



# INVERSORES

## Inversores Multinivel

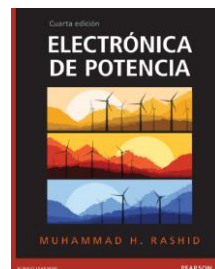
ELECTRÓNICA DE POTENCIA

IIE

## 8.1 INTRODUCCIÓN

Los inversores de fuente de voltaje producen un voltaje o una corriente de salida con niveles de  $0$  o  $\pm V_{cd}$ . Se conocen como inversores de dos niveles. Para obtener una forma de onda de voltaje o corriente de salida de calidad con un contenido mínimo de rizo requieren una alta frecuencia de conmutación junto con varias técnicas de modulación por ancho de pulso (PWM). Sin embargo, en aplicaciones de alta potencia y alto voltaje estos inversores de dos niveles tienen algunas limitaciones al funcionar a alta frecuencia, sobre todo a causa de pérdidas por conmutación y restricciones de capacidad de los dispositivos. Además, los dispositivos semiconductores de conmutación deben utilizarse de modo que se eviten los problemas asociados con sus combinaciones en serie-paralelo necesarias para obtener capacidad de manejo de altos voltajes y corrientes.

Los inversores multinivel han despertado un gran interés en las industrias de la potencia, el transporte y la energía renovable [12]. Ofrecen un nuevo conjunto de características que son muy adecuadas para usarse en la compensación de potencia reactiva. Puede ser más fácil en que se controlan los esfuerzos de voltaje en la estructura de un dispositivo. Si se aumenta el número de niveles de voltaje en el inversor sin que se requieran dispositivos individuales de mayor capacidad se puede incrementar la capacidad de potencia. La estructura única de los inversores multinivel de fuente-voltaje les permite alcanzar altos voltajes con pocos armónicos sin utilizar un transformador o dispositivos de conmutación sincronizados conectados en serie. A medida que crece el número de niveles de voltaje el contenido armónico de la forma de onda del voltaje de salida se reduce considerablemente [1,2]. La entrada es una  $cd$  e, idealmente, la salida debe ser una onda seno. Los parámetros de desempeño de los convertidores multinivel son semejantes a los de los inversores PWM explicados en el capítulo 6.



**Muhammad H. Rashid**

*Fellow IET,  
Life Fellow IEEE*

*Electrical and Computer  
Engineering  
University of West Florida*

Datos de catalogación bibliográfica

RASHID, MUHAMMAD, H

Electrónica de potencia

Cuarta edición

PEARSON EDUCACIÓN, México, 2015

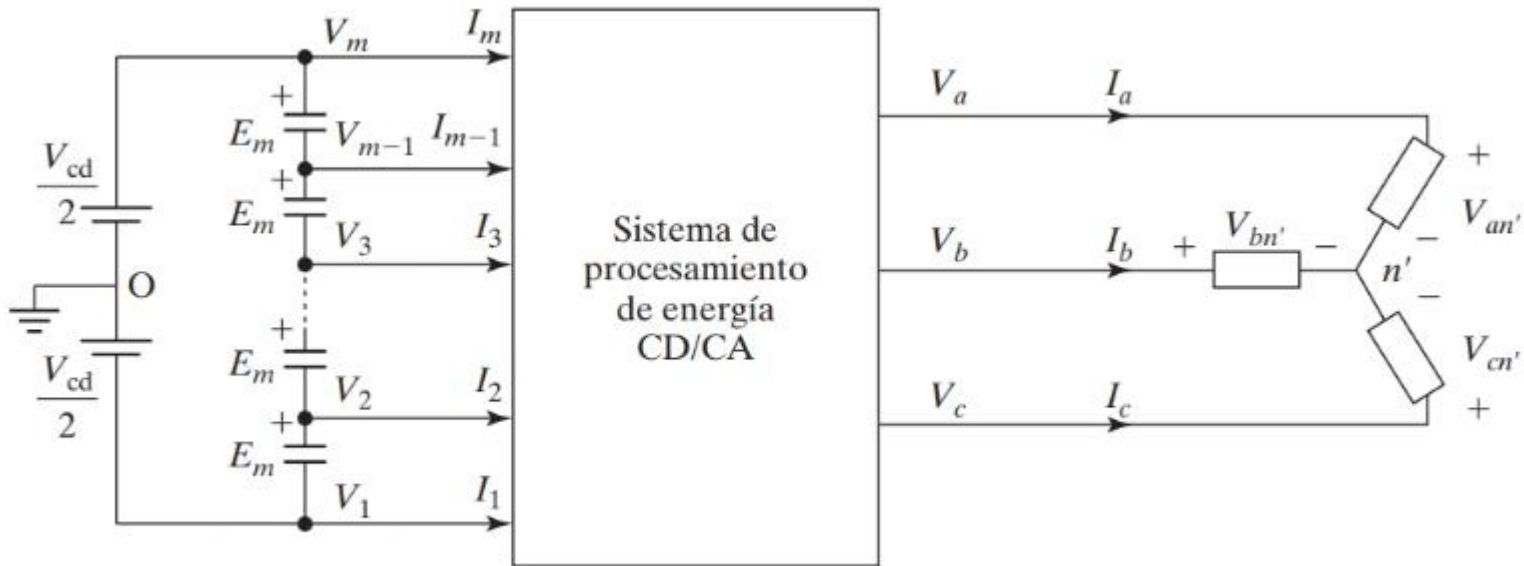
ISBN: 978-607-32-3325-5

Área: Ingeniería

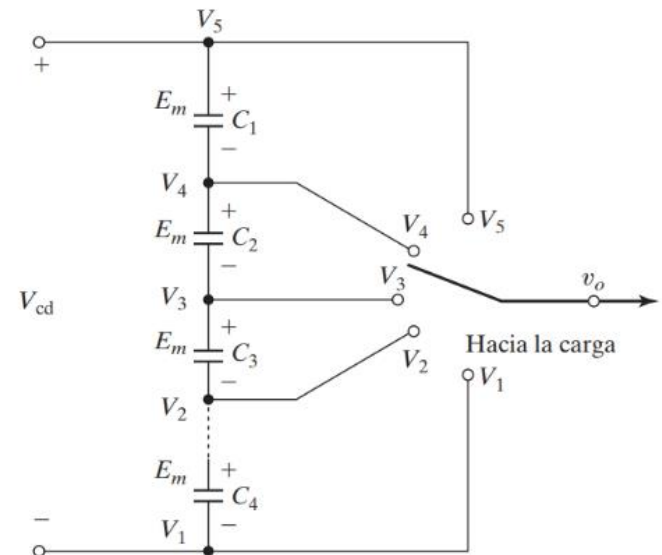
Formato: 20 × 25,5 cm

Páginas: 680

# Inversor Multinivel genérico



(a) Sistema de procesamiento de potencia multinivel trifásico

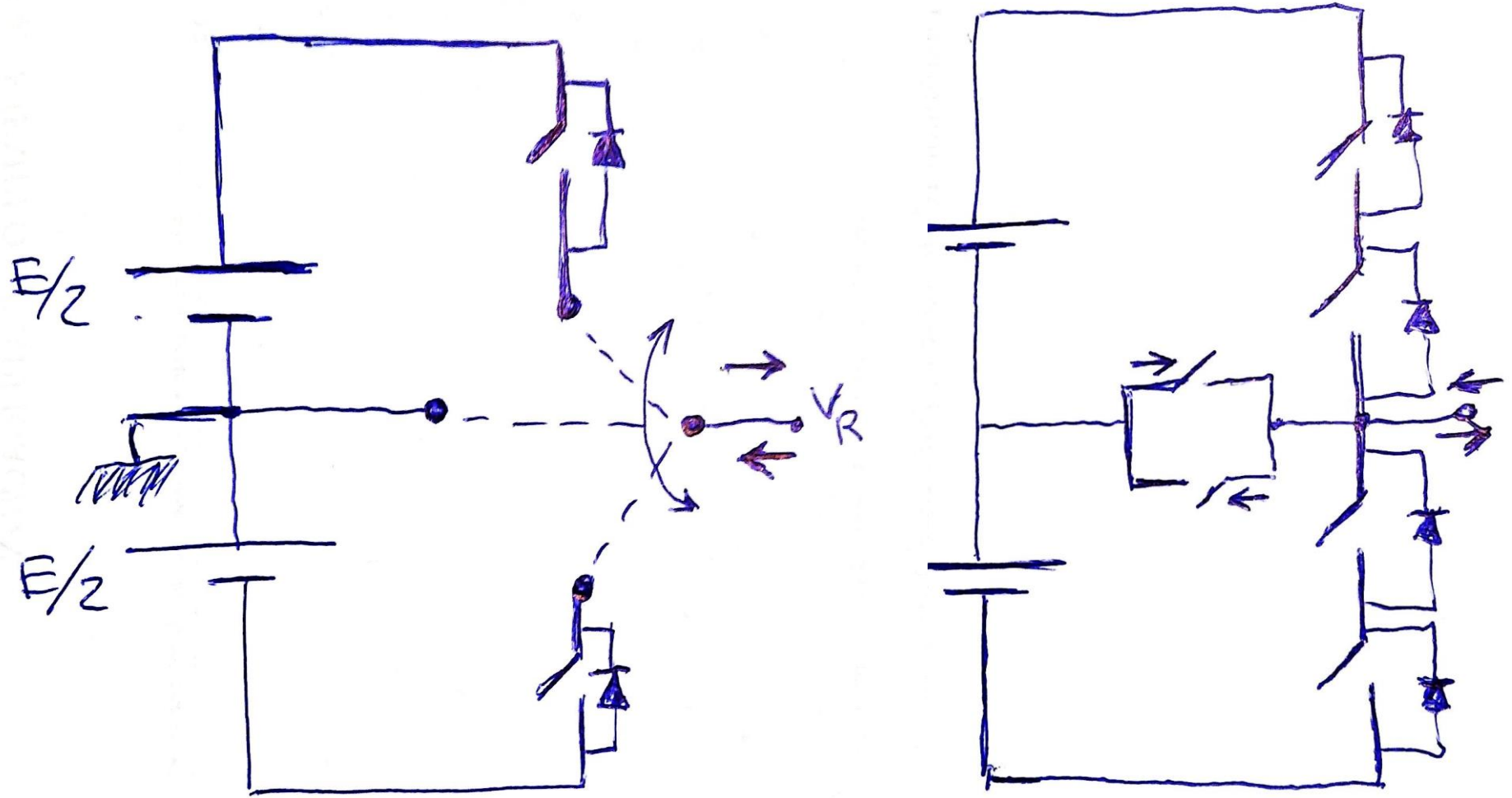


(b) Esquema de un solo polo de un inversor multinivel con un interruptor

# Tipos de Inversores Multinivel

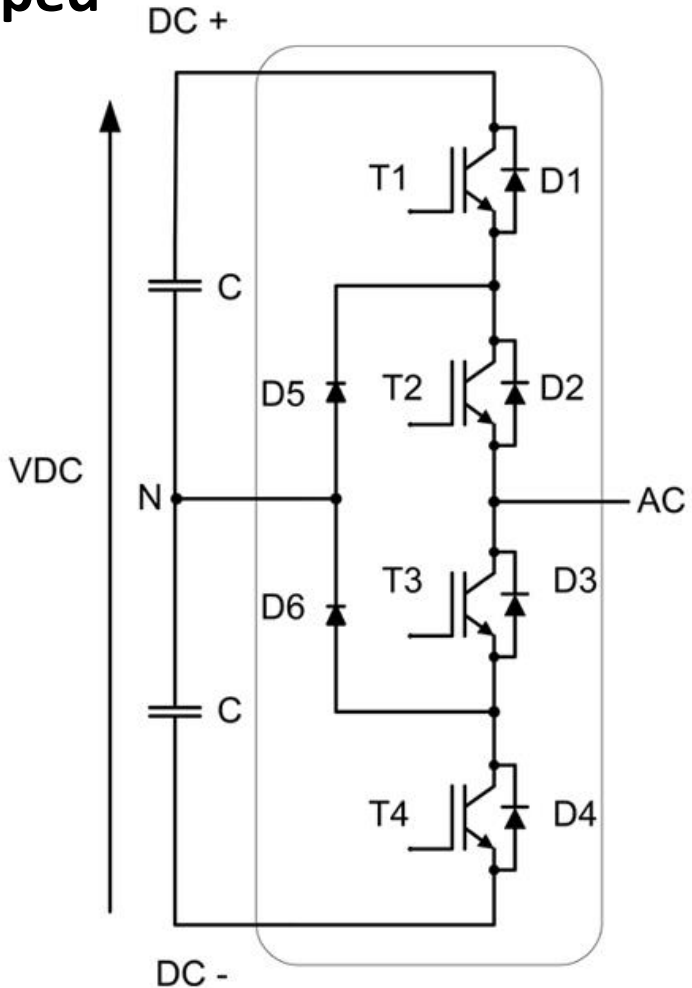
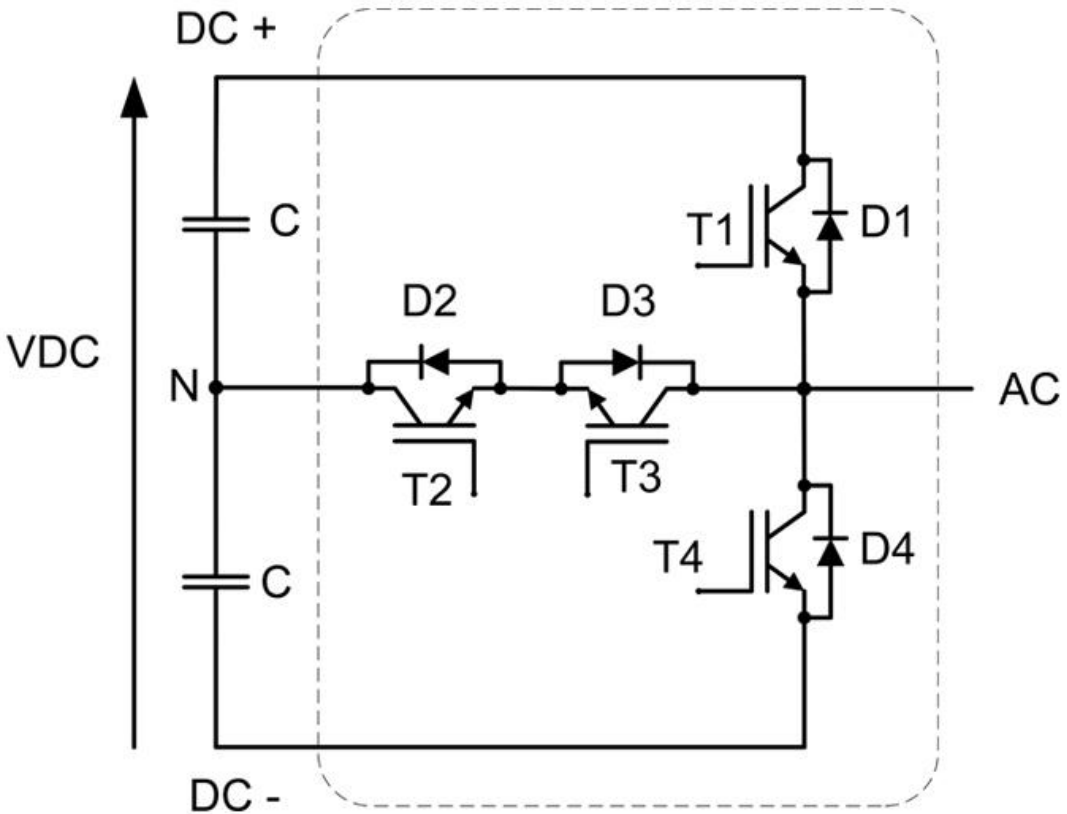
- Inversores con Diodos de Clamp.
  - Diode clamped multilevel inverter.
- Inversores con Condensadores Volantes
  - Flying capacitor multilevel inverter
- Inversores en cascada
  - Cascaded Invertes

# Multinivel Clamp – Tres Niveles



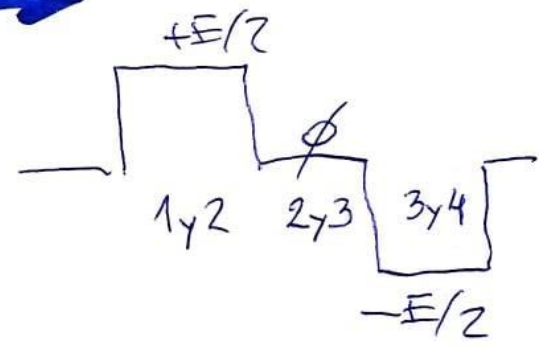
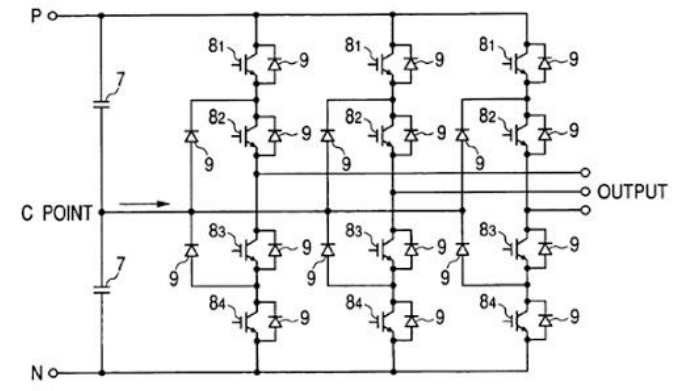
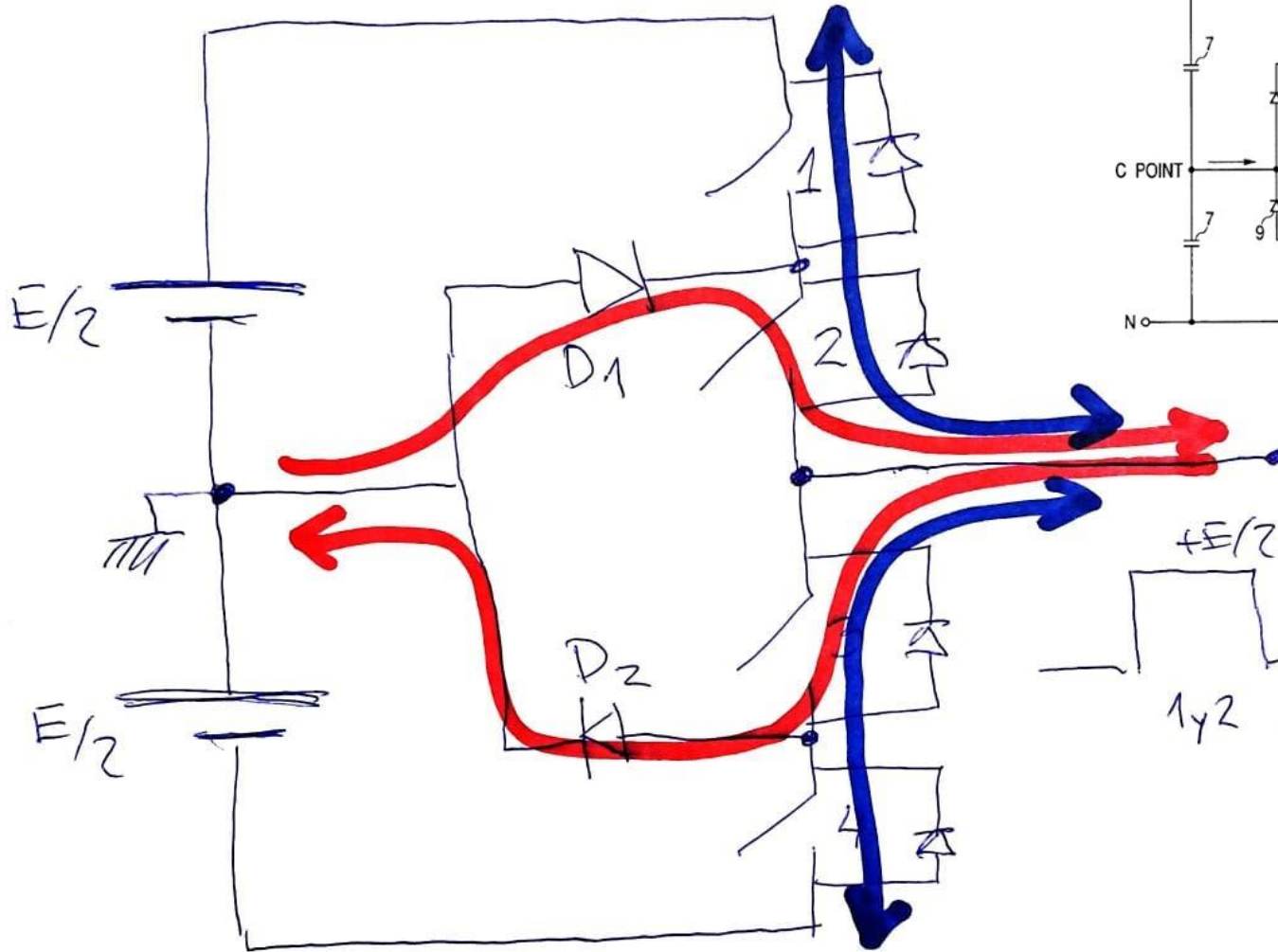
...hasta que finalmente se llega al NPC

### NPC: Neutral Point Clamped

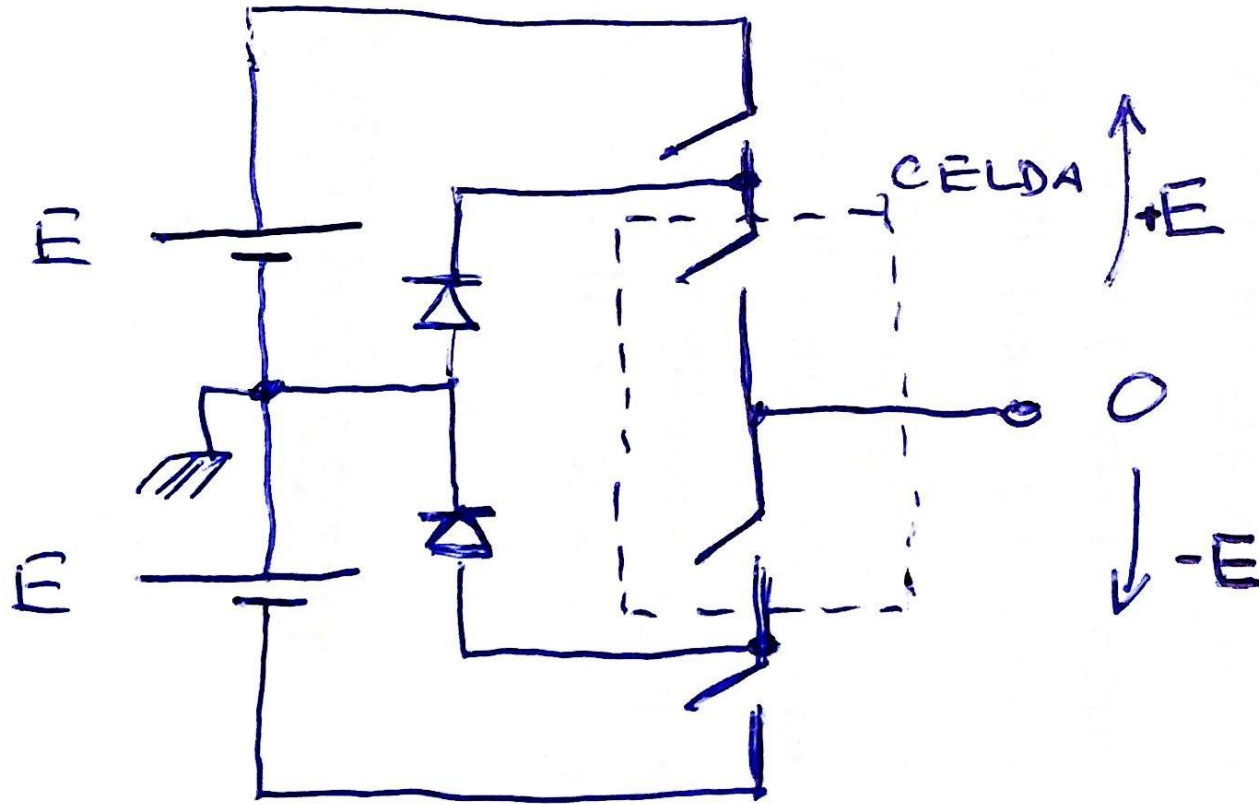


# Multinivel Clamp – Tres Niveles

**NPC: Neutral Point Clamped**



# Celdas de un Inversores Multinivel



Al mover la celda hacia arriba o hacia abajo se obtienen los tres niveles



# Multinivel Clamp de N niveles

Llaves 1 a N-1 prendidas dan el Nivel 1

Llaves 1` a (N-1)` dan el Nivel N

Los Diodos 1 a N-2 dan los niveles 2 a N-1 con corriente  $i_R$  positiva.

Los Diodos 1` a (N-2)` dan los niveles N-1 a 2 con corriente  $i_R$  negativas.

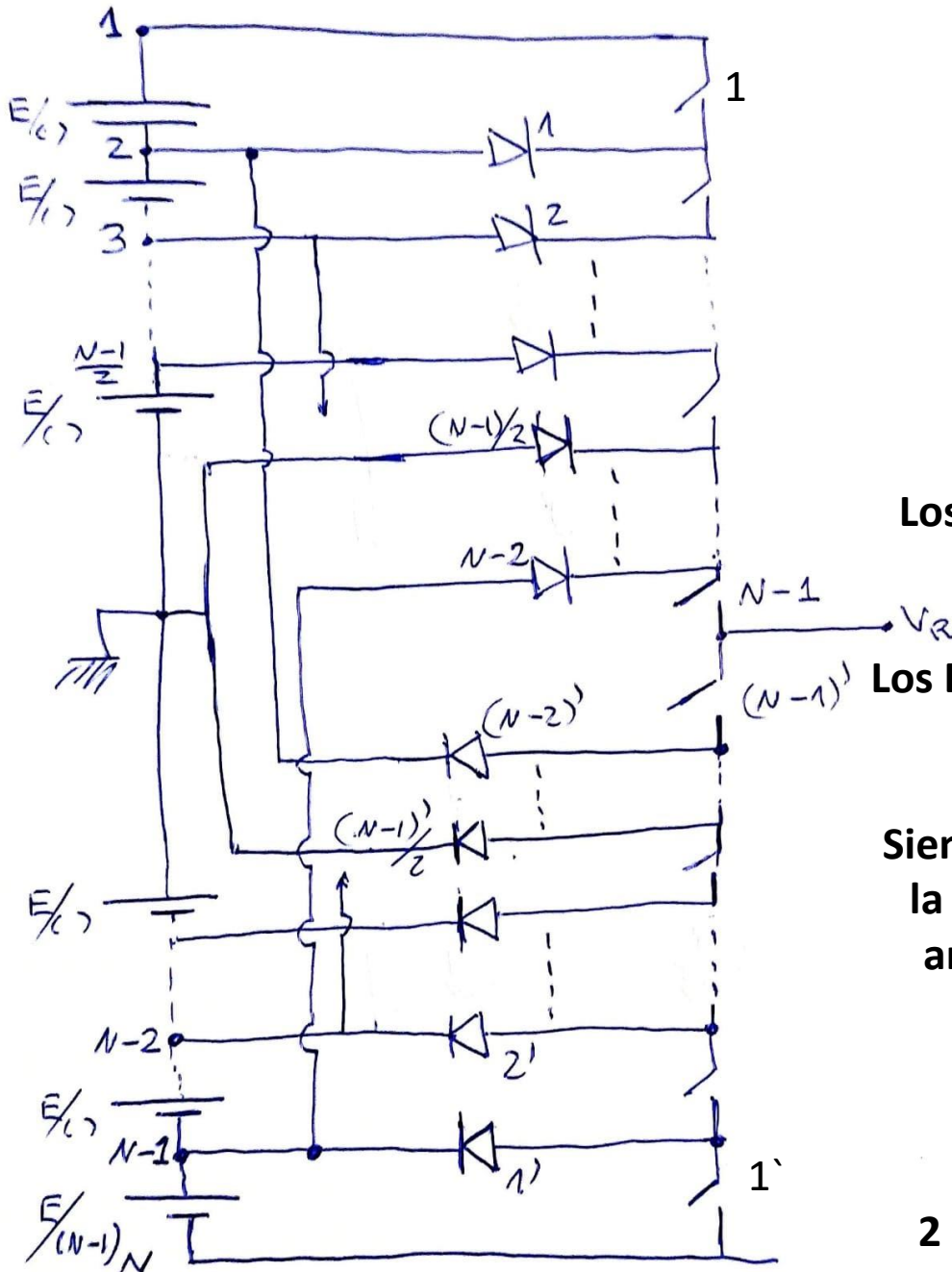
Siempre se prenden de a N-1 llaves (tamaño de la CELDA) y al recorrer una ventana móvil de arriba hacia debajo se van generando los N Niveles.

Tiene:

N-1 fuentes (N es siempre impar)

2 x (N-1) llaves (con sus diodos antiparalelo)

2 x (N-2) diodos de clamp



# Multinivel Clamp de N niveles

Ejemplo:

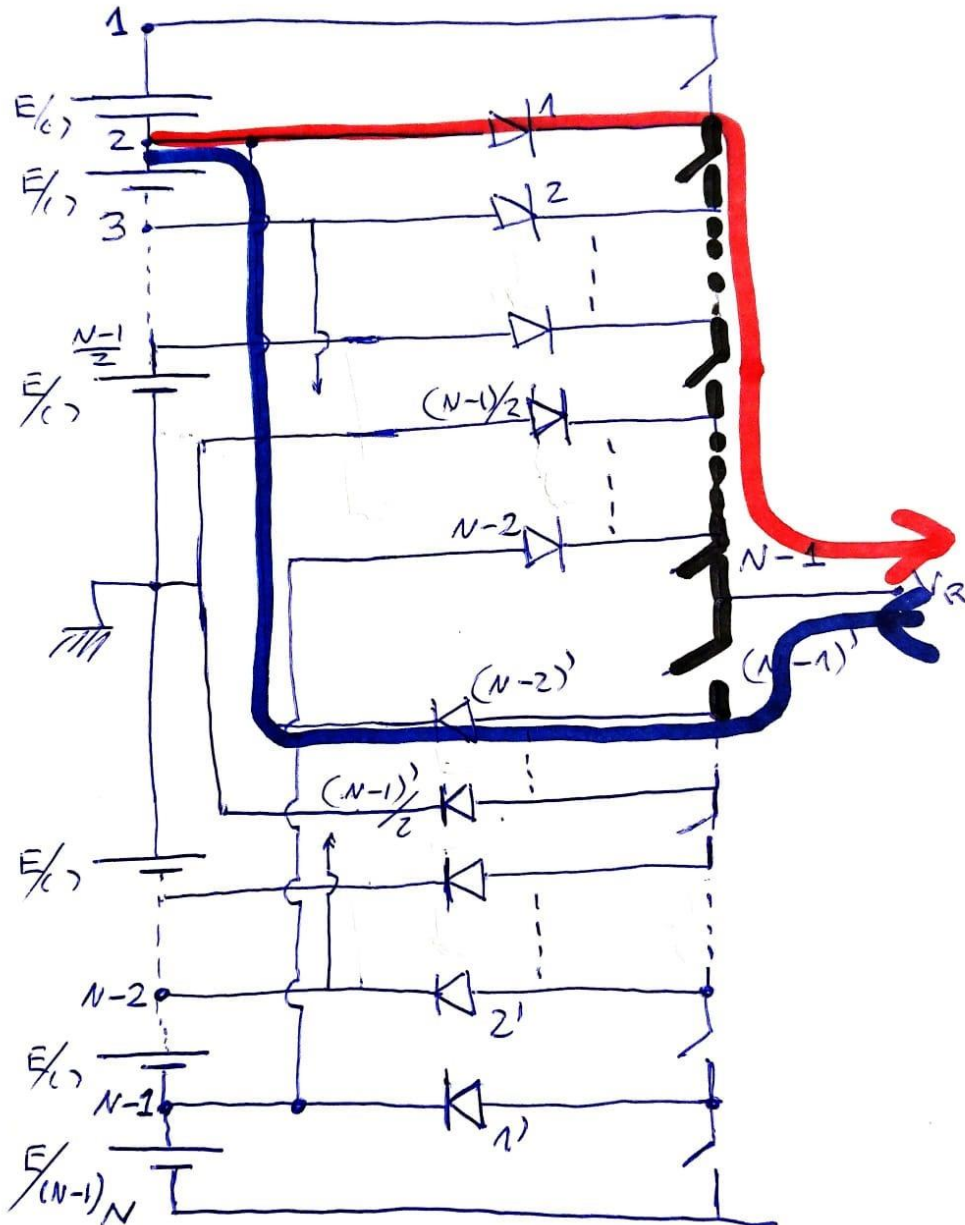
tensión de salida (resp. tierra)

$$\left[ \frac{E}{(N-1)} \right] \times \frac{(N+1-2i)}{2}$$

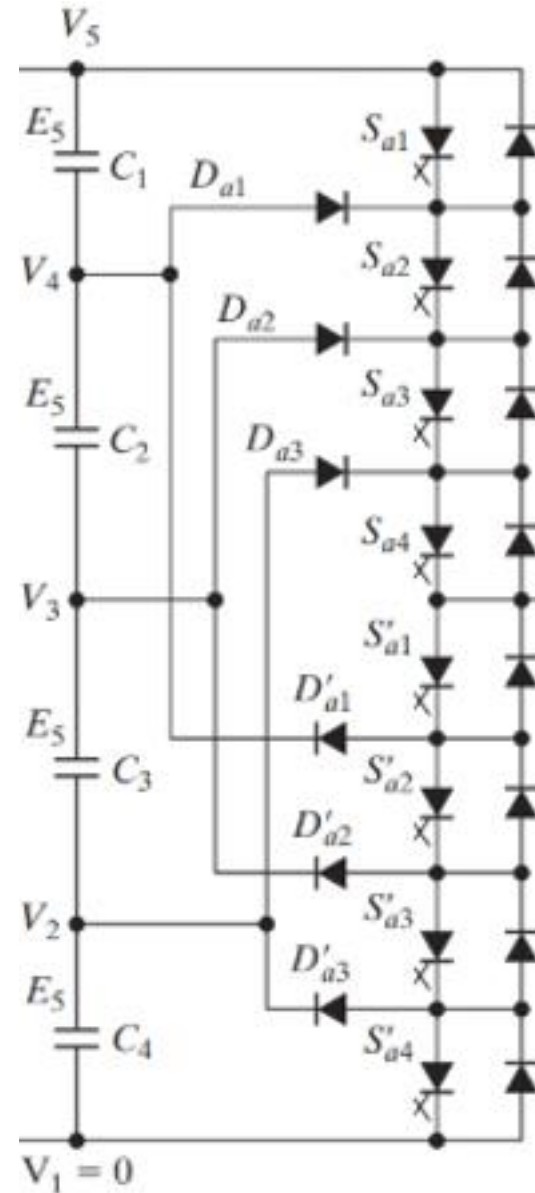
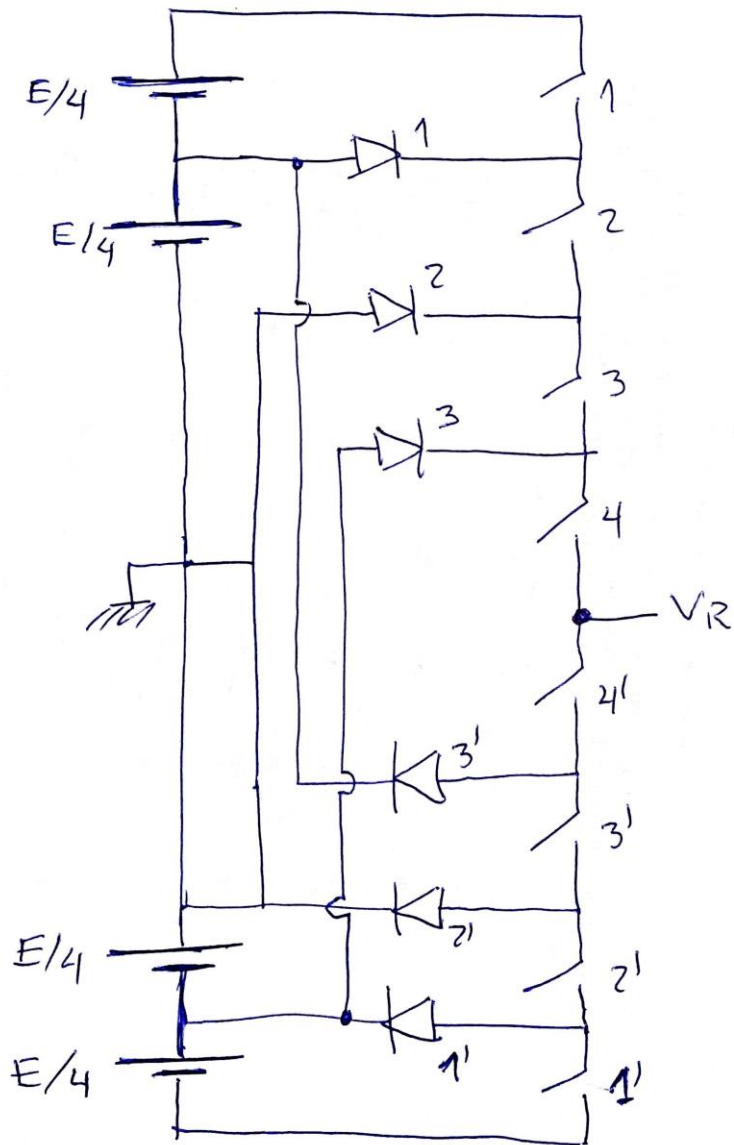
$i=2$

$$\left[ \frac{E}{(N-1)} \right] \times \frac{(N-3)}{2}$$

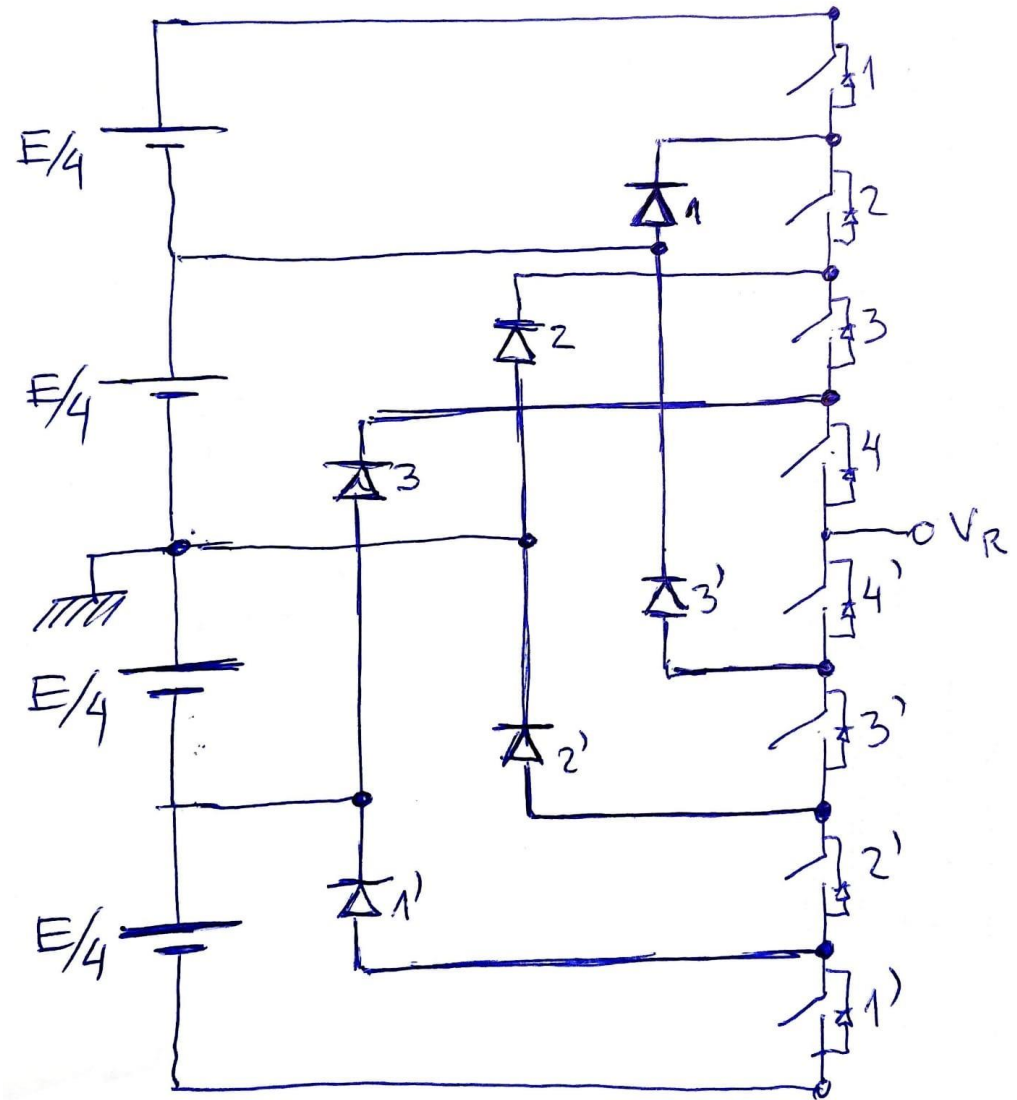
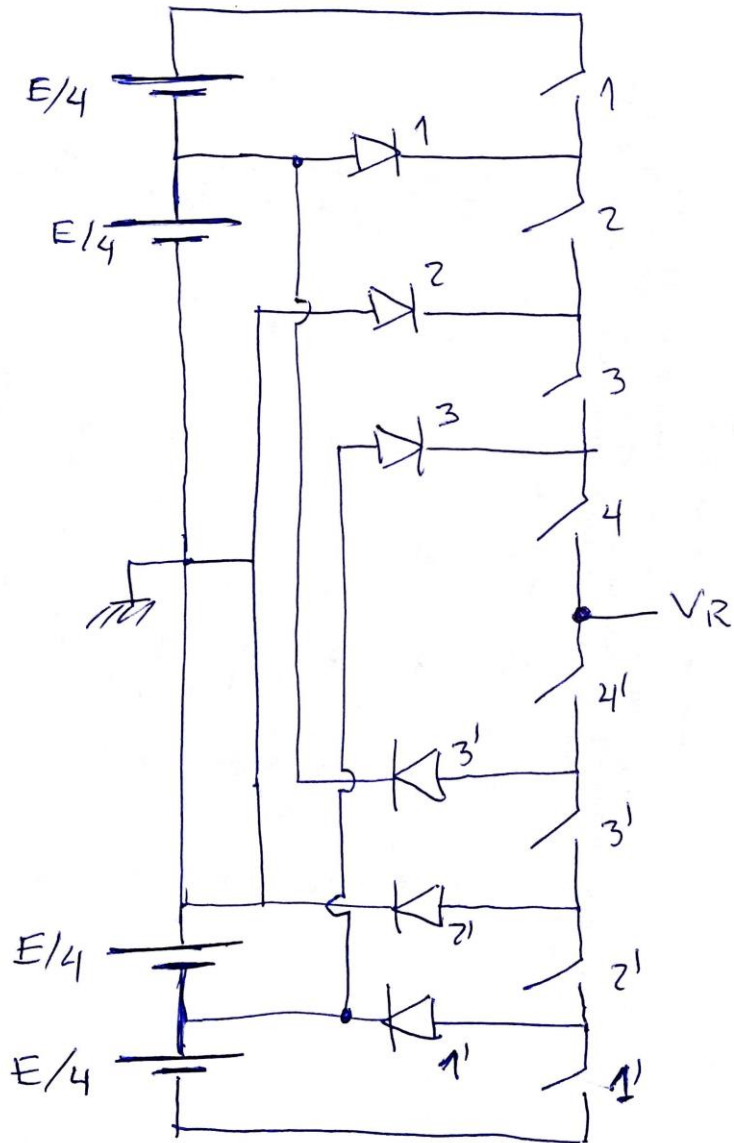
Están prendidas las llaves 2 a N-1  
1  
y la llave (N-1)'



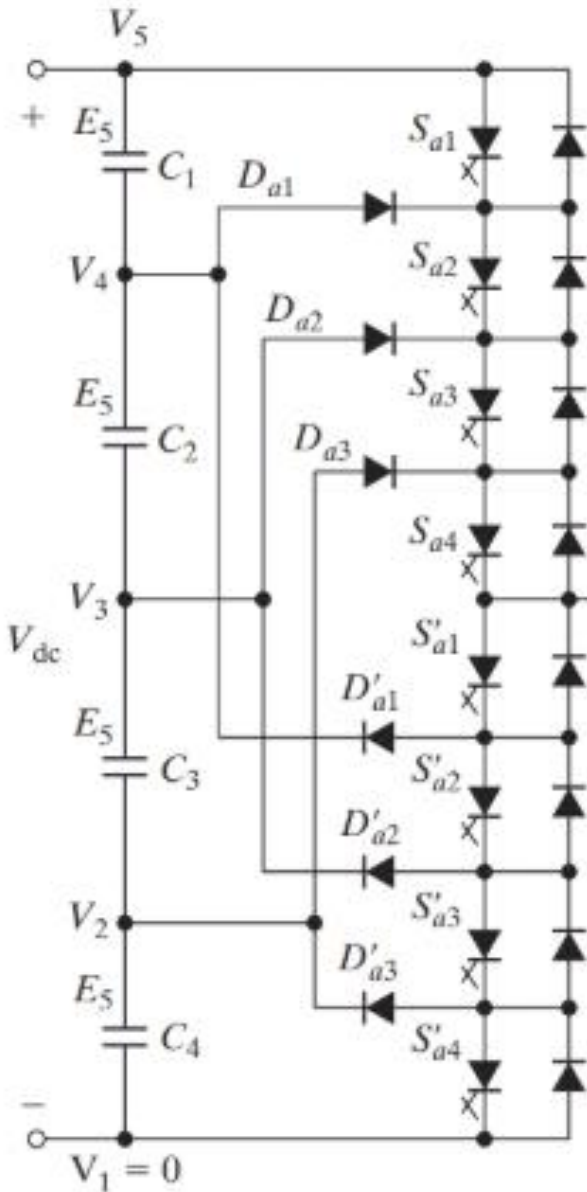
# Multinivel Clamp – Cinco Niveles



# Multinivel Clamp – Cinco Niveles



# Multinivel Clamp – Cinco Niveles



(a) Una rama de un puente

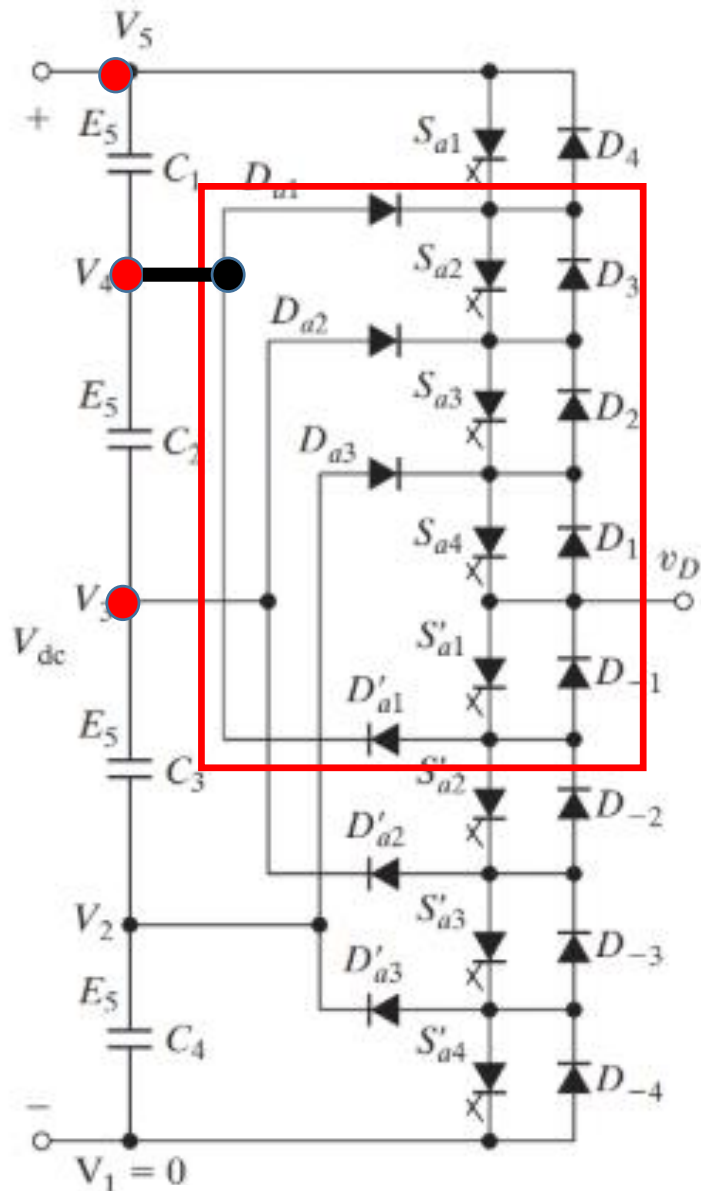
Salida $v_{ao}$	Estado de interruptor							
	$S_{a1}$	$S_{a2}$	$S_{a3}$	$S_{a4}$	$S'_{a1}$	$S'_{a2}$	$S'_{a3}$	$S'_{a4}$
$V_5 = V_{cd}$	1	1	1	1	0	0	0	0
$V_4 = 3V_{cd}/4$	0	1	1	1	1	0	0	0
$V_3 = V_{cd}/2$	0	0	1	1	1	1	0	0
$V_2 = V_{cd}/4$	0	0	0	1	1	1	1	0
$V_1 = 0$	0	0	0	0	1	1	1	1

**Siempre prendo de a N-1 llaves (CELDA)**

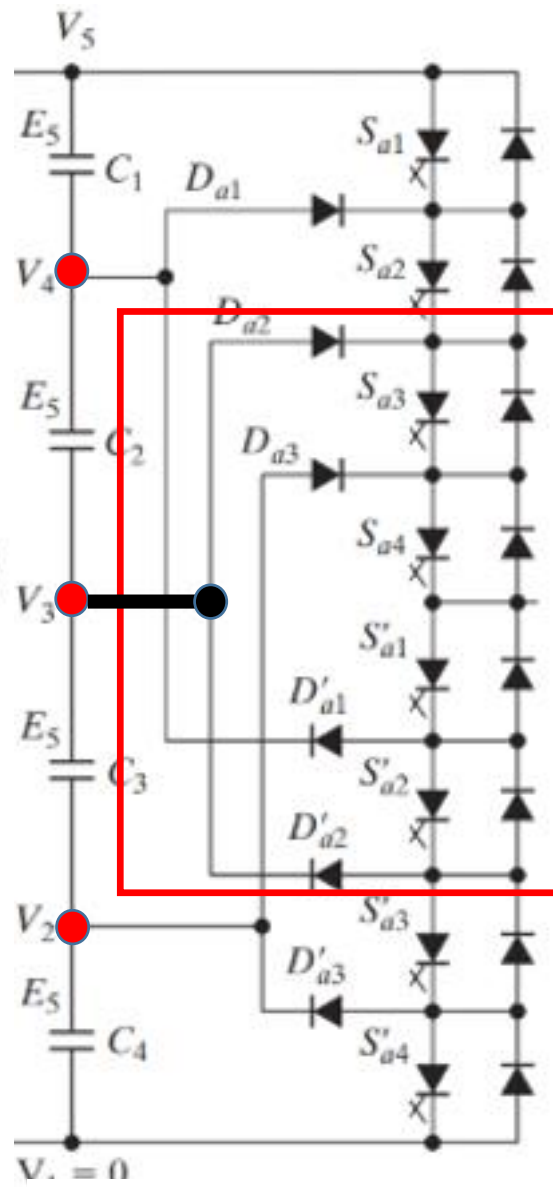
**Desde el centro hacia arriba o hacia abajo las llaves participan menos.**

**Los diodos Clamp bloquean voltajes dif.:  
 $[D_{a1}, D'_{a3}] = E$ ,  $[D_{a2}, D'_{a2}] = 2E$  y  $[D_{a3}, D'_{a1}] = 3E$**

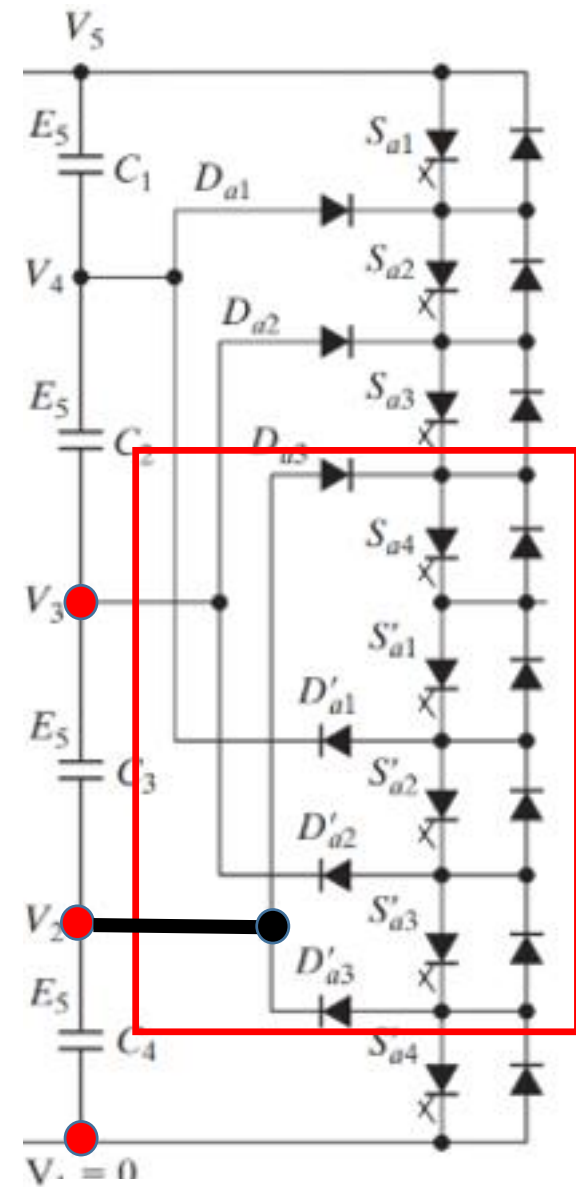
# Celdas de MN Clamp Cinco Niveles



**CELDA 1:  $2E$ ,  $E$  y  $0$**

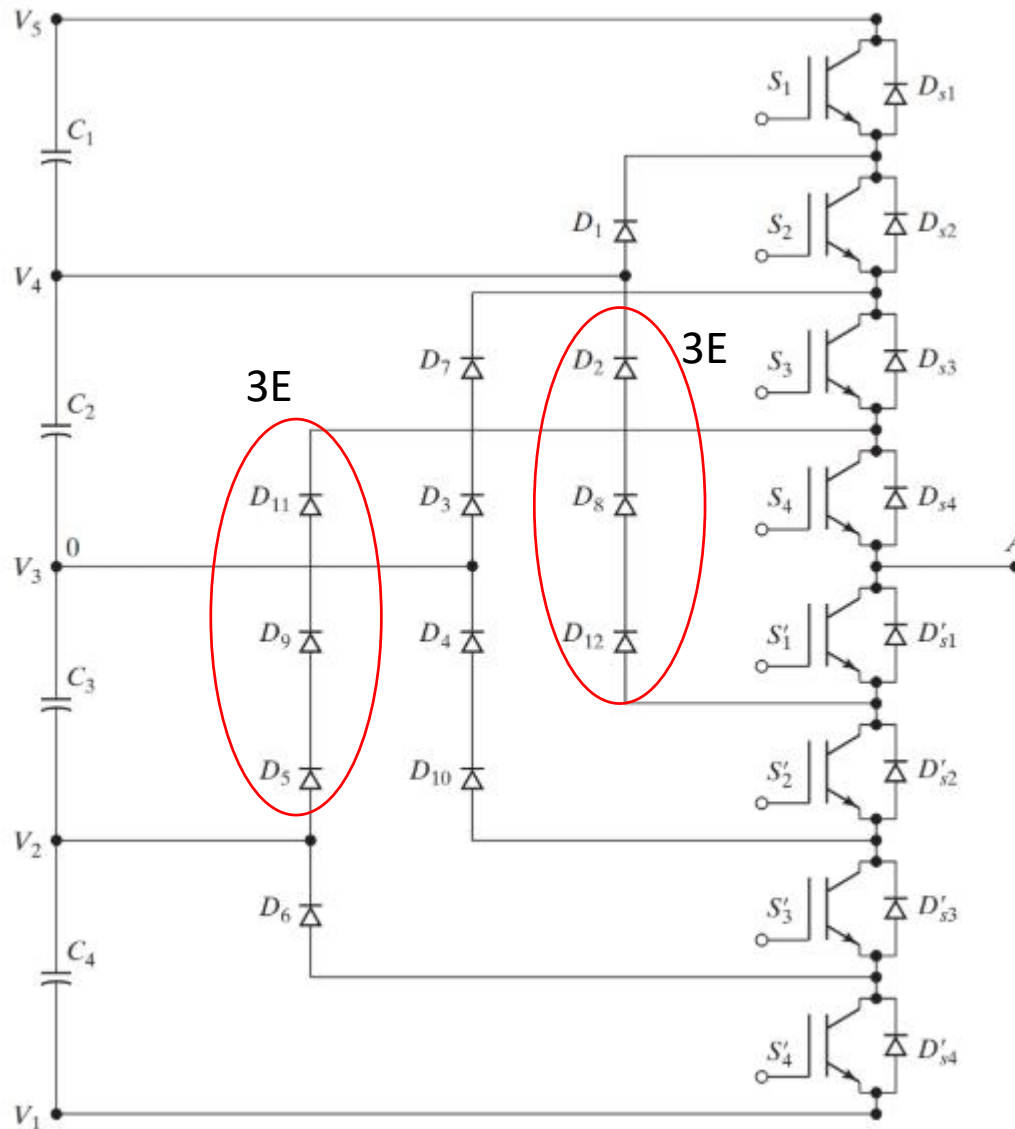


**CELDA 2:  $E$ ,  $0$  y  $-E$**



**CELDA 3:  $0$ ,  $-E$  y  $-2E$**

# Multinivel Clamp – Cinco Niveles

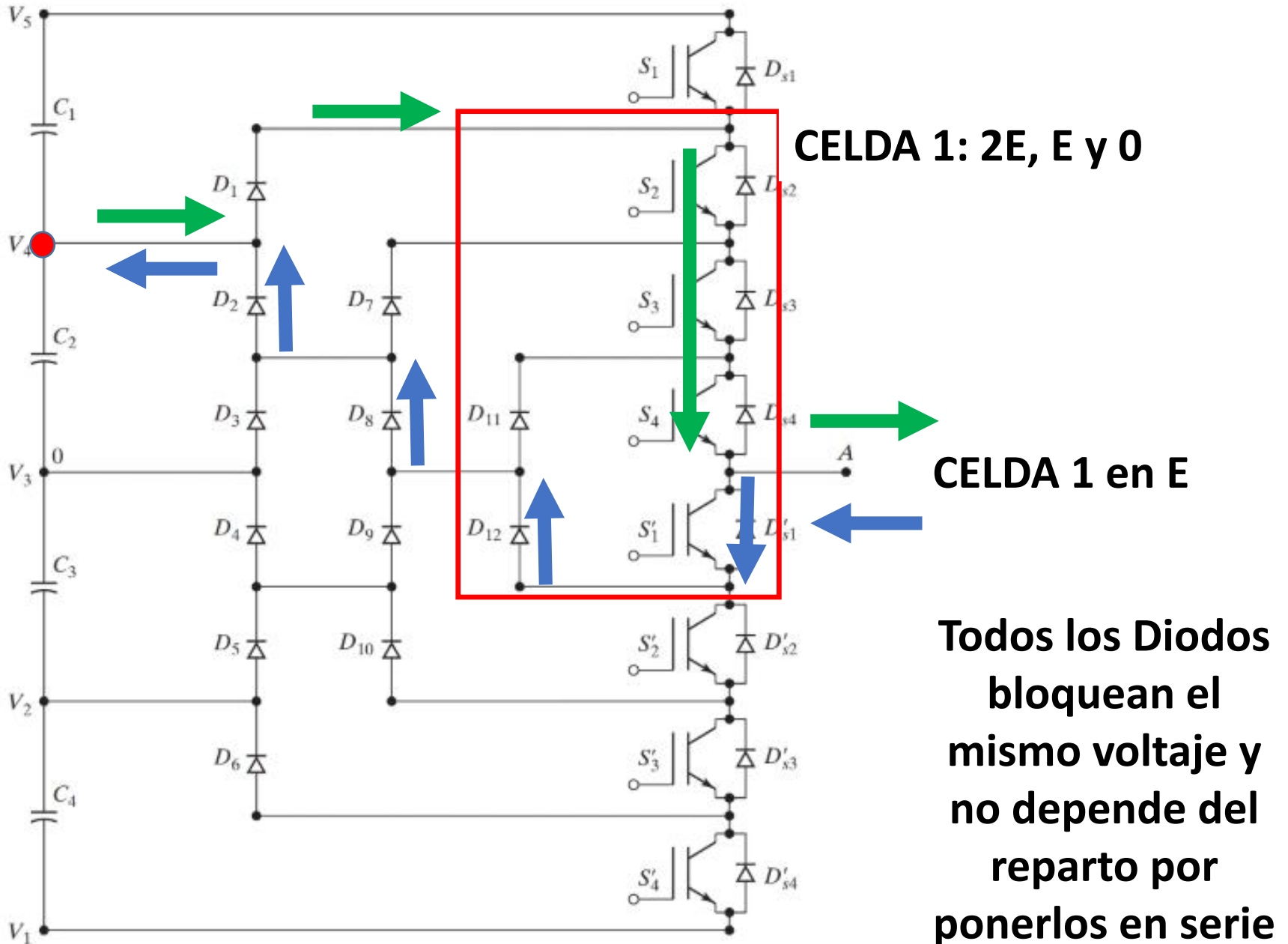


Cada diodo construido con determina cantidad de diodos en serie para que todos sean de iguales características.

D1 a D12 bloquean E

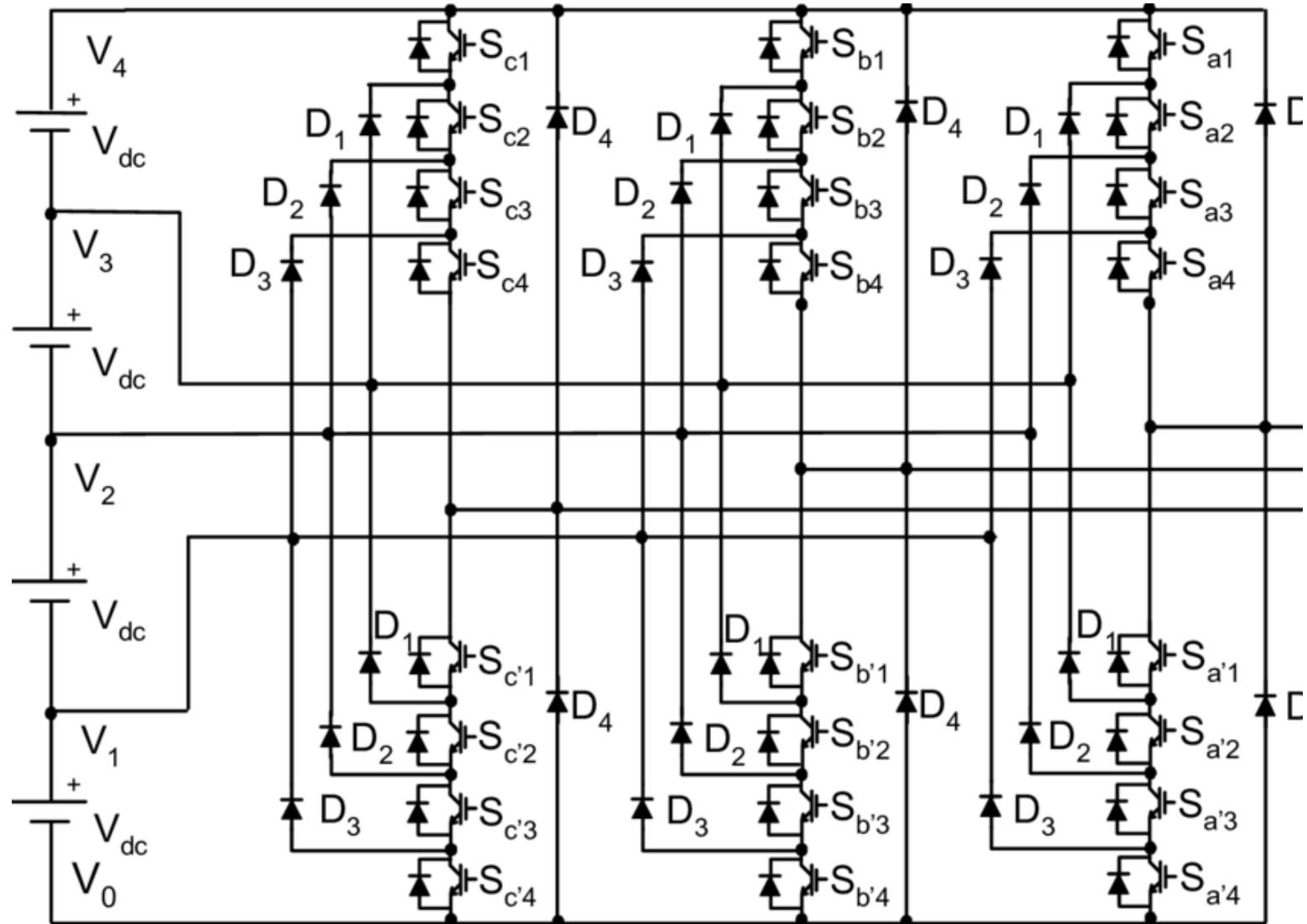
El reparto de voltaje entre diodos en serie no siempre es perfecto

# Multinivel Clamp – Cinco Niveles - Mejorado

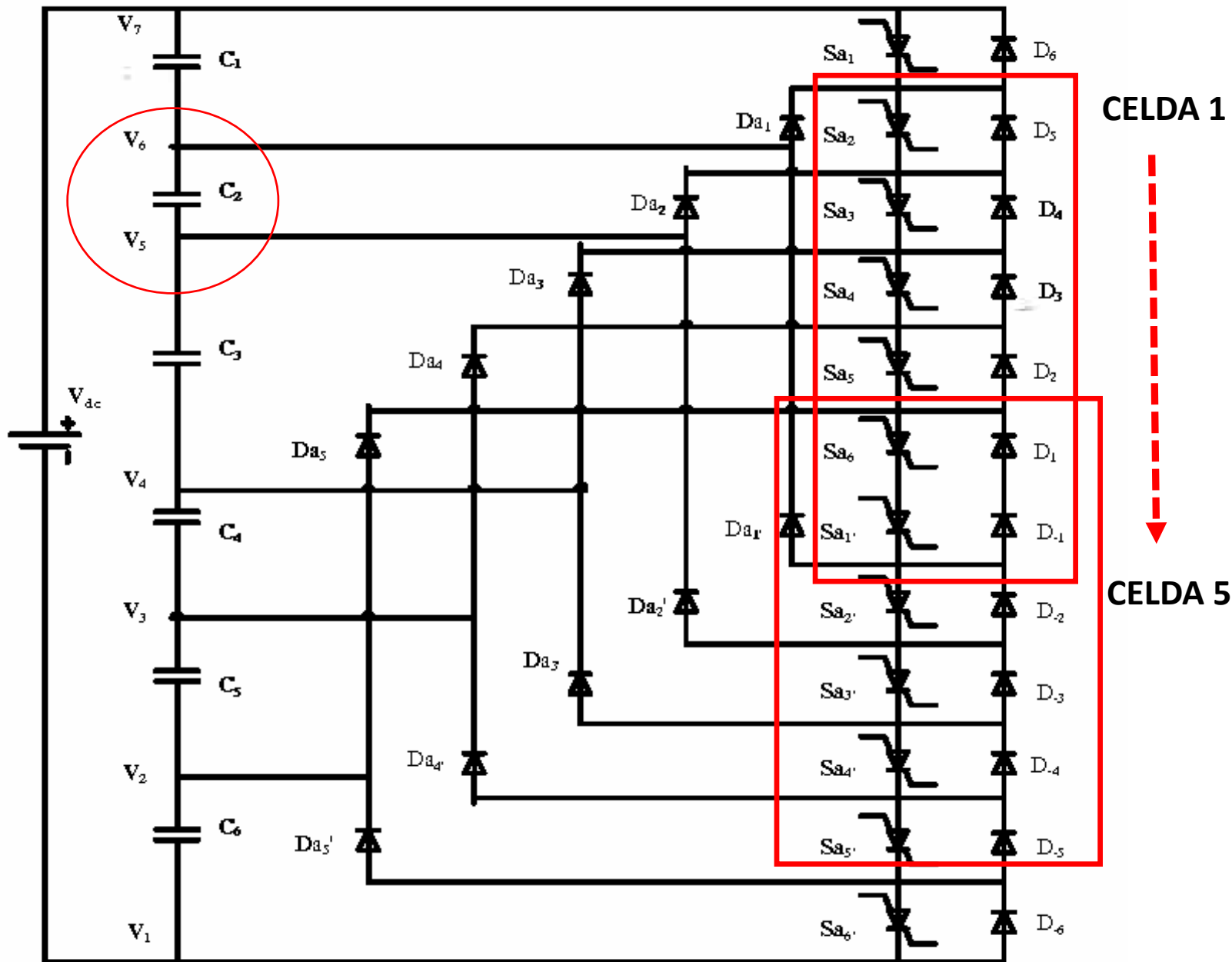




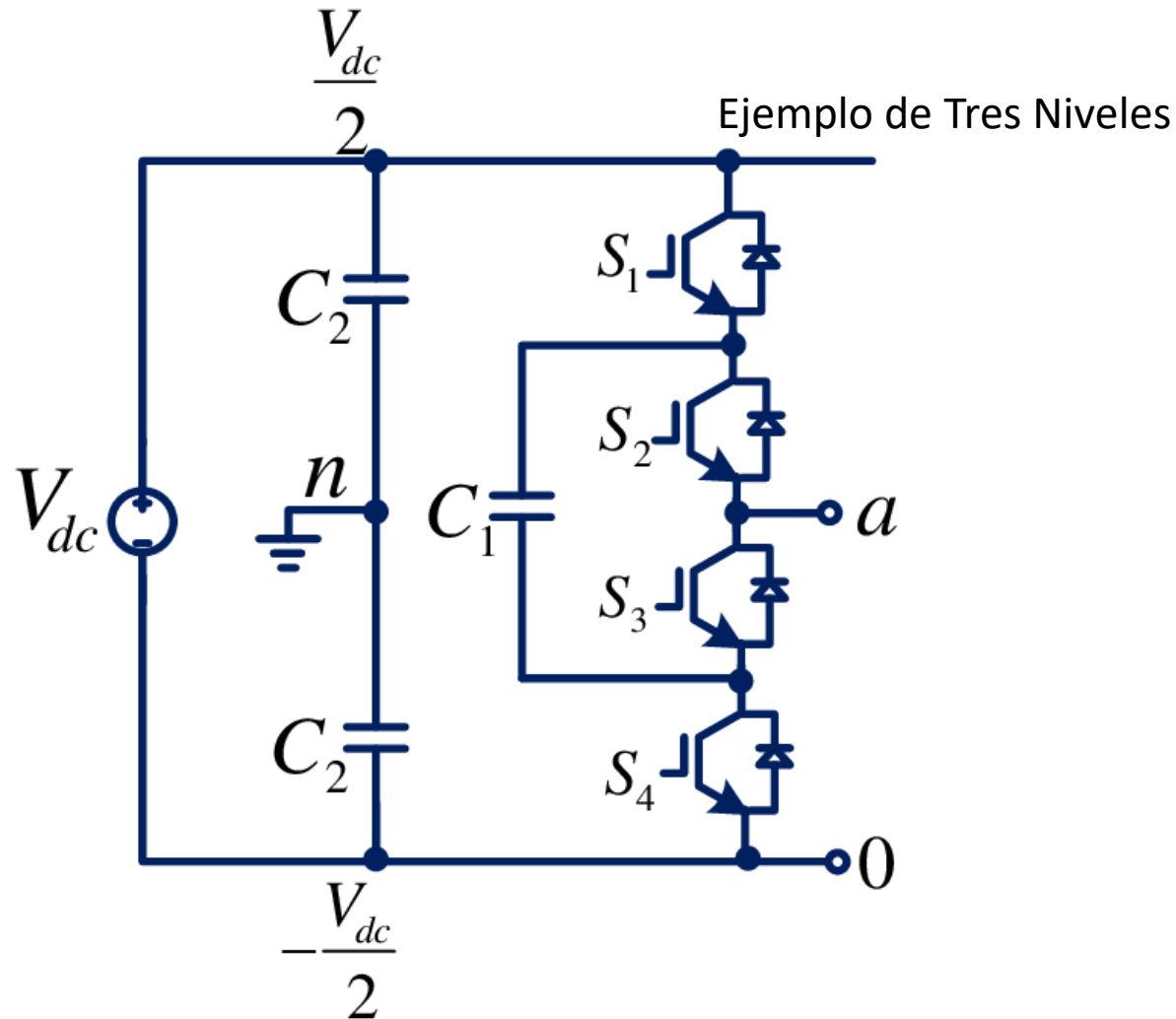
# Multinivel Clamp – Cinco Niveles Trifásico



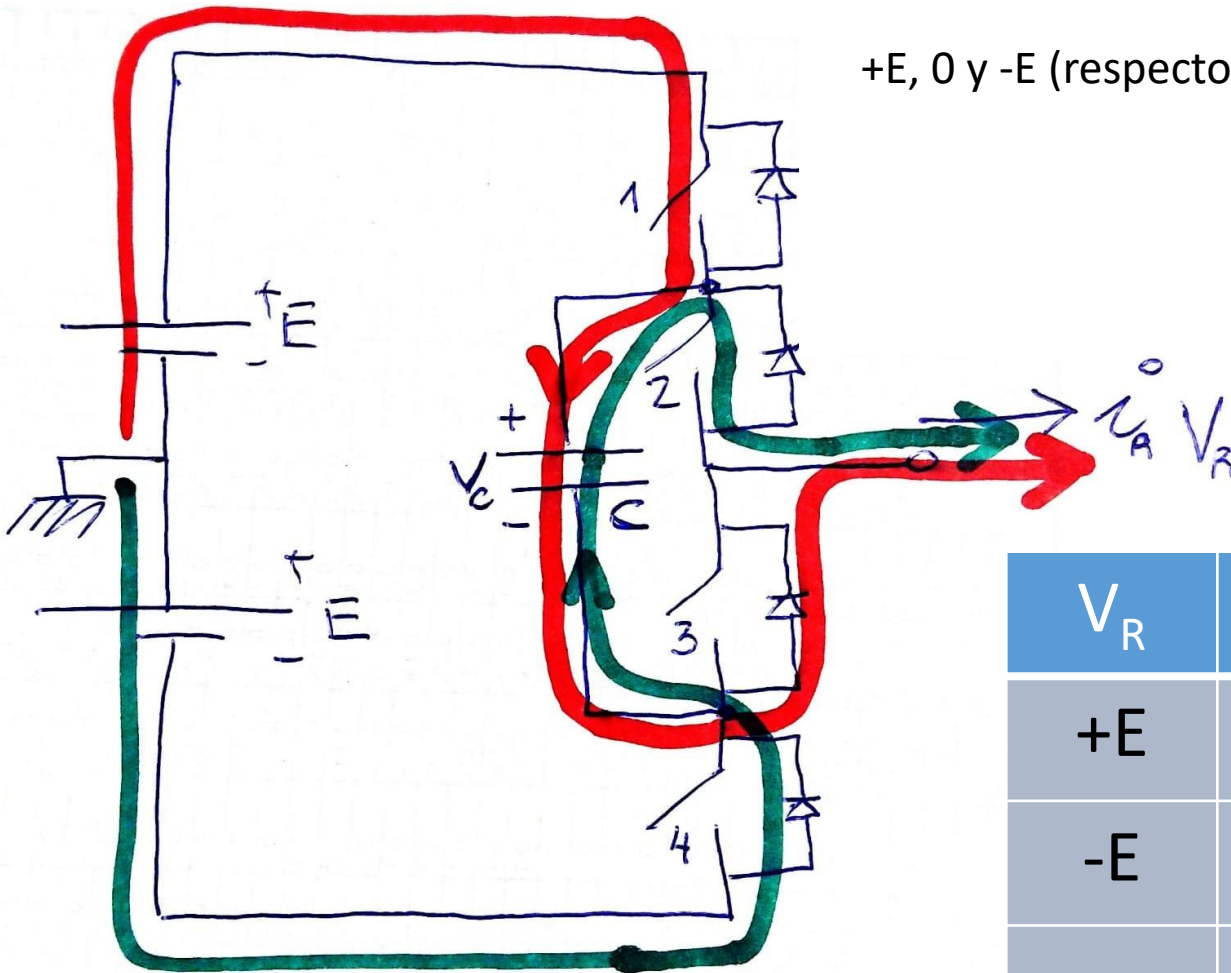
# Multinivel Clamp – Siete Niveles



# Inversores Multinivel con Condensadores Volantes



# Multinivel con Capacitor volante de Tres Niveles

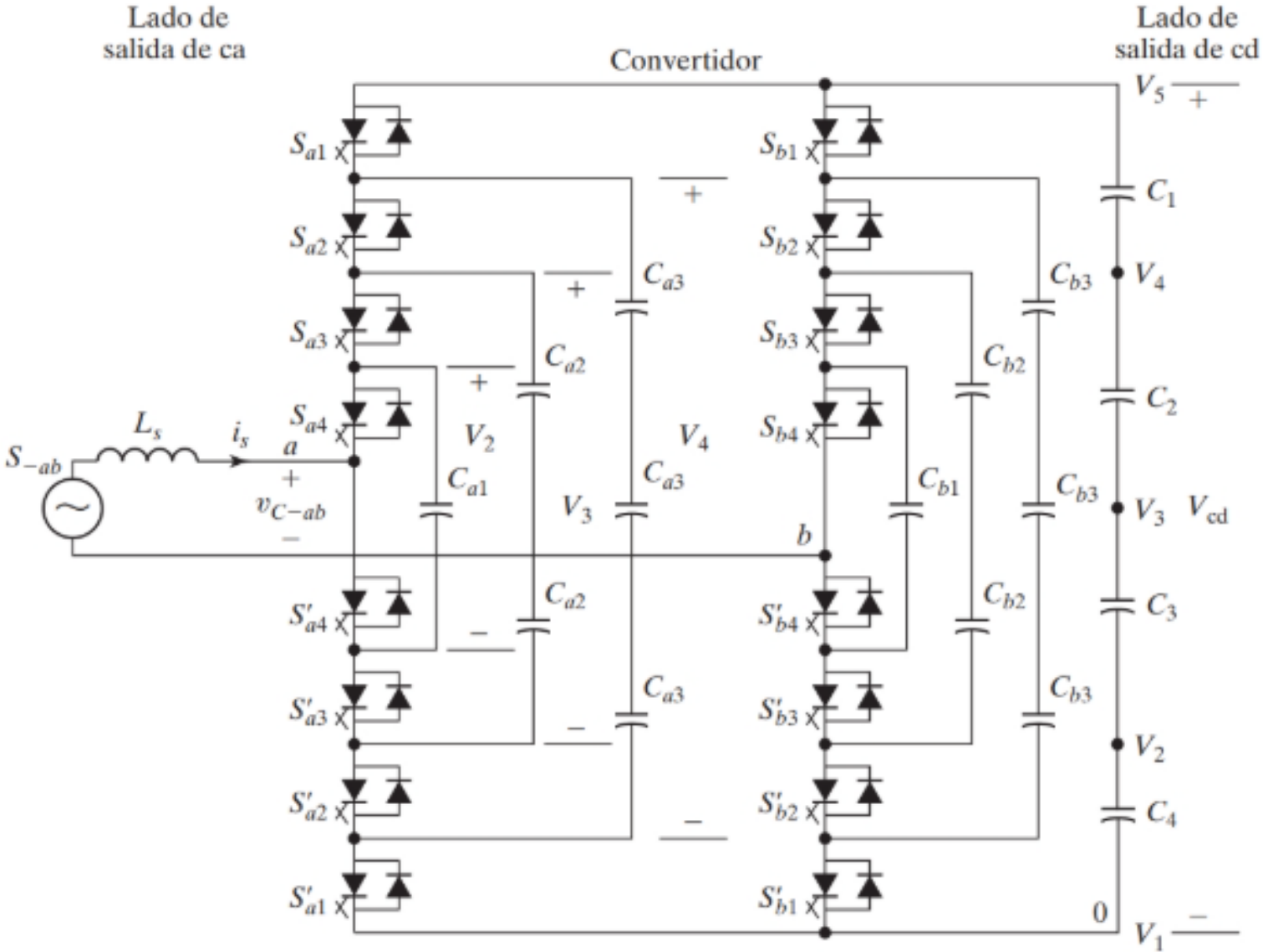


+E, 0 y -E (respecto al punto medio de las fuentes)

$V_R$	$i_R > 0$	$i_R < 0$	$V_C$
+E	1 y 2		Cte.
-E	3 y 4		Cte.
0	1 y 3	2 y 4	CARGA
	2 y 4	1 y 3	DESC.

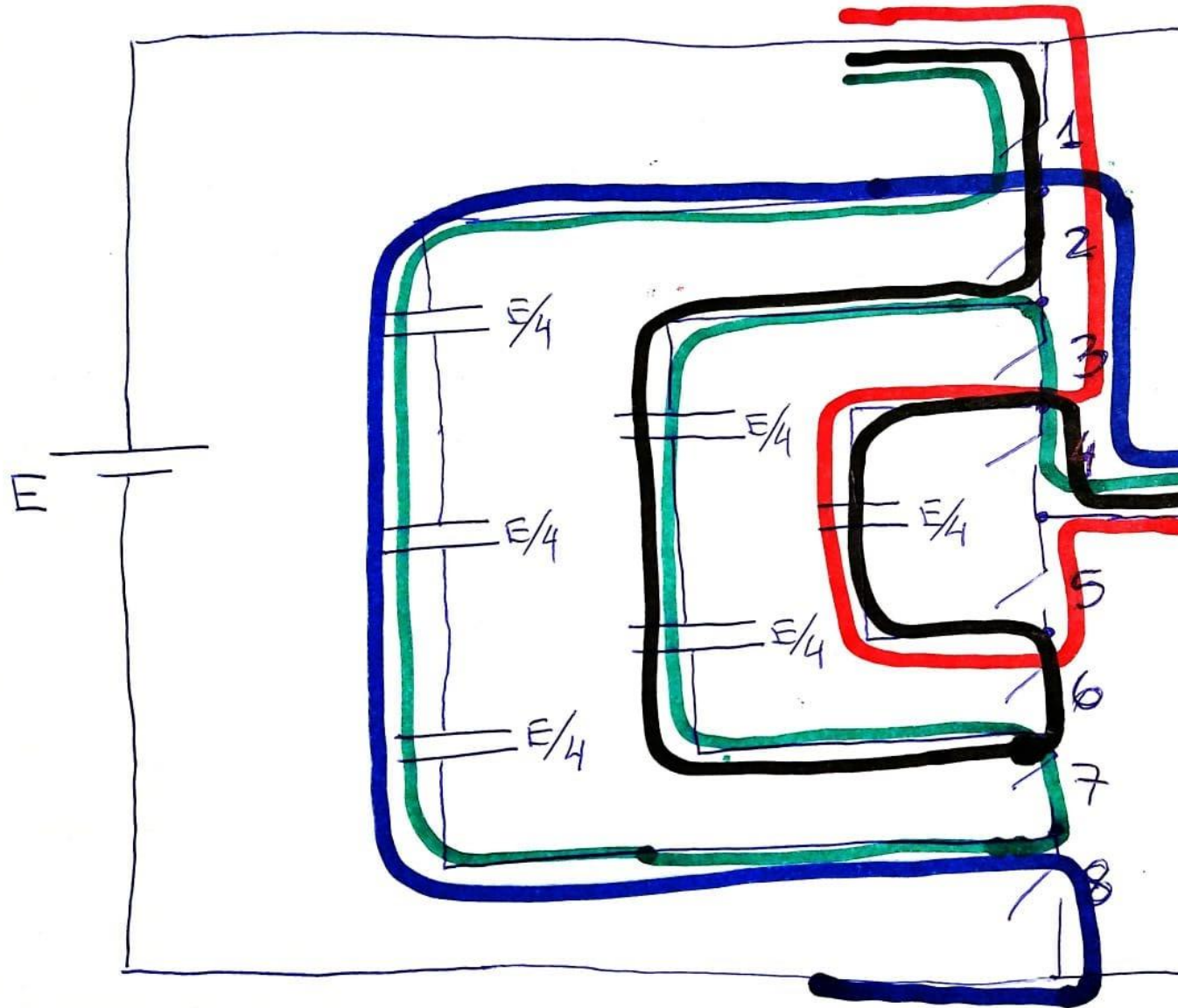
Mantener la tensión del condensador C es un tema adicional a considerar.

# Multinivel con Capacitor volante de Cinco Niveles



# Multinivel con Capacitor volante de Cinco Niveles

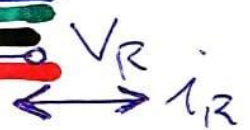
+E, +3E/4, +E/2, E/4 y 0 (respecto al 0 de E)



EJEMPLO

- 1, 2, 3 y 5 — (red line)
- 1, 2, 6 y 4 — (black line)
- 1, 7, 3 y 4 — (green line)
- 8, 2, 3 y 4 — (blue line)

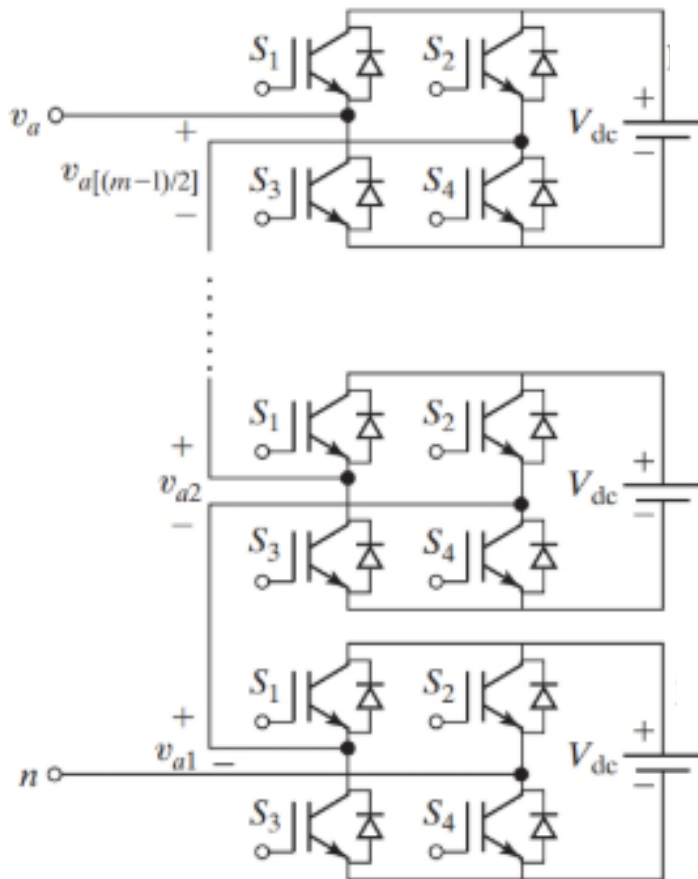
$$V_R = \frac{3}{4} E$$



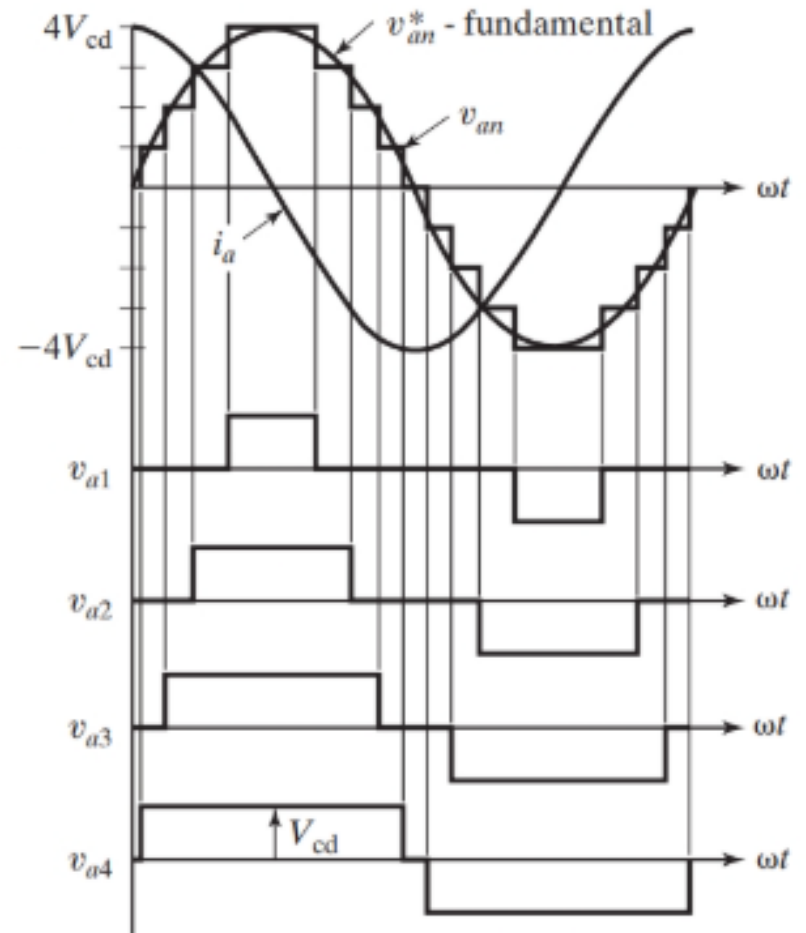
Según el SIGNO de  $i_R$  y de como estén los condensadores se elige opción.

# Inversor Multinivel en Cascada

Puentes H (Puentes Completos)



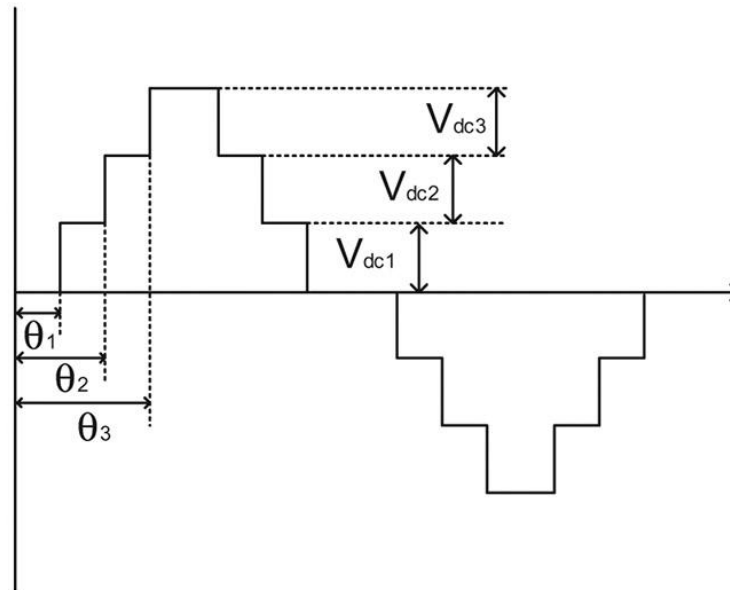
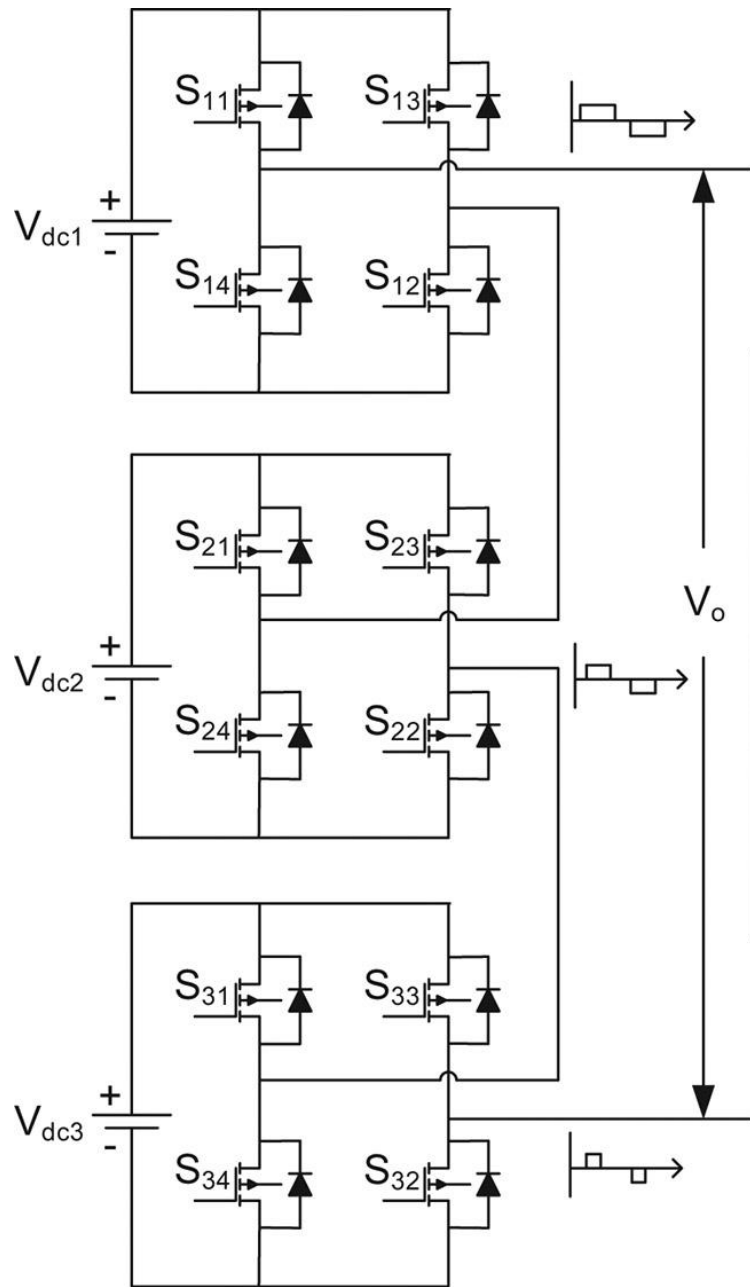
(a) Diagrama del circuito



(b) Forma de onda de salida de un voltaje de fase de nueve niveles

Cantidad de Niveles = Es el doble de la Cantidad de Inversores mas el nivel cero

# Siete Niveles con tres Inversores H



¿  $V_{dc1} = V_{dc2} = V_{dc3}$  ?  
No tienen por que ser iguales y da un grado adicional de libertad



# Multinivel – N Niveles de Igual tensión

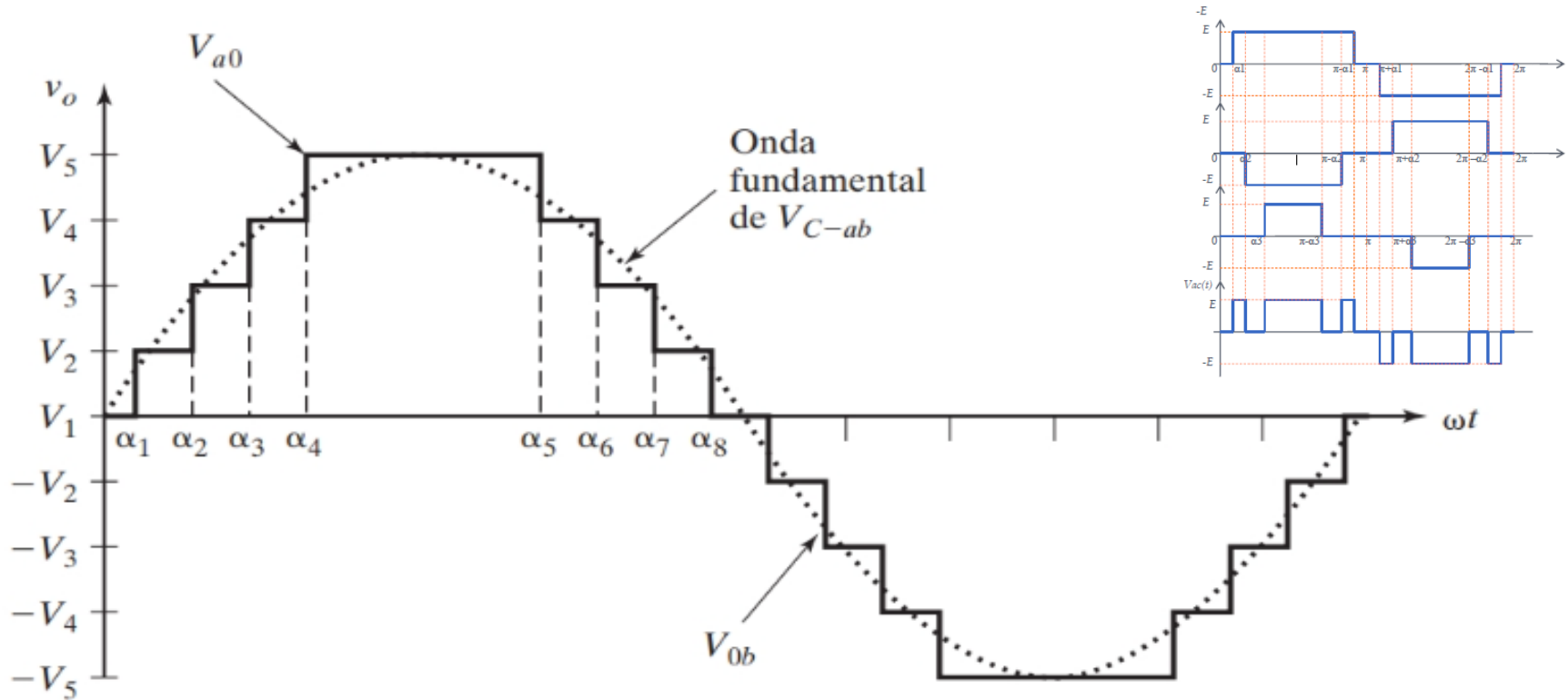
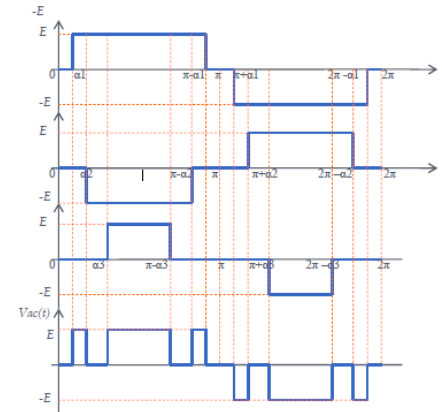
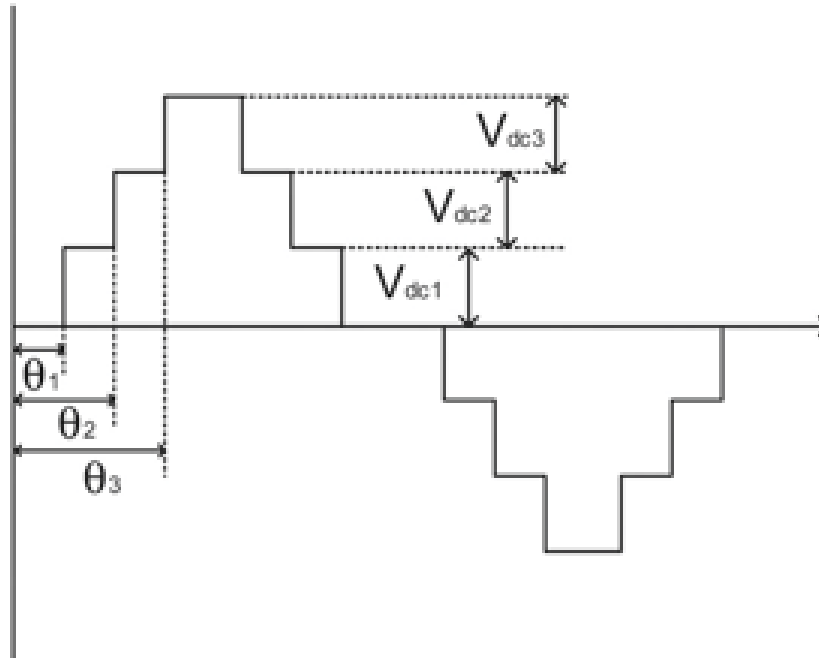


FIGURA 8.4

Formas de onda de voltaje de fase y fundamental de un inversor de cinco niveles.

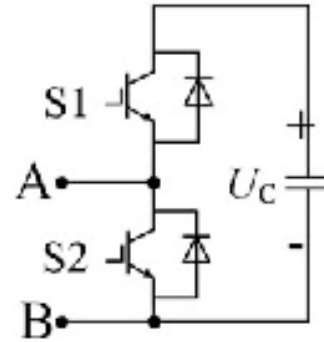
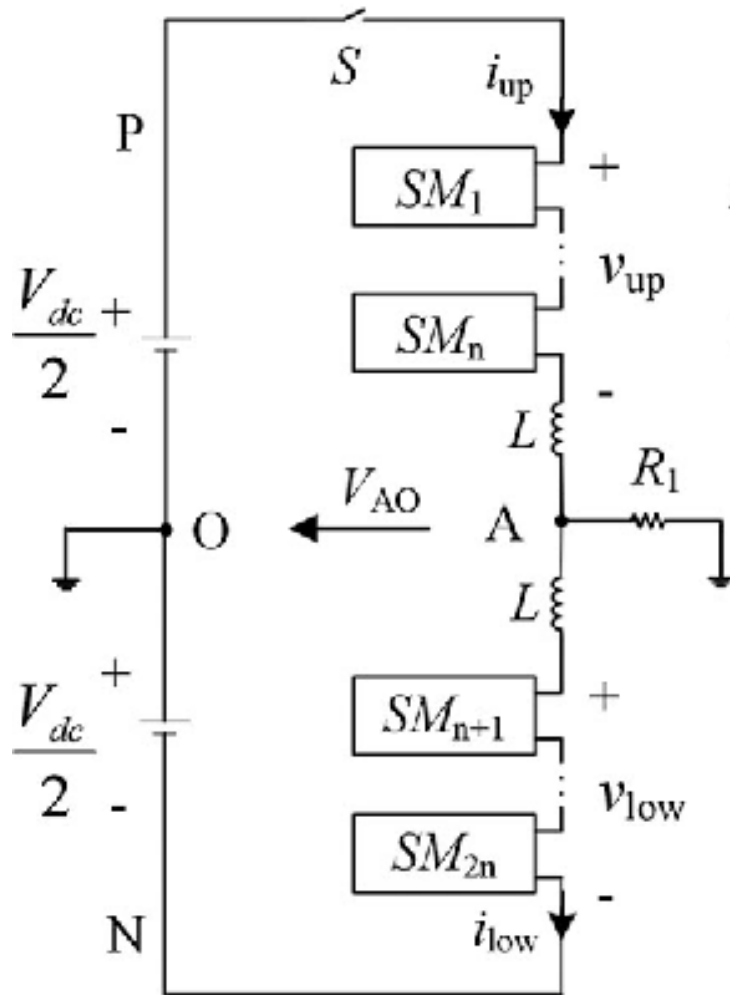
$$C_n = \frac{2E}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \left[ \sum_{k=1}^M (-1)^{k+1} \cos(n\alpha_k) \right] \quad \forall n \neq 2$$

# Multinivel – N Niveles de tensiones diferentes

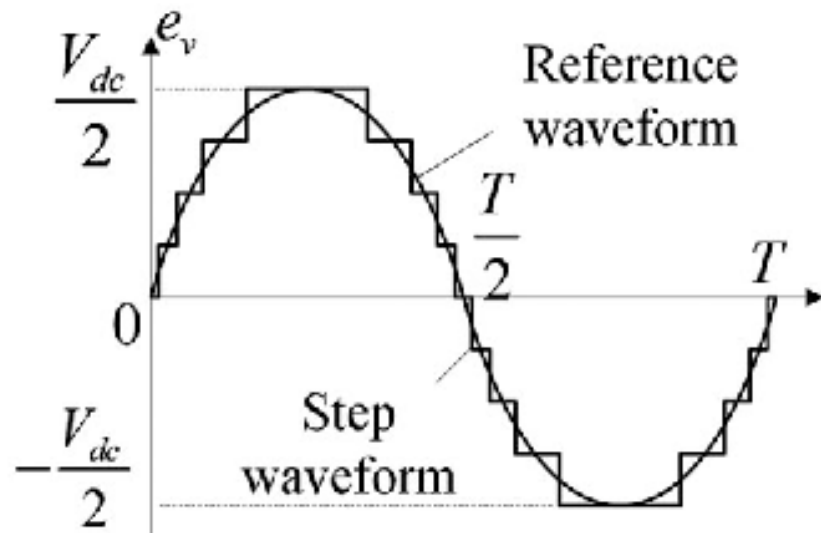


$$C_n = \frac{2}{\pi n} \sin\left(\frac{\pi n}{2}\right) \left[ \sum_{k=1}^M (-V_{dci}^{k+1}) \cos(n\theta_k) \right] \quad \forall n \neq 2$$

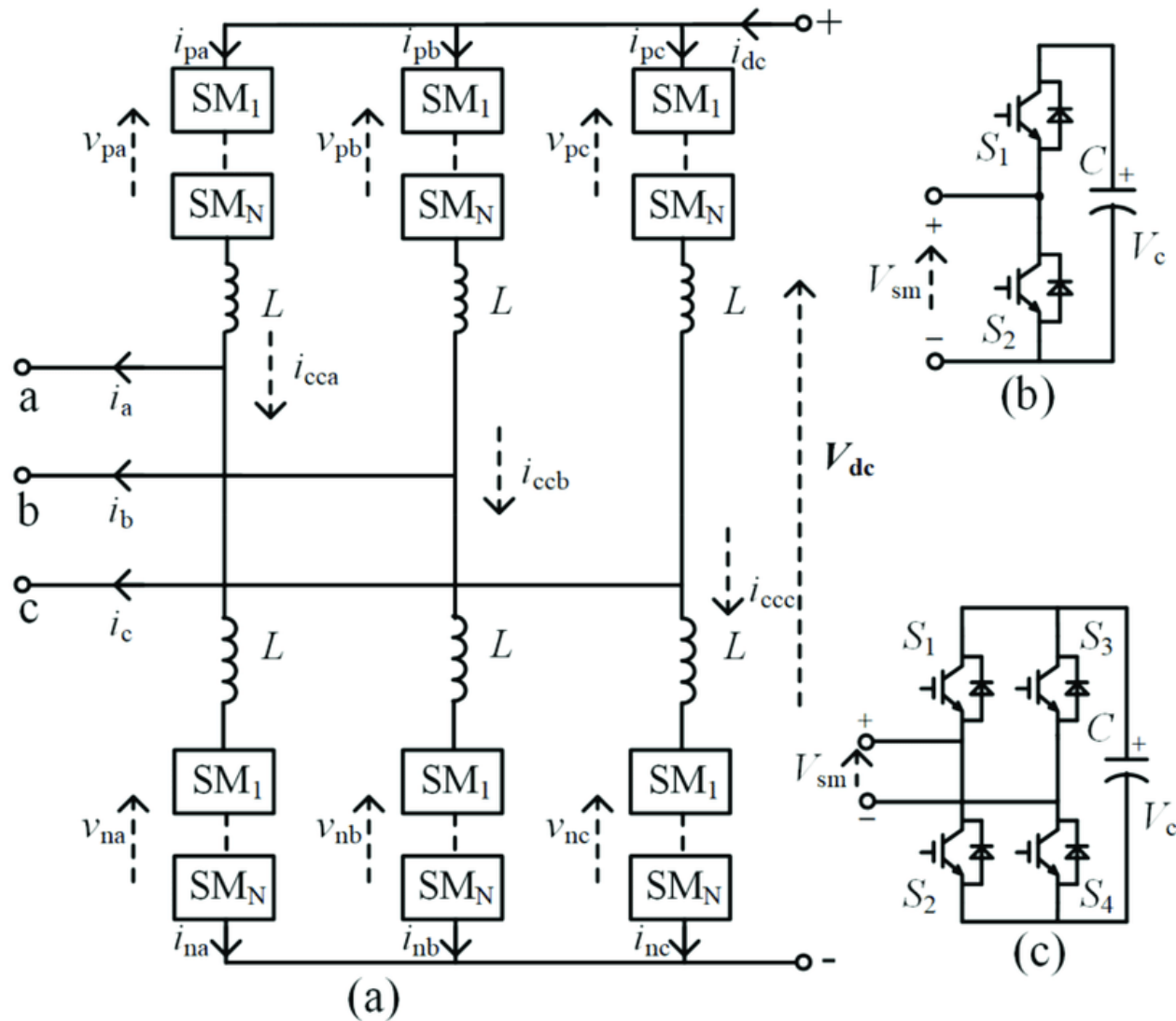
# Cascada de Medios Puentes



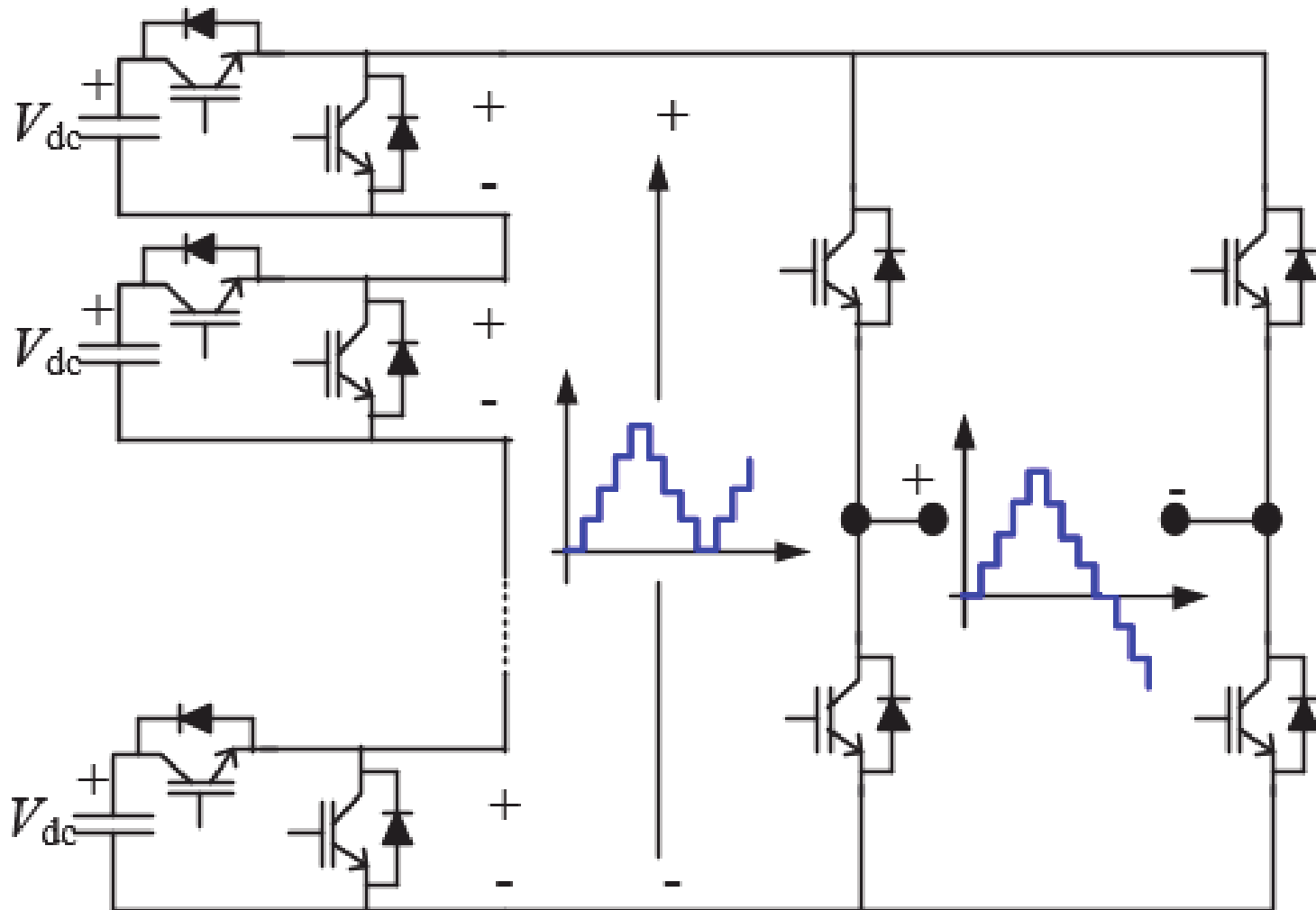
- Una sola polaridad de salida
- No ayudan a despejar CC



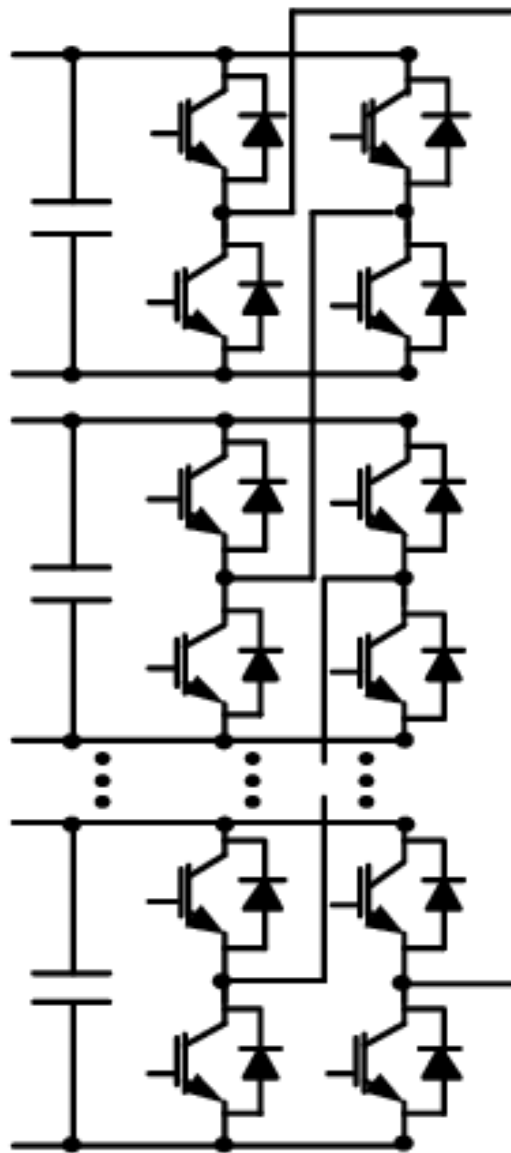
# Medios puentes o puentes completos



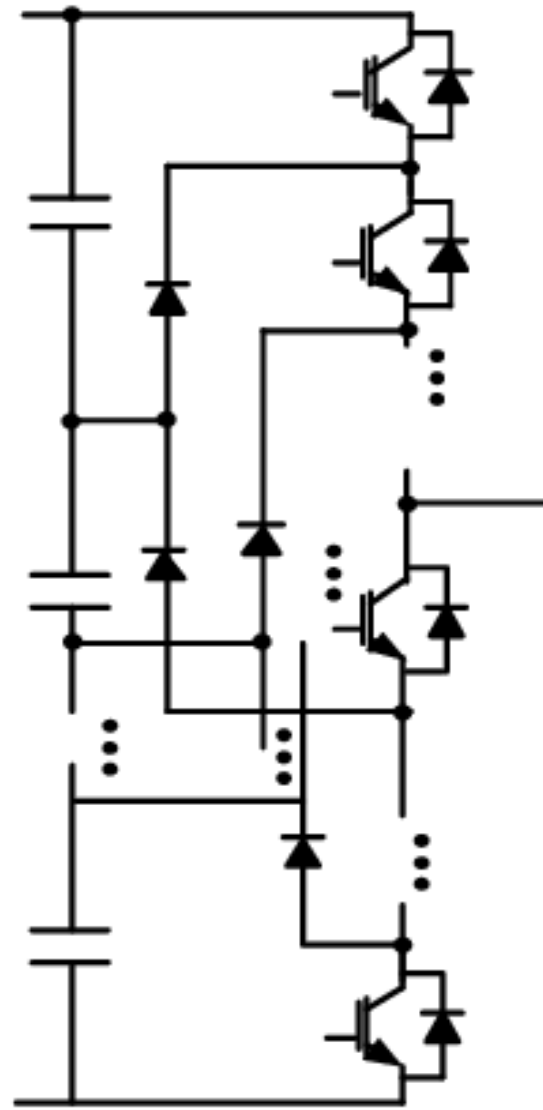
Ideas no faltan...



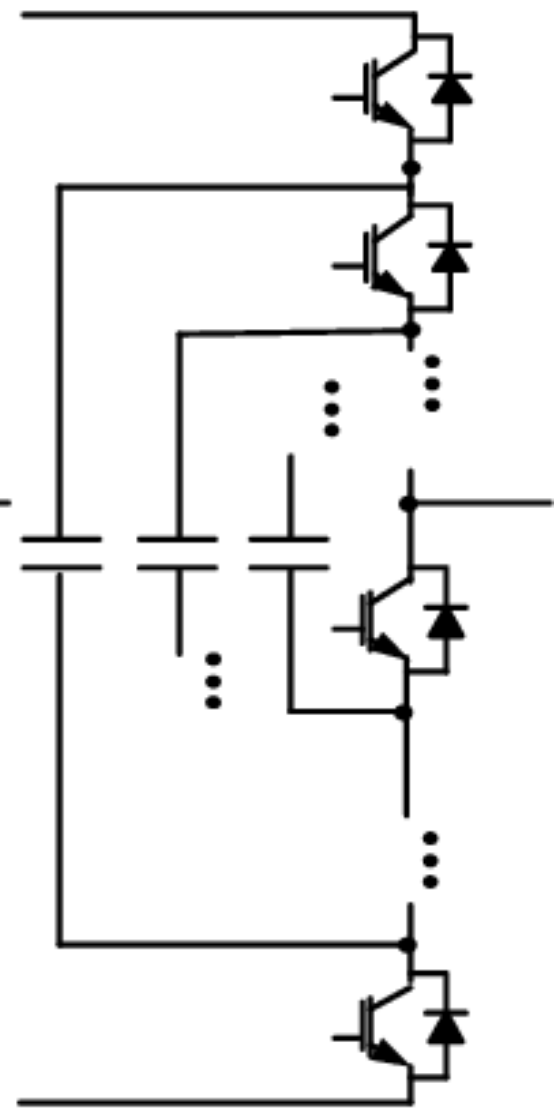
# Resumen: Topologías Multinivel usuales



(a) Cascaded H-Bridge (CHB)



(b) Diode Clamped (NPC)



(c) Flying capacitor (FC)

# Conclusiones sobre Inversores Multinivel

- Son adecuados para altas tensiones y corrientes.
- Se usan en controles de velocidad de motores simples, HVDC y FACTS donde bajas THD y tensiones sinusoidales son el principal objetivo.
- Logran reducir la THD con bajas pérdidas de conmutación lo cual:
  - Mejora la eficiencia,
  - Baja la interferencia electromagnética.
- Pueden tener un control complejo ya que la tensión de los condensadores (ya sea de las tensiones de entrada o de los capacitores volantes) se deben hacer en correspondencia con la corriente de carga.
- En los inversores en cascada se necesitan fuentes de tensión de dc aisladas entre si, pero también podrían ser necesarias en el caso de necesidad de balancear tensiones de entrada de las N etapas de los Clampeados o Volantes.