



**CEI** UPM

Centro de  
Electrónica  
Industrial

# 1194. Electrónica de Potencia

**Inversores No Modulados**

[cei@upm.es](mailto:cei@upm.es)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



**POLITÉCNICA**



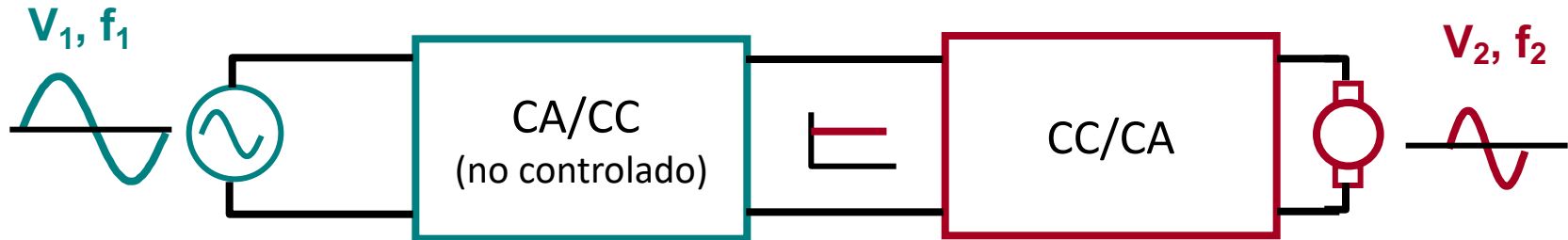




# Introducción

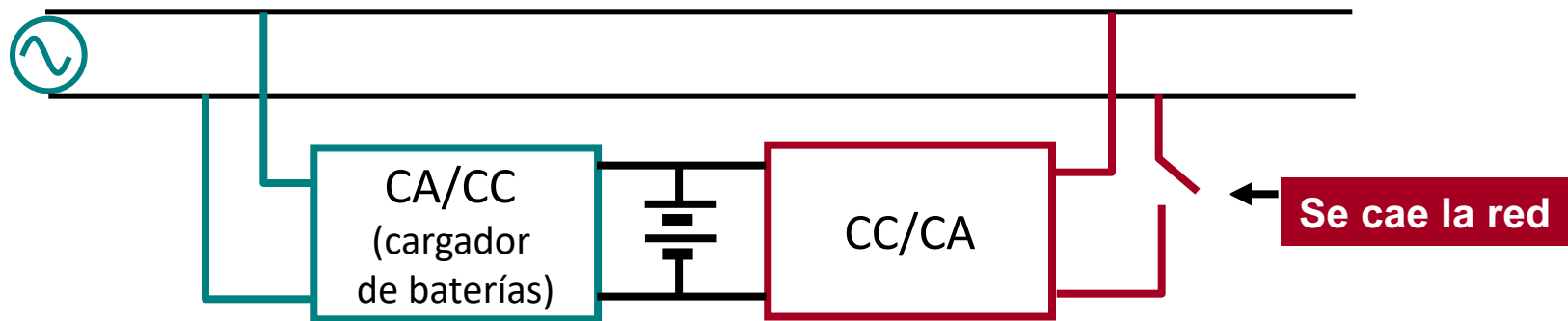
Las aplicaciones principales de los inversores son:

**Control de motores: se necesita tener tensión y frecuencia ajustables para controlarlos**



**Sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)**

*Uninterruptible Power Systems (UPS)*



**También son abundantes las aplicaciones para vehículos (coches, trenes, barcos, aviones, ...) que trabajan desde la tensión de la batería**

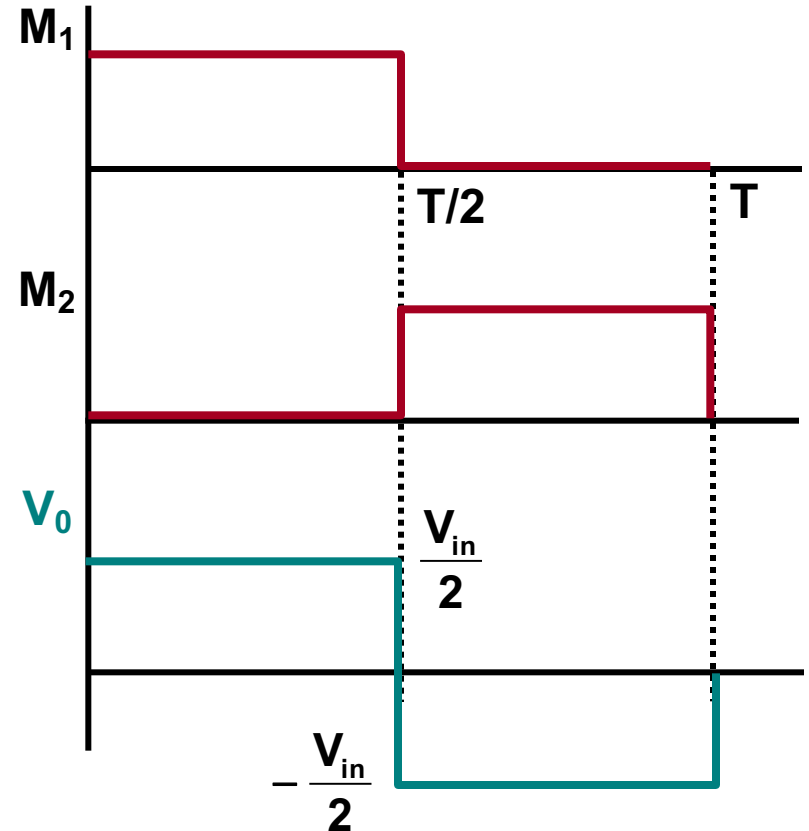
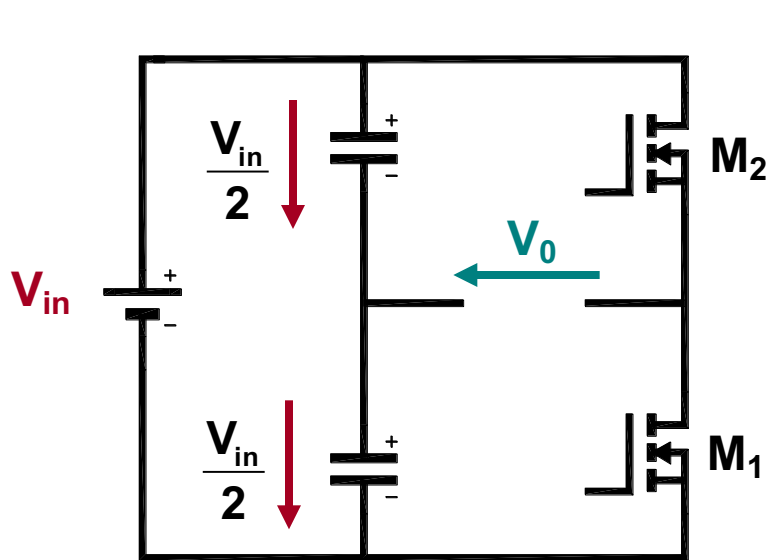




# Topologías básicas de inversores

Son topologías ya vistas en los convertidores CC/CC con aislamiento

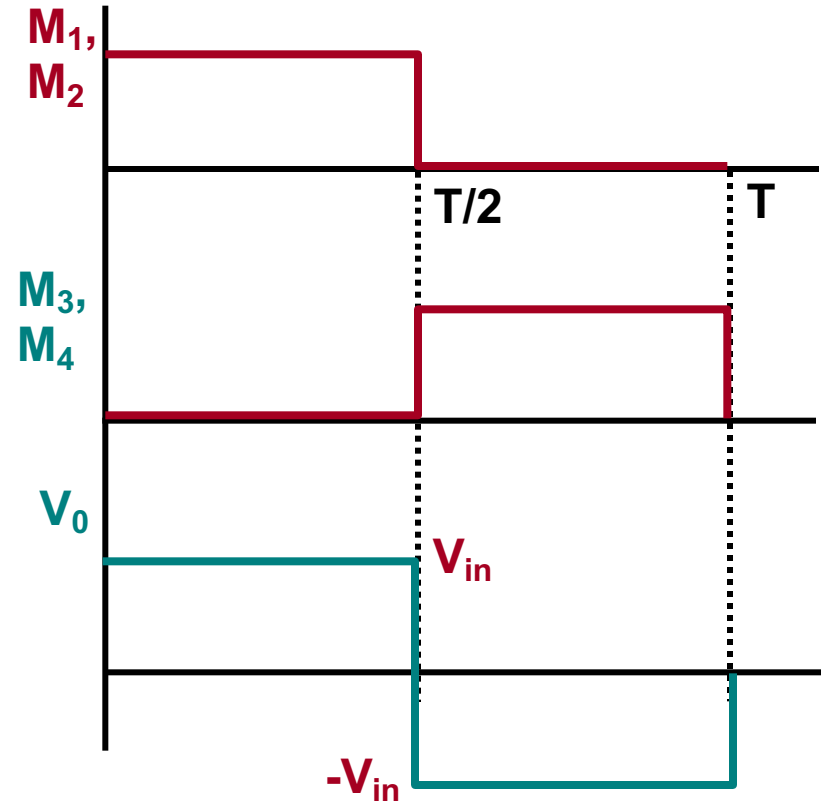
## Inversor en Medio Puento



La tensión de salida ( $V_0$ ) es alterna (valor medio nulo)  
Forma de onda cuadrada



## Inversor en Puente Completo

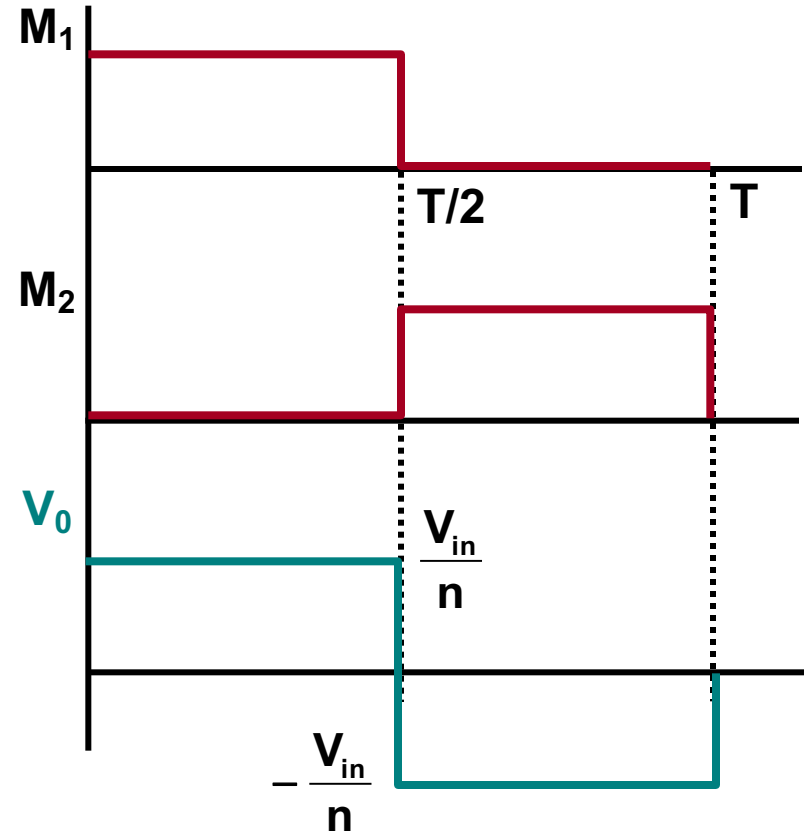
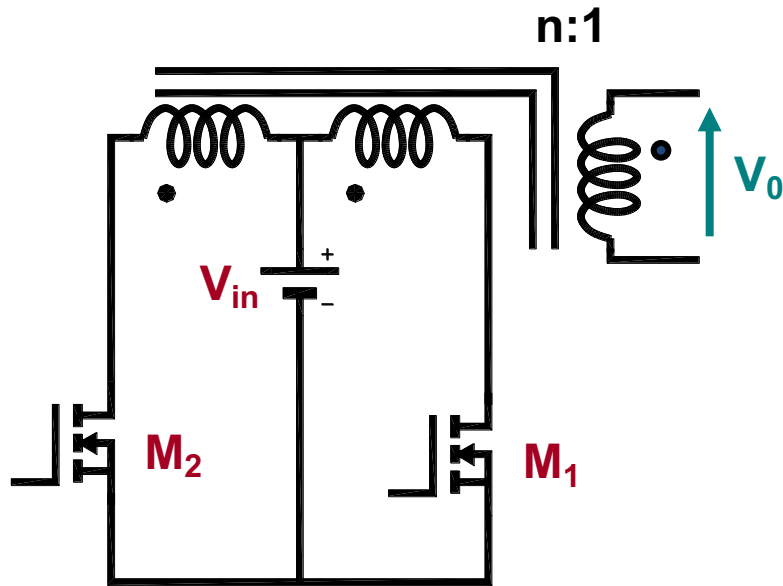




# Topologías básicas de inversores

## Inversor en Push-Pull

Necesariamente con transformador



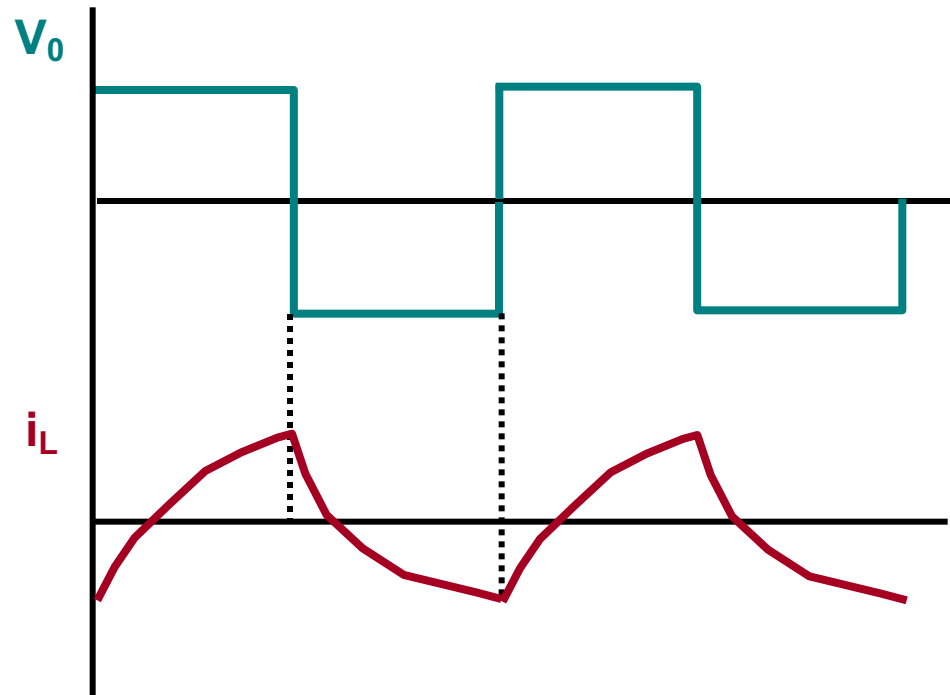
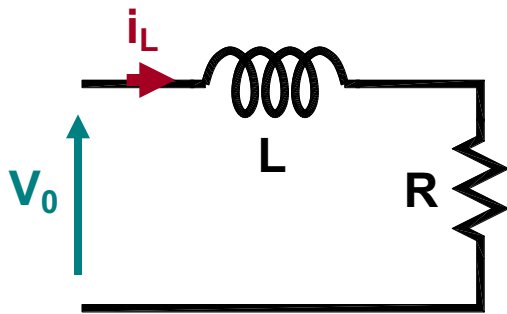
En los tres inversores básicos, la forma de onda es cuadrada



## Formas de onda con carga RL

Cuando la carga es puramente resistiva, la corriente tiene la misma forma de onda que la tensión

Con una carga con componente inductivo es necesario hacer una serie de consideraciones ya que la corriente por los interruptores debe ser bidireccional



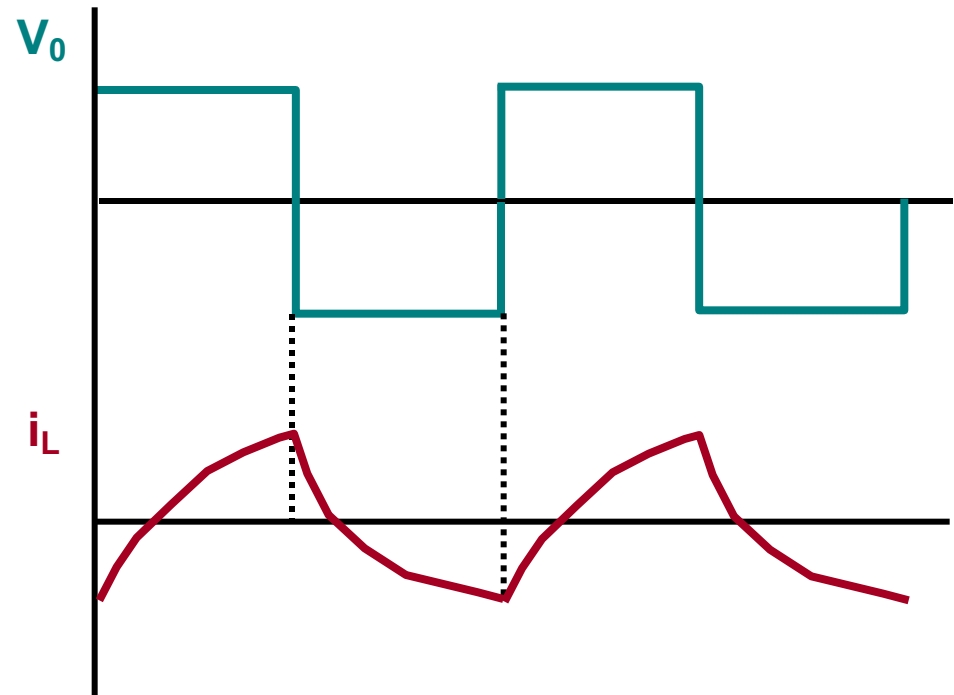
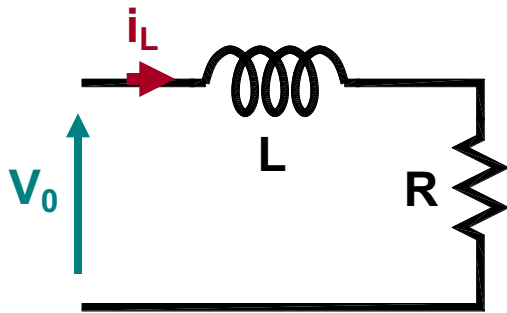
Excitando una carga RL con una forma de onda cuadrada, la forma de onda de la corriente es la que se muestra en la figura



# Formas de onda con carga RL

## Influencia de la frecuencia:

- Carga aproximadamente R
- Carga aproximadamente L (justificar valor medio cero de la intensidad en L real)
- Carga RL genérica



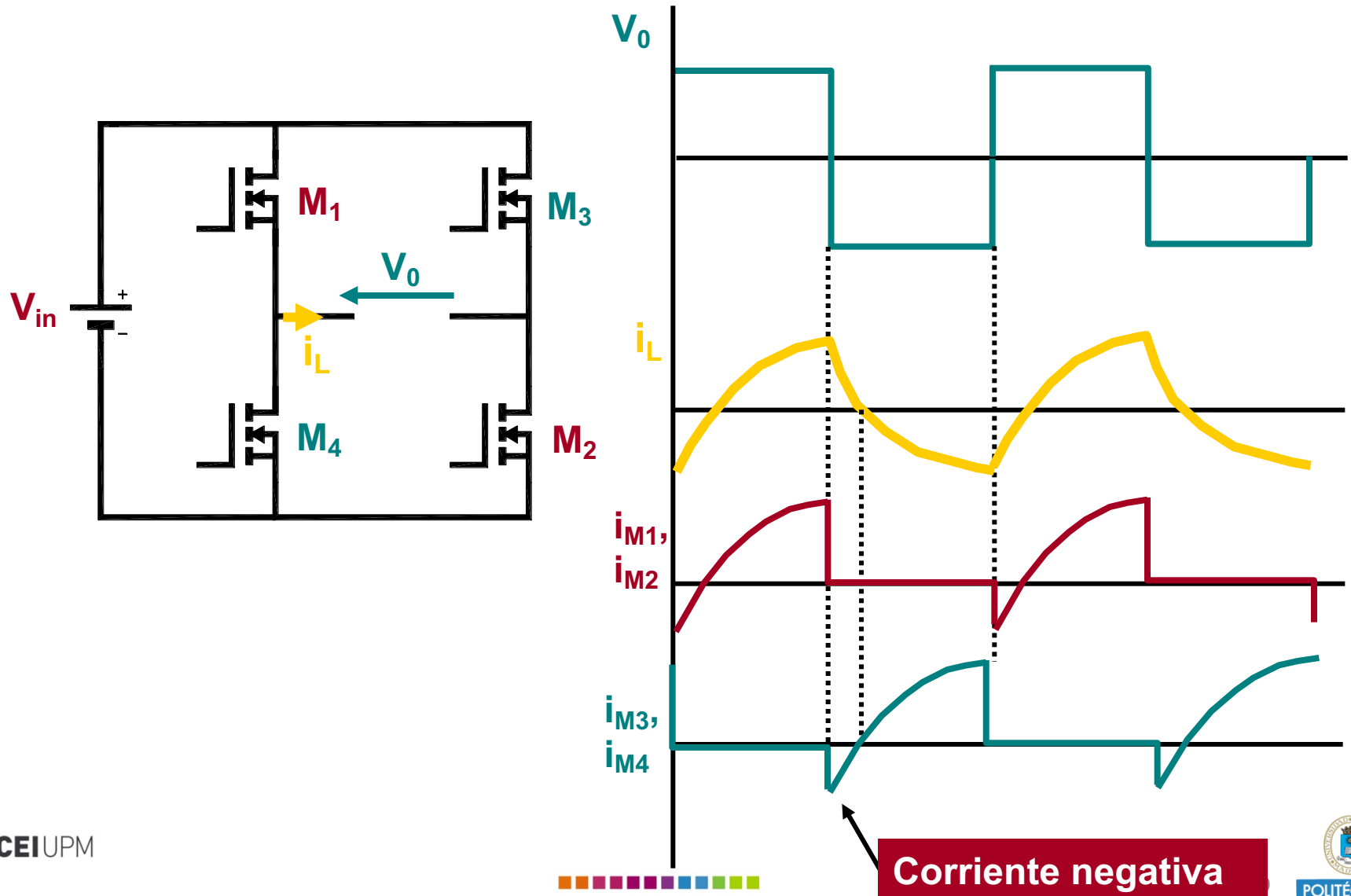
## Cálculo de la potencia activa:

- $v * i_L$  es correcto
- $R * i_L^2$  es correcto
- $v^2 / R$  es INCORRECTO !!



# Formas de onda con carga RL

Esta forma de onda de corriente exige que los interruptores sean bidireccionales



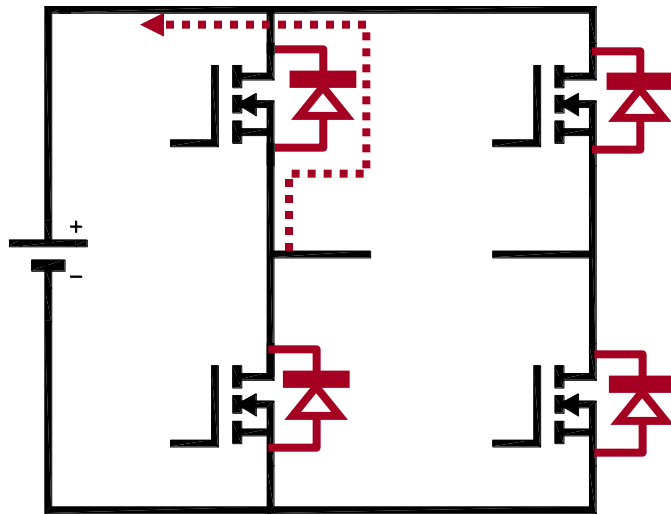


# Formas de onda con carga RL

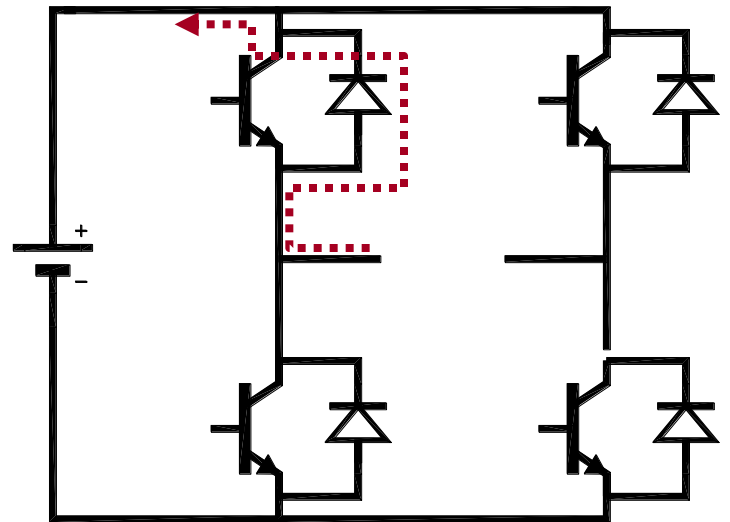
Para conseguir esa conducción de corriente bidireccional, se utilizan diodos

Los MOSFET tienen el diodo parásito

No es necesario añadir otro



Con bipolares o IGBTs es necesario añadir uno externo



Corriente negativa

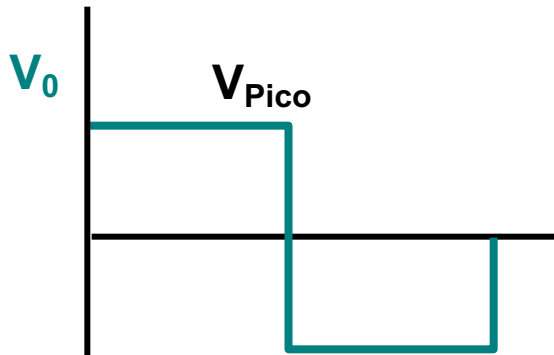


# Análisis mediante series de Fourier

El método de las series de Fourier resulta muy práctico para analizar formas de onda y potencias entregadas o absorbidas por partes de un circuito complejo


En la carga, la potencia absorbida será:  $P = R \cdot \sum_{n=1}^{\infty} I_{n\_ef}^2$

En el caso de una forma de onda cuadrada, las series de Fourier sólo tienen los armónicos impares:



$$v_0(t) = \sum_{n\_impares} \frac{4 \cdot V_{Pico}}{n\pi} \cdot \text{sen}(n\omega_0 t)$$

Ahora, la amplitud de la forma de onda de corriente se calcula:

$$I_n = \frac{V_n}{z_n} = \frac{V_n}{\sqrt{R^2 + (n\omega_0 L)^2}}$$




# Distorsión armónica

La forma de onda que se obtiene con un inversor de onda cuadrada no es demasiado buena en comparación con una senoidal.

Al tratarse de un inversor (cuyo propósito es proporcionar una forma de onda alterna), es interesante cuantificar la calidad de la forma de onda

La distorsión armónica total (DAT) de la forma de onda de tensión será:

$$DAT = \sqrt{\frac{V_{ef} - V_{1ef}}{V_{1ef}}}$$

El valor eficaz de la forma de onda cuadrada es:

$$V_{ef} = V_{Pico}$$

El valor eficaz del primer armónico es:

$$V_{1ef} = \frac{4V_{Pico}}{\sqrt{2} \cdot \pi}$$

**Por tanto:**  $DAT_v = 0,483$  (48.3%)

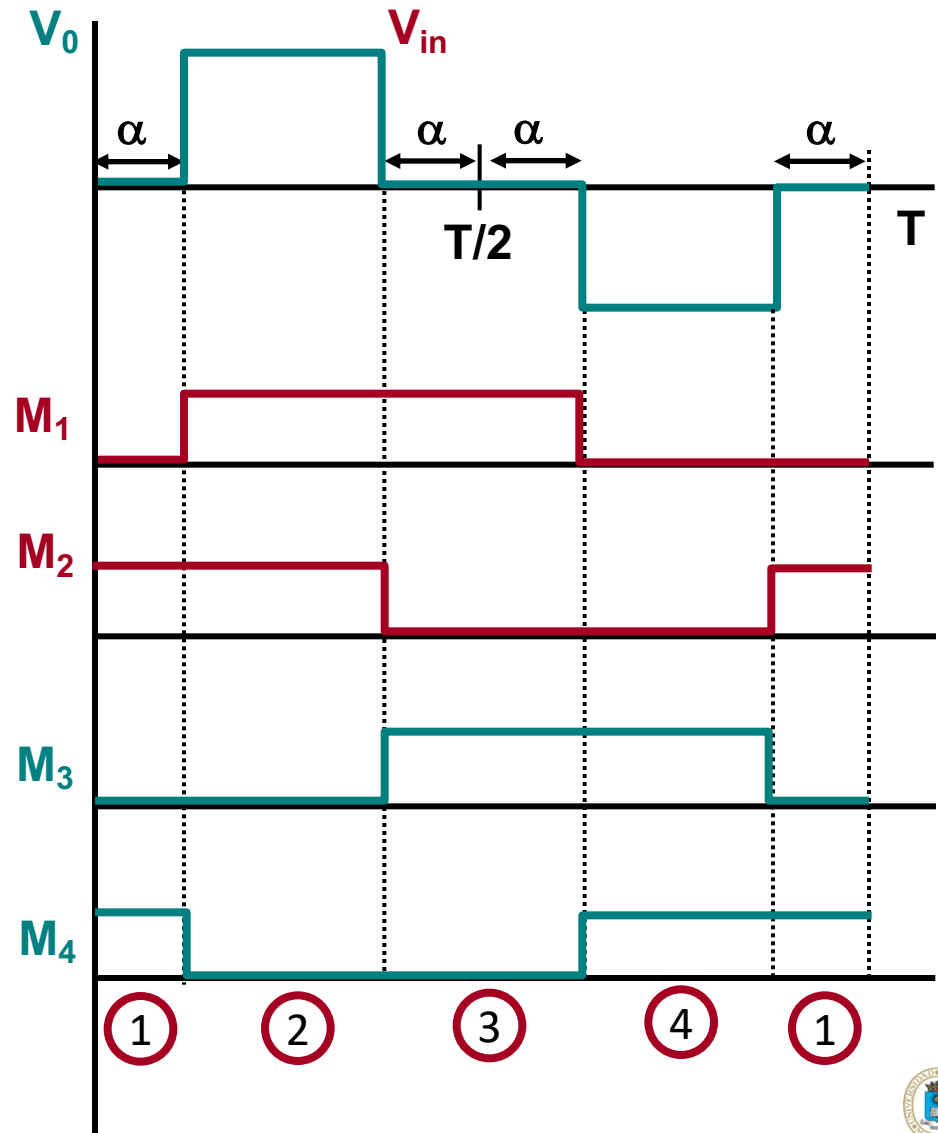
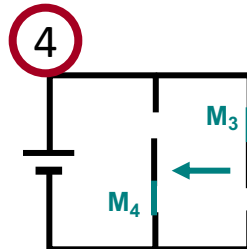
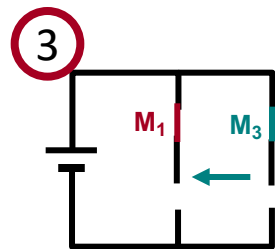
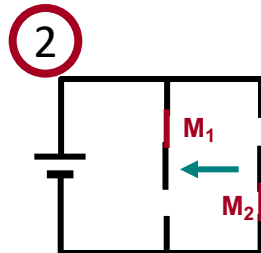
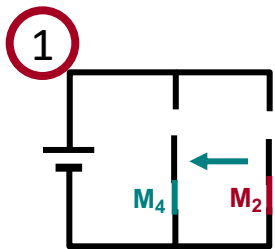
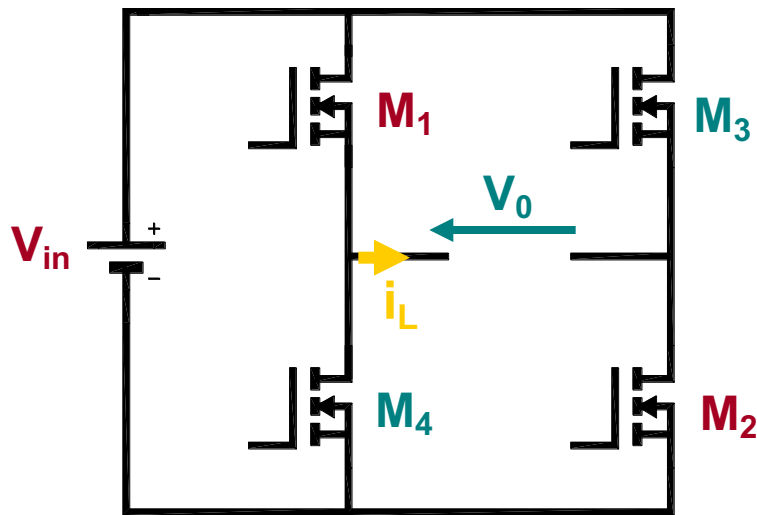


**Con el esquema de conmutación que hemos visto, la única posibilidad para controlar la amplitud de la tensión de salida es cambiando el valor de la tensión de entrada**



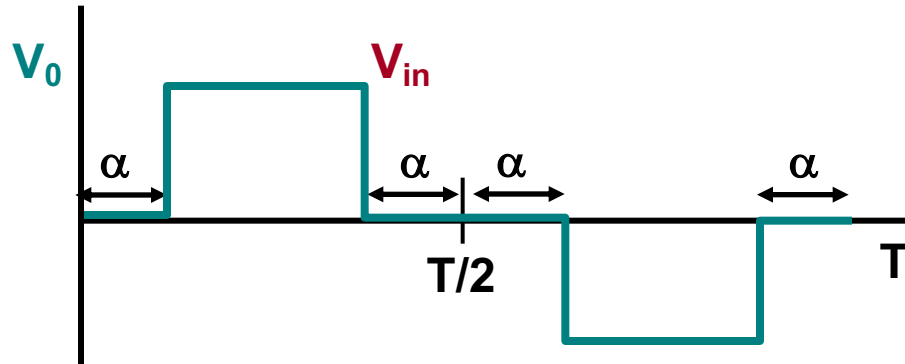


Otra opción es cambiar levemente el esquema de conmutación





# Control de armónicos y de amplitud



En esta forma de onda, el valor eficaz es:  $V_{ef} = V_{in} \sqrt{1 - \frac{2\alpha}{\pi}}$

La serie de Fourier será:  $v_0(t) = \sum_{n_{\text{impares}}} V_n \cdot \text{sen}(n\omega_0 t)$

Donde la amplitud de cada armónico es:  $V_n = \frac{4V_{in}}{n\pi} \cdot \cos(n\alpha)$

**Controlando  $\alpha$  podemos controlar la amplitud de los armónicos.**

**En el caso del armónico fundamental:  $V_1 = \frac{4V_{in}}{\pi} \cdot \cos(\alpha)$**

Otra posible aplicación es la eliminación de armónicos. Eligiendo el  $\alpha$  adecuado podemos eliminar un armónico concreto. P.ej: con  $\alpha=30^\circ$ , se elimina el tercer armónico.

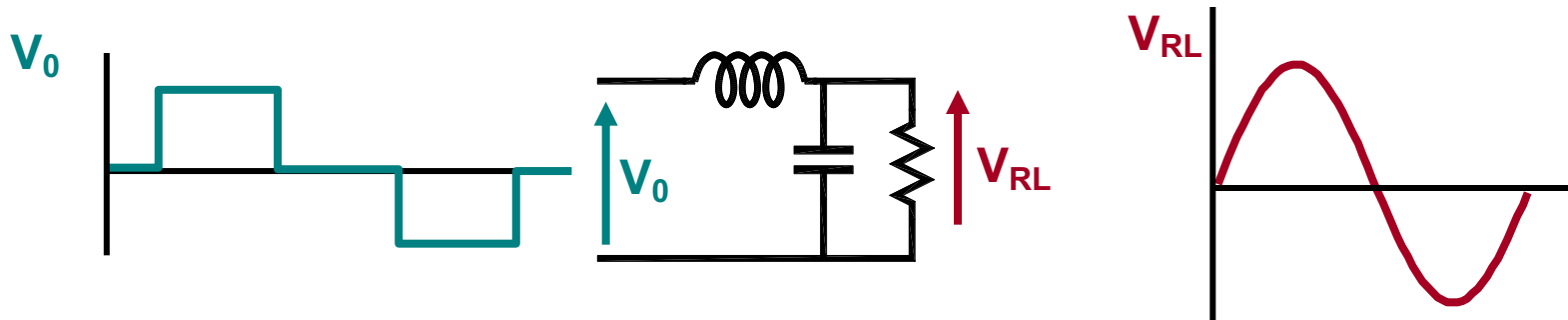
**El armónico  $n$  se elimina si:**  $\alpha = \frac{90^\circ}{n}$





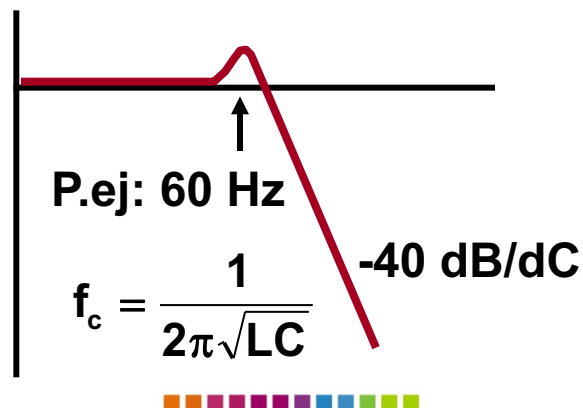
# Obtención de una onda senoidal

Evidentemente, si filtramos la forma de onda obtenida podemos quedarnos con el armónico fundamental



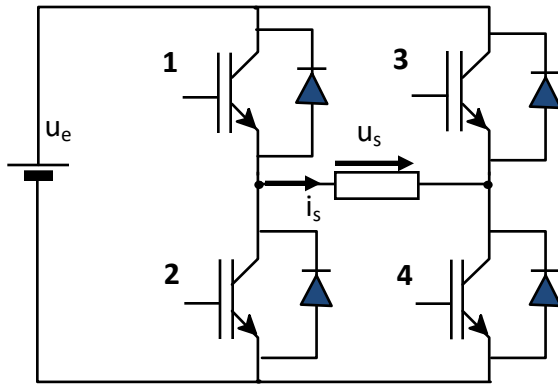
Para ello, debemos diseñar el filtro con una frecuencia de corte superior a la frecuencia del primer armónico e inferior a la del resto

El inconveniente de este sistema es que, al ser la frecuencia de red muy baja (50 Hz), el tamaño de los componentes (L y C) suele ser muy grande

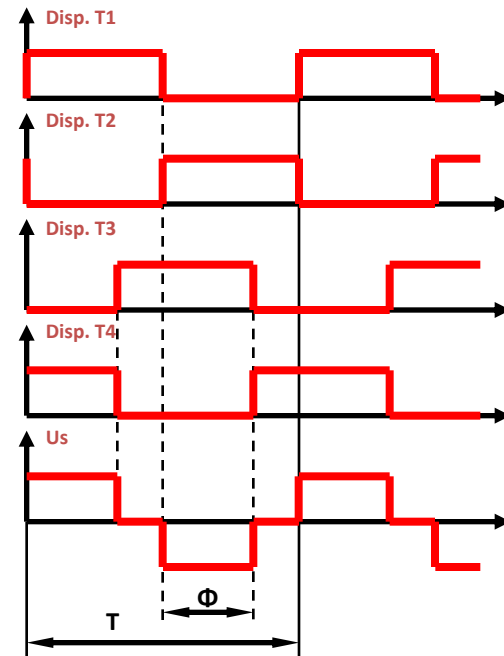




## Inversores: control por desplazamiento de fase

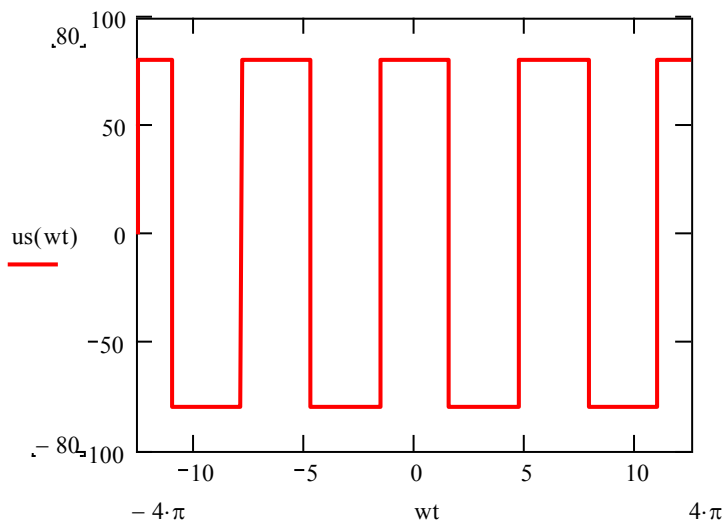


$$U_{S,EF} = U_E \sqrt{\frac{\Phi}{2\pi}}$$

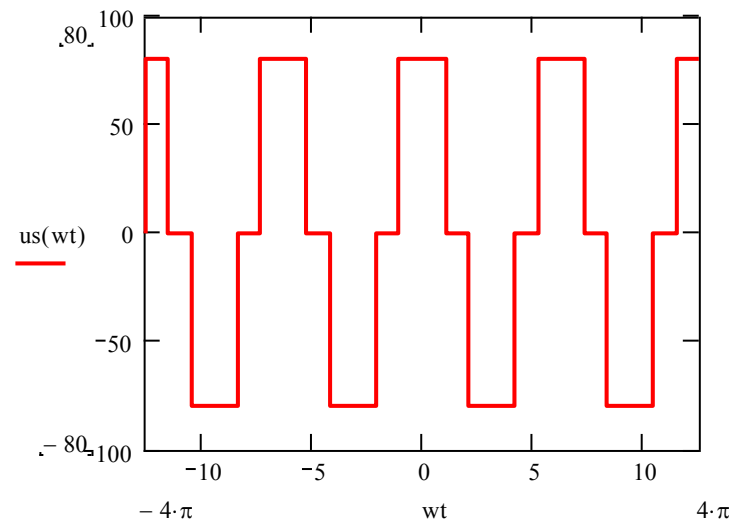




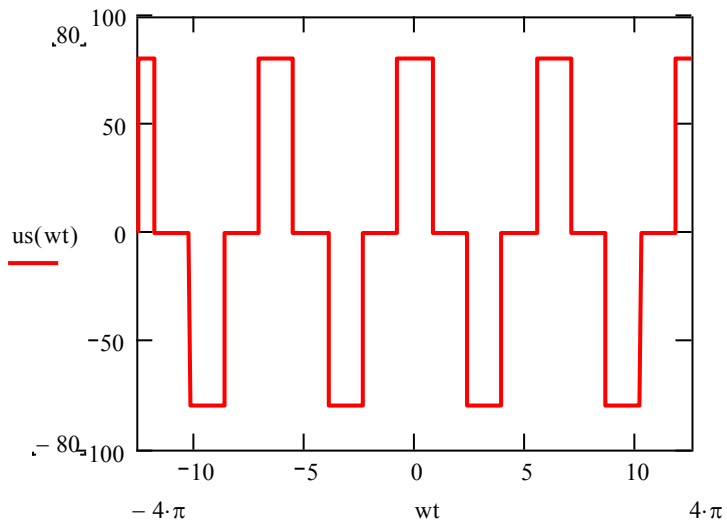
$\Phi=180^\circ$



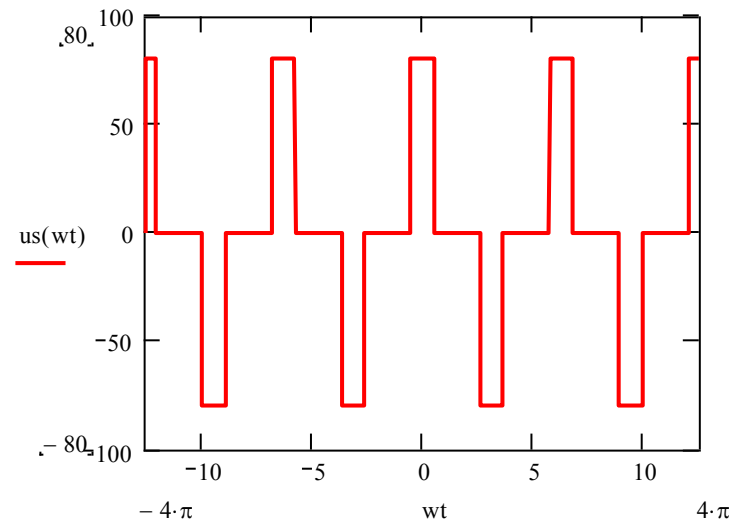
$\Phi=120^\circ$



$\Phi=90^\circ$



$\Phi=60^\circ$

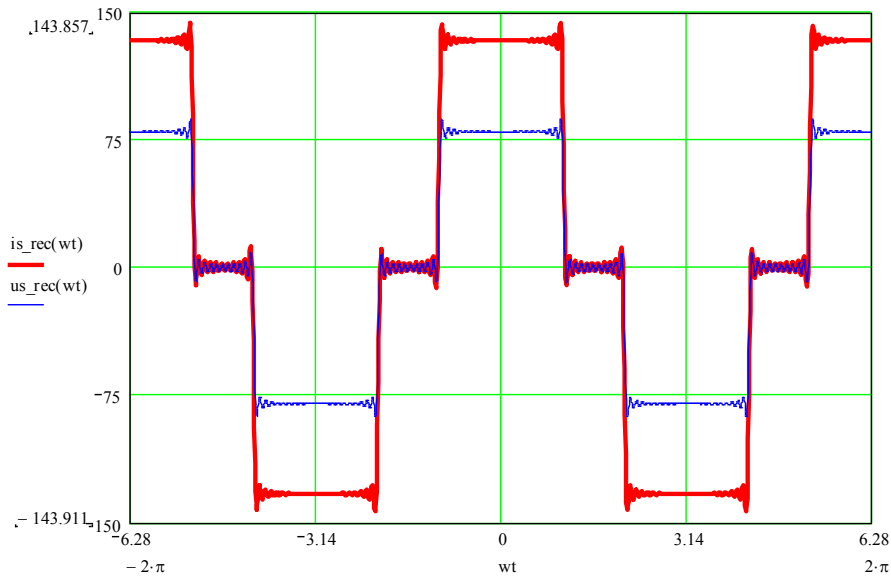




CARGA

$R := 0.6$

$L := 0.001$

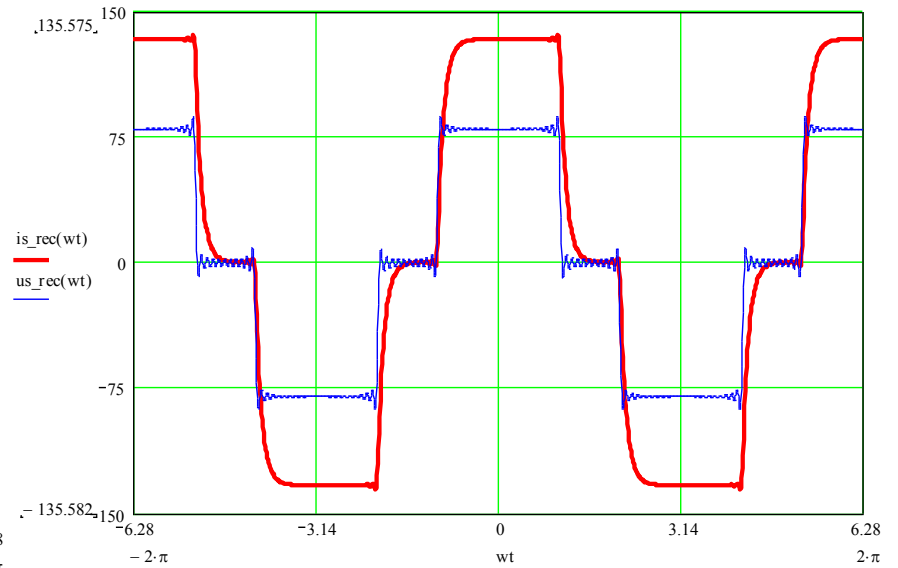


$\zeta = L/R = 1.66\text{ms}$

CARGA

$R := 0.6$

$L := 0.01$



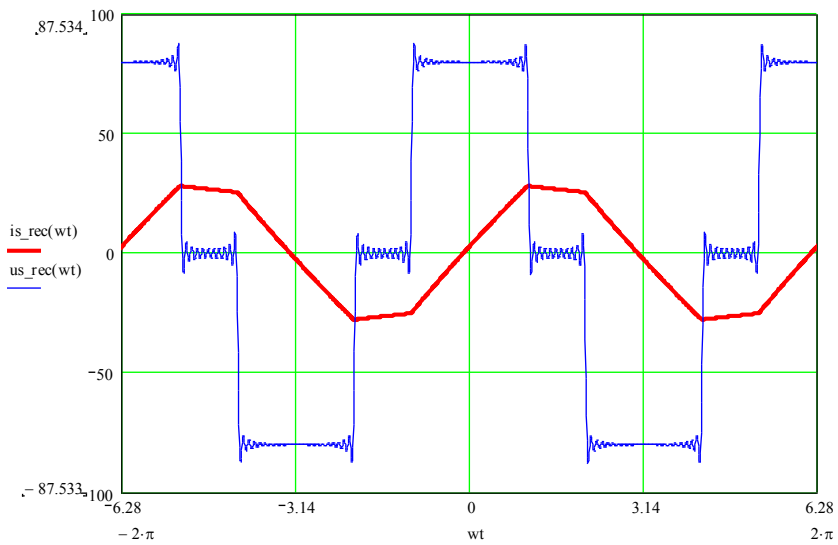
$\zeta = L/R = 16.6\text{ms}$



CARGA

$R := 0.3$

$L := 0.5$

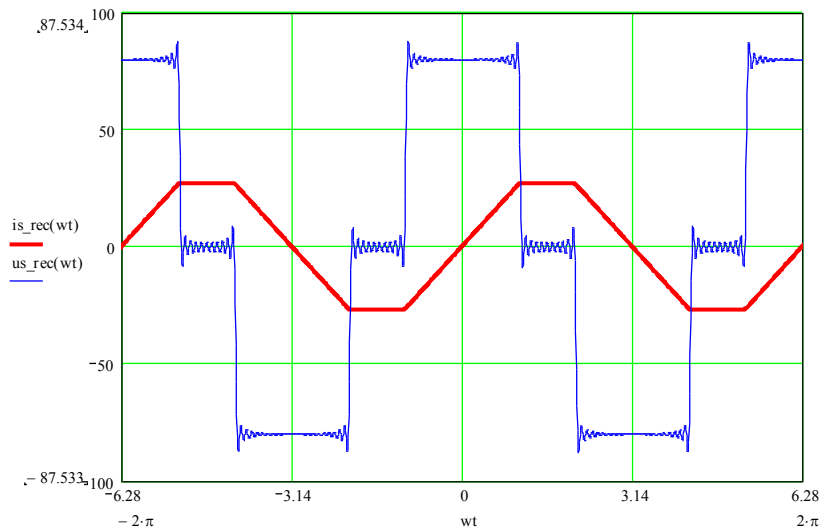


$\zeta = L/R = 1.6s$

CARGA

$R := 0.03$

$L := 0.5$



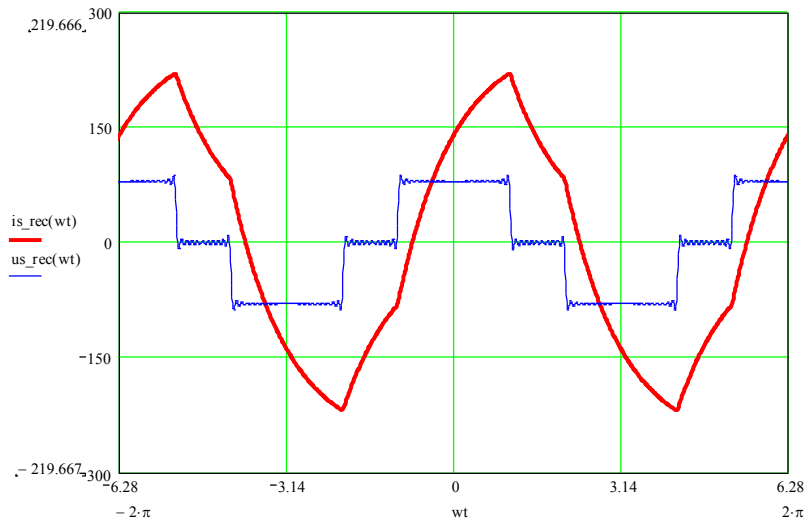
$\zeta = L/R = 16.6s$



CARGA

$R := 0.3$

$L := 0.05$

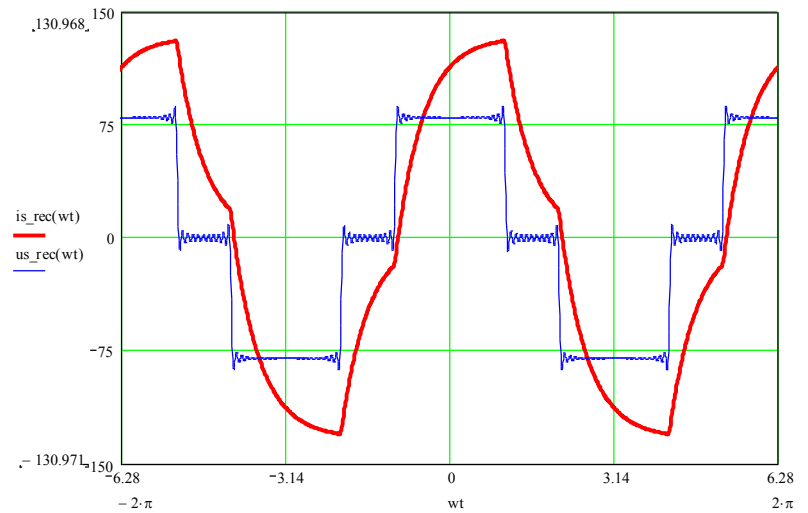


$\zeta = L/R = 166\text{ms}$

CARGA

$R := 0.6$

$L := 0.05$



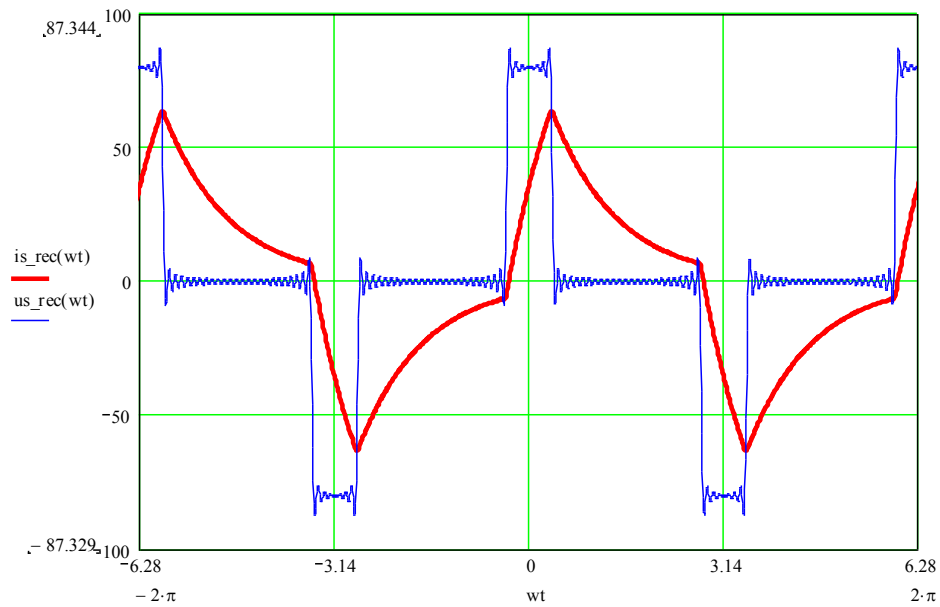
$\zeta = L/R = 83\text{ms}$



CARGA

$R := 0.6$

$L := 0.1$



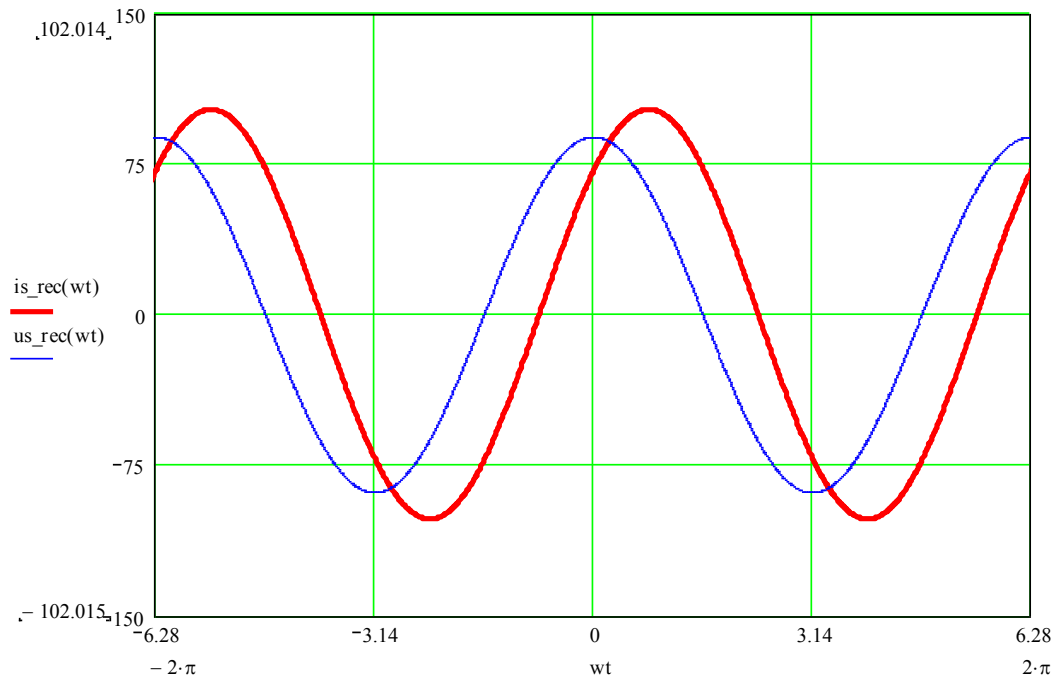
$$\zeta = L/R = 166\text{ms}$$



CARGA

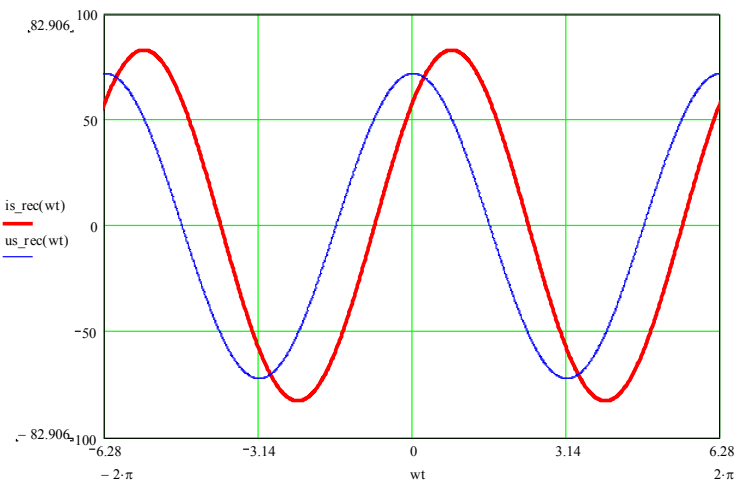
$R := 0.6$

$L := 0.1$

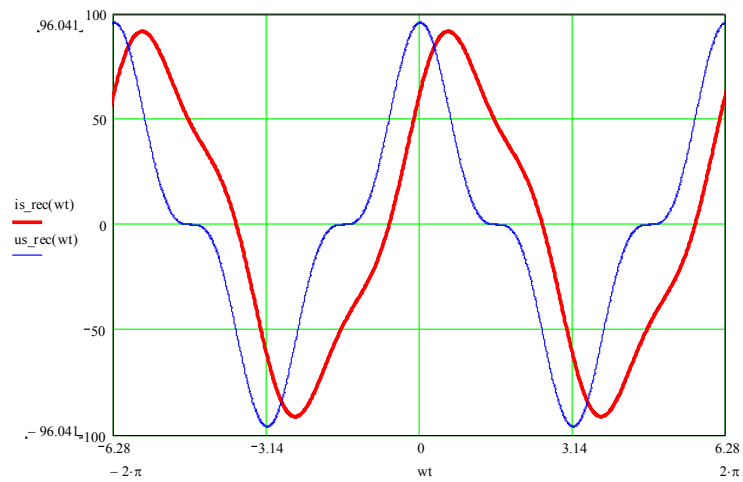




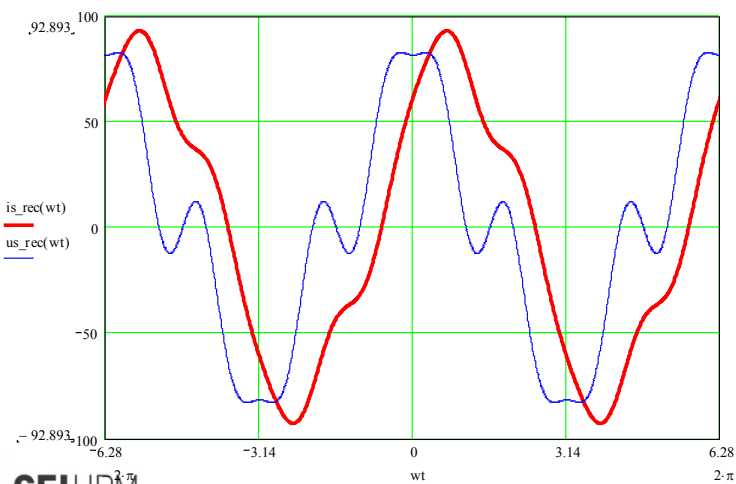
N=1



N=3



N=5



N=15

