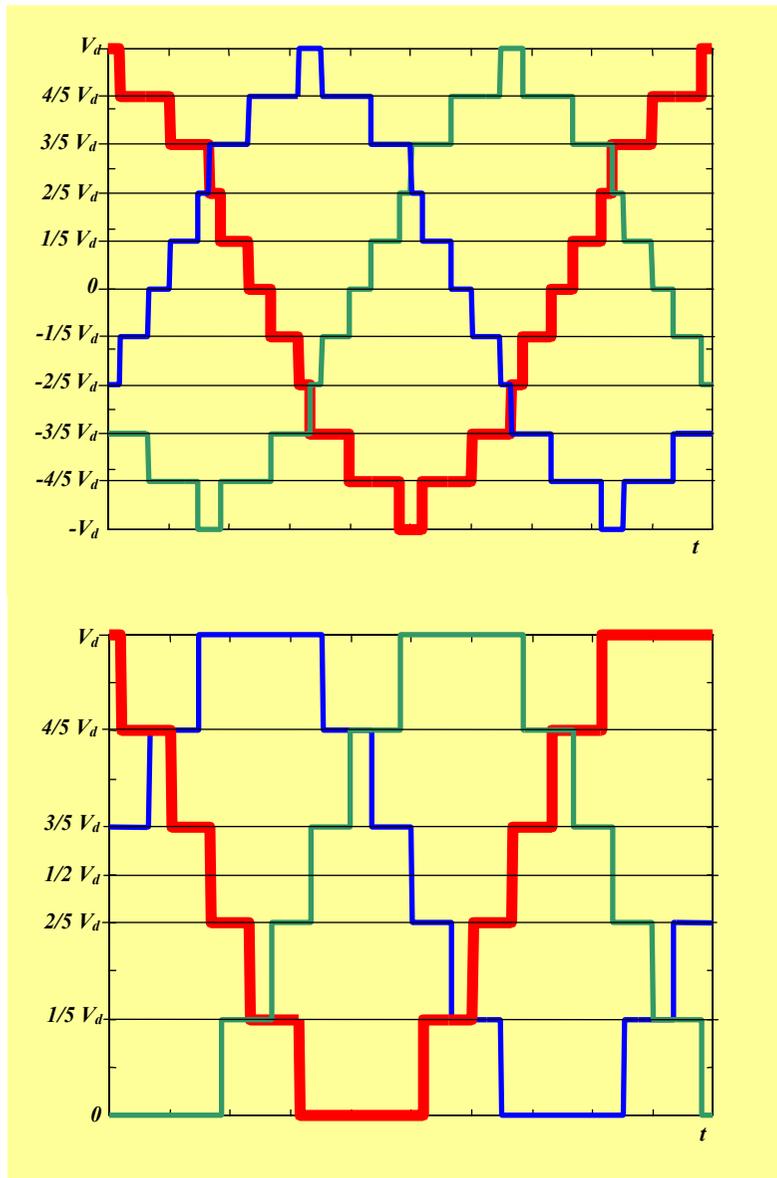


		Tensión de Salida $V_o = k * V_d$						
		k=	1	4/5	3/5	2/5	1/5	0
Estado de interruptores	T1+	1	0	0	0	0	0	0
	T2+	1	1	0	0	0	0	0
	T3+	1	1	1	0	0	0	0
	T4+	1	1	1	1	0	0	0
	T5+	1	1	1	1	1	0	0
	T1-	0	1	1	1	1	1	1
	T2-	0	0	1	1	1	1	1
	T3-	0	0	0	1	1	1	1
	T4-	0	0	0	0	1	1	1
	T5-	0	0	0	0	0	1	1



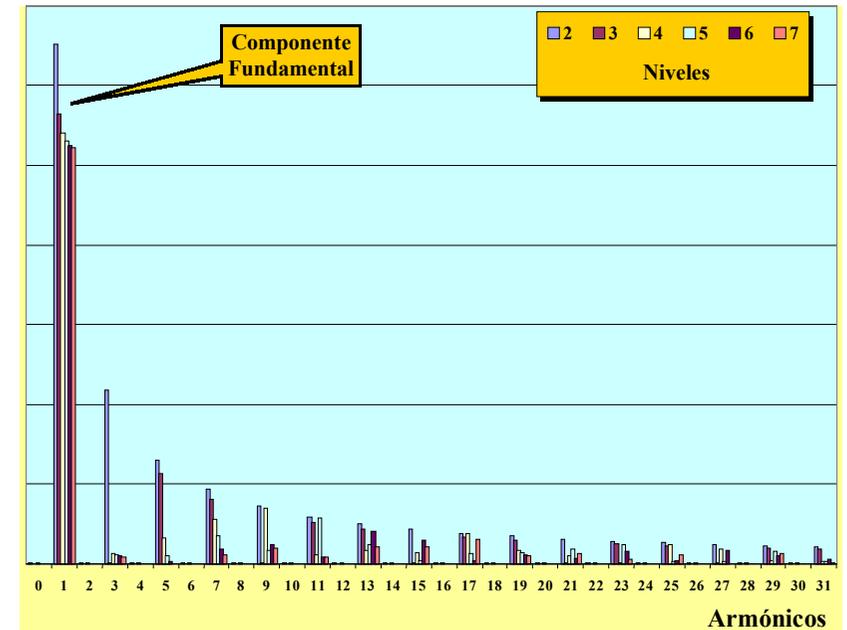
Inversor de 6 niveles. Tensión entre una rama y el terminal negativo de la batería

OTROS INVERSORES. Inversores Multinivel

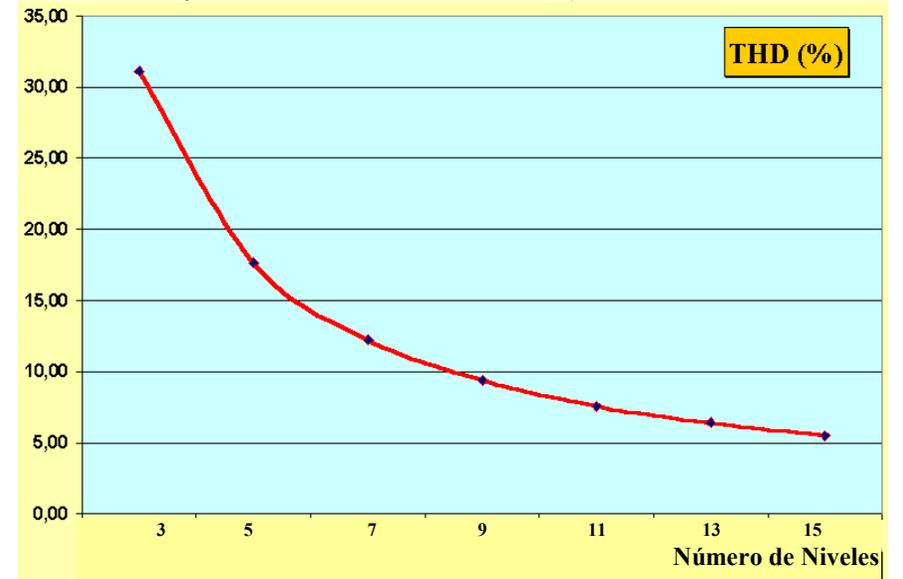


Inversor de seis niveles: tensiones fase-neutro y fase-fase

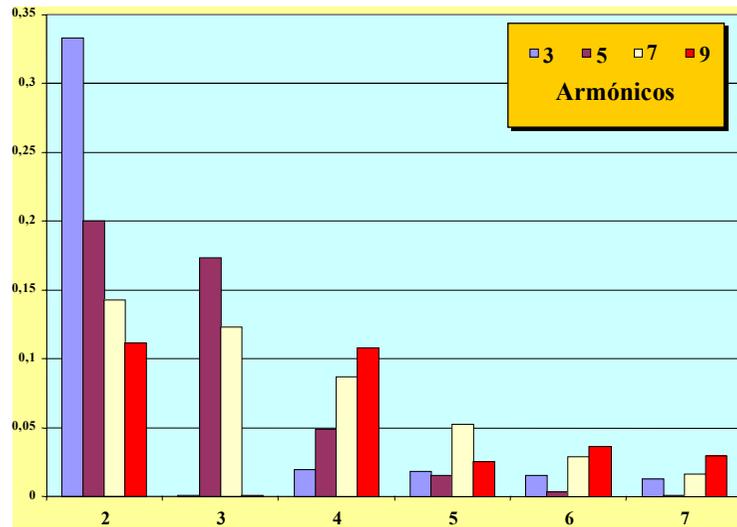
OTROS INVERSORES. Inversores Multinivel



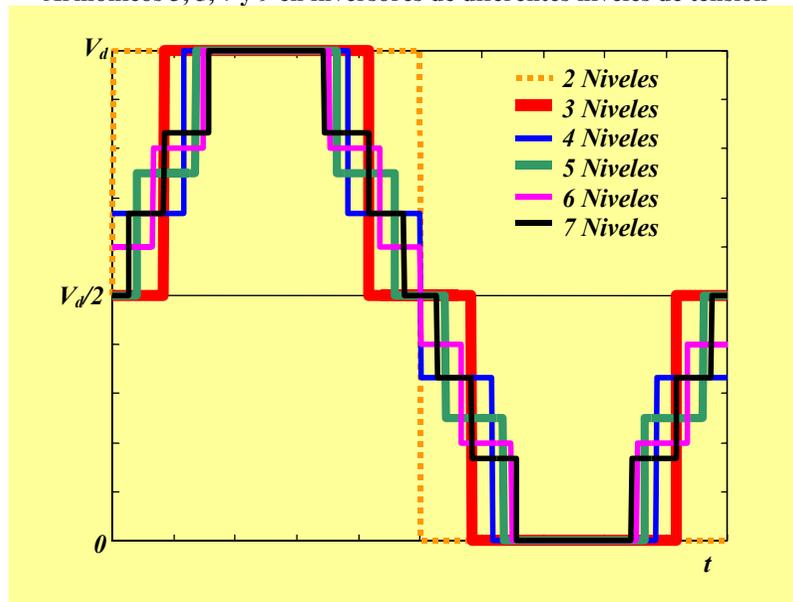
Armónicos y Distorsión Armónica Total de V_{A0} en inversores Multinivel



OTROS INVERSORES. Inversores Multinivel



Armónicos 3, 5, 7 y 9 en inversores de diferentes niveles de tensión



Tensiones de salida en inversores multinivel