



Granada, 3-5 Julio 2024



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

Departamento de Electrónica y  
Tecnología de Computadores

# CONVERTIDOR CC – CC CUASI RESONANTE ĆUK – SEPIC COMBINADO DE ONDA COMPLETA CON SALIDA BIPOLAR



Universidad  
de Huelva



- Cristian Díaz Martín<sup>1</sup> ([cristian.diaz@diesia.uhu.es](mailto:cristian.diaz@diesia.uhu.es))
- Eladio Durán Aranda<sup>1</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))
- Salvador Pérez Litrán<sup>2</sup> ([salvador@uhu.es](mailto:salvador@uhu.es))
- Jorge Semião<sup>3</sup> ([jsemiao@ualg.pt](mailto:jsemiao@ualg.pt))
- Alejandro Aranda Cordero<sup>1</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Electrónica. Universidad de Huelva

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Térmica. Universidad de Huelva

<sup>3</sup>Universidade do Algarve. Faro, Portugal

# INTRODUCCIÓN

Se presenta una nueva topología de convertidor CC – CC Cuasi – Resonante de una entrada y salida bipolar.

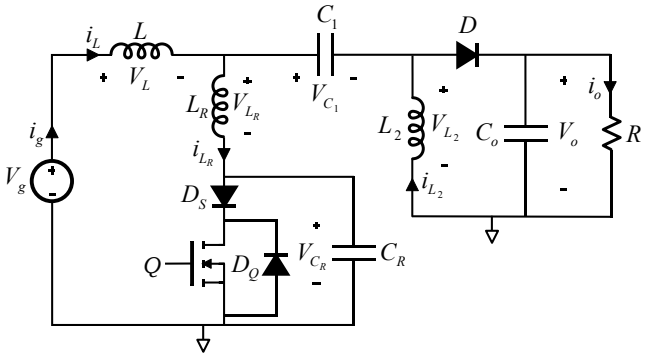
El convertidor se ha obtenido a partir de la combinación de dos convertidores básicos de una entrada y una salida: el **convertidor  $\dot{C}uk$**  y el **convertidor SEPIC**, en sus versiones quasi – resonantes.

- La salida del convertidor  $\dot{C}uk$  tiene **polaridad invertida** con respecto a su entrada, mientras que la salida del convertidor **SEPIC no está invertida**, por ello, esta combinación presenta una salida de tipo **bipolar**.
- Ambos presentan la **misma relación de conversión**.
- La etapa de entrada, formada por la celda de conmutación es **compartida** por ambos convertidores.
- Permite reducir el número de componentes y eliminar la necesidad de sincronización de varios dispositivos de conmutación.

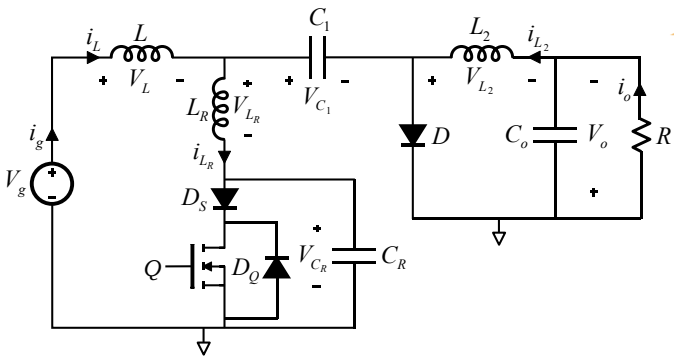


# TOPOLOGÍA PROPUESTA

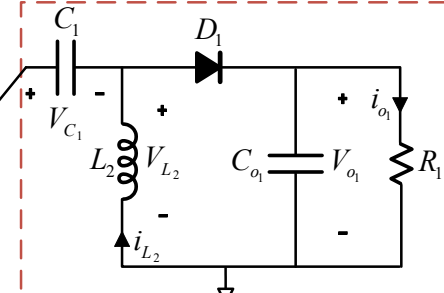
Convertidor Sepic



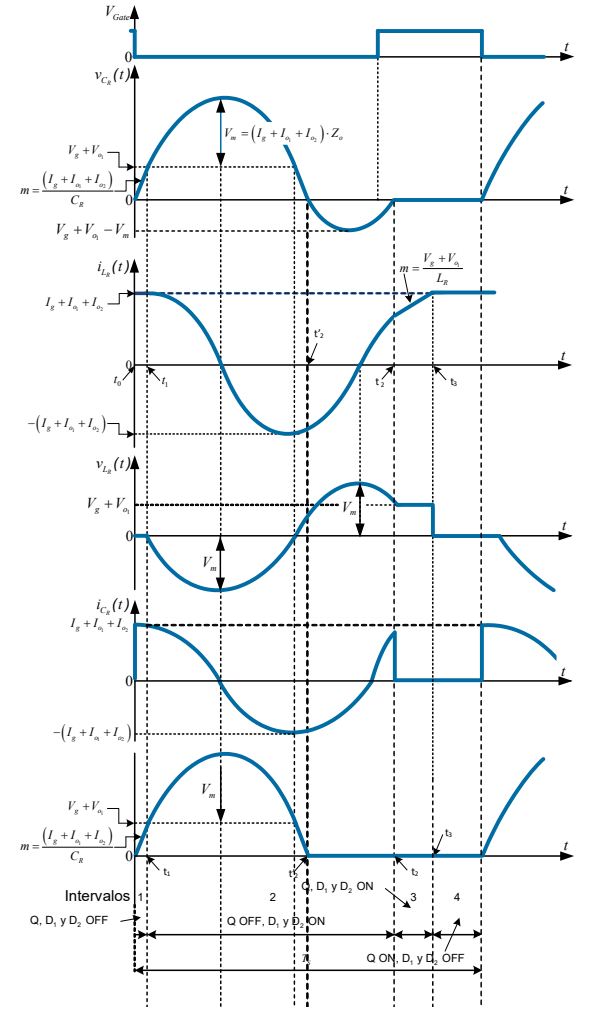
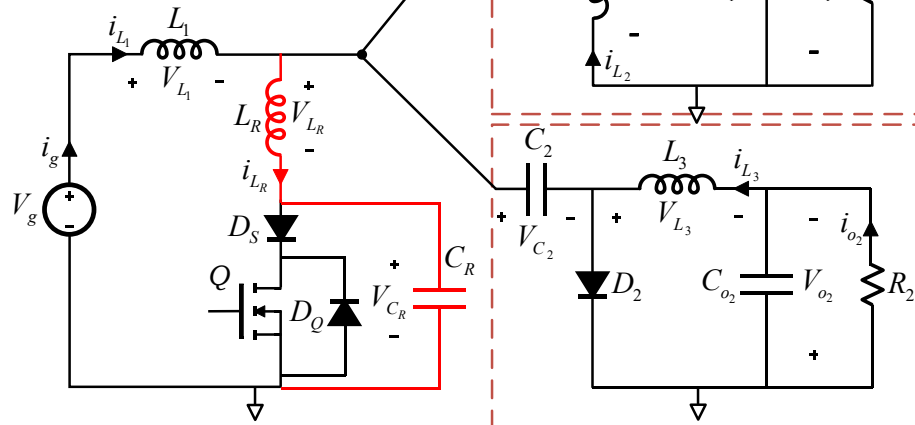
Convertidor Ćuk



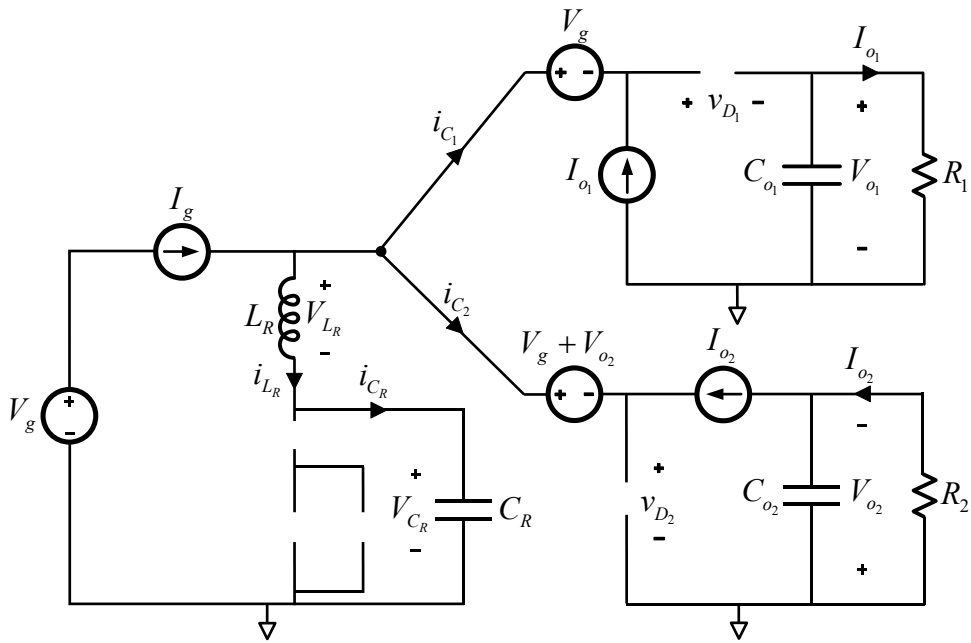
Convertidor SEPIC



Convertidor Ćuk

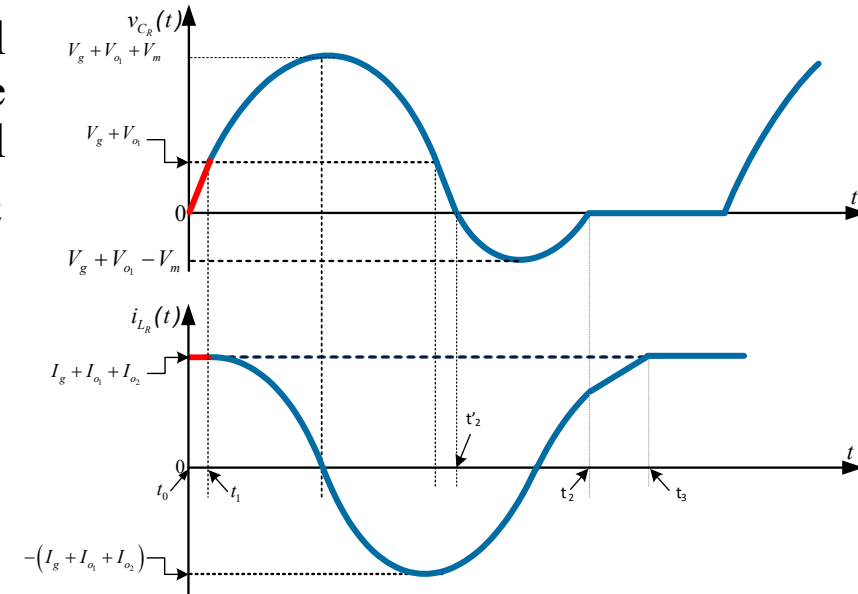


# ANÁLISIS DE INTERVALOS



## ➤ Intervalo 1. (Fase lineal) $[t_1 - t_0]$ .

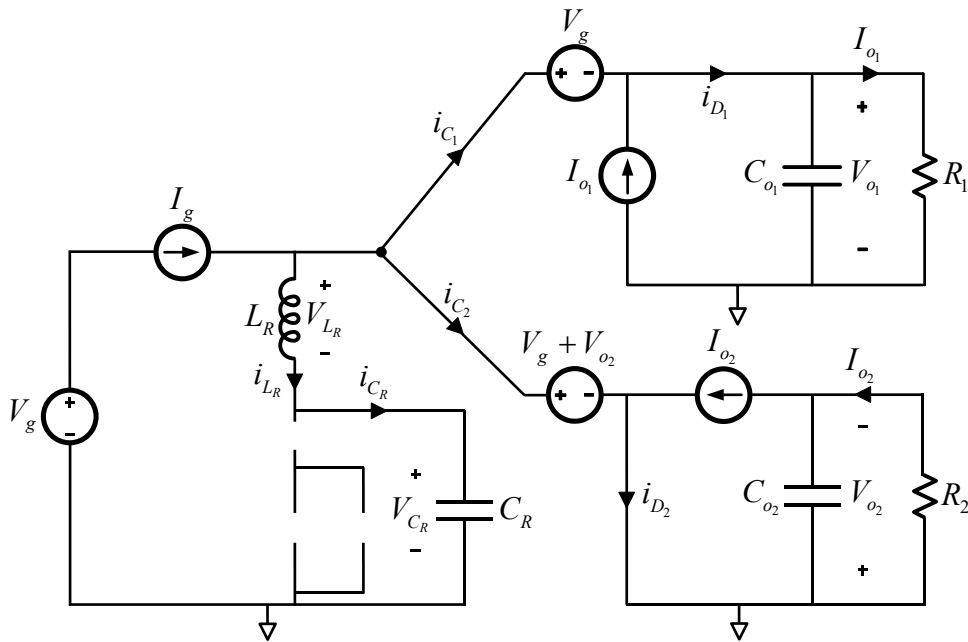
- Todo los semiconductores se encuentran abiertos y la corriente fluye de forma lineal a través del tanque  $L_R - C_R$
- Se produce la carga del tanque resonante, hasta que la tensión en  $C_R$  alcanza el valor de  $V_g + V_{o1}$  o  $V_g + V_{o2}$



- Duración del intervalo:

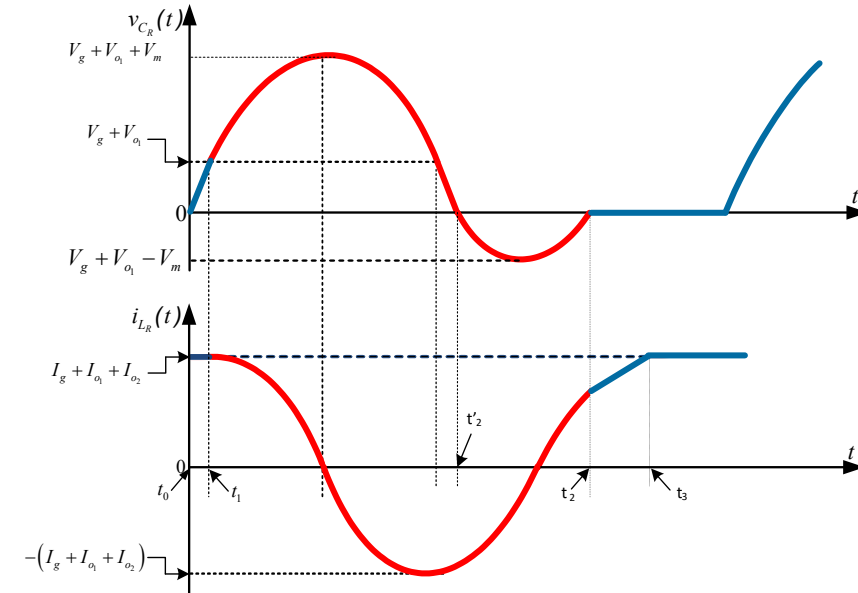
$$t_1 - t_0 = C_R \frac{(V_g + V_{o1})}{(I_g + I_{o1} + I_{o2})} = C_R \frac{(V_g + V_{o2})}{(I_g + I_{o1} + I_{o2})}$$

# ANÁLISIS DE INTERVALOS



## ➤ Intervalo 2. (Fase resonante) $[t_2 - t_1]$

- La tensión en  $C_R$  alcanza el valor de  $V_g + V_{o1}$  o  $V_g + V_{o2}$  y los diodos  $D_1$  y  $D_2$  comienzan a suministrar la corriente a las cargas.
- Ahora la corriente que circula a través del tanque  $L_R - C_R$  presenta una variación cosenoidal, mientras que la tensión en  $C_R$  describe una forma de onda senoidal.



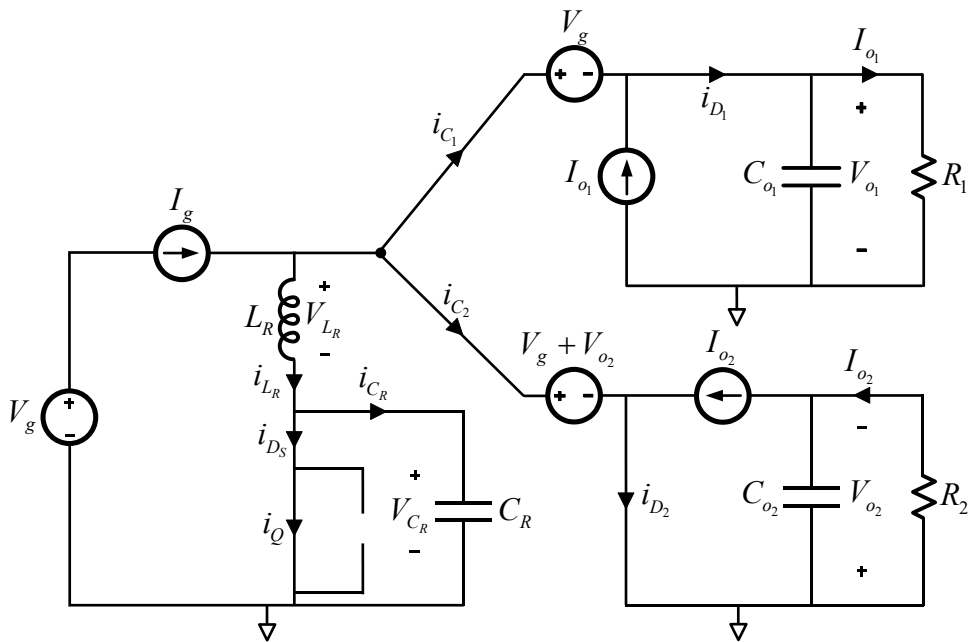
### ❖ Sub – intervalo 2.1 $[t_2' - t_1]$

$$t_2' - t_1 = \frac{1}{\omega_o} \left( \sin^{-1} \left( \frac{(V_g + V_{o1})}{(I_g + I_{o1} + I_{o2}) \cdot Z_o} \right) + \pi \right)$$

### ❖ Sub – intervalo 2.2 $[t_2 - t_2']$

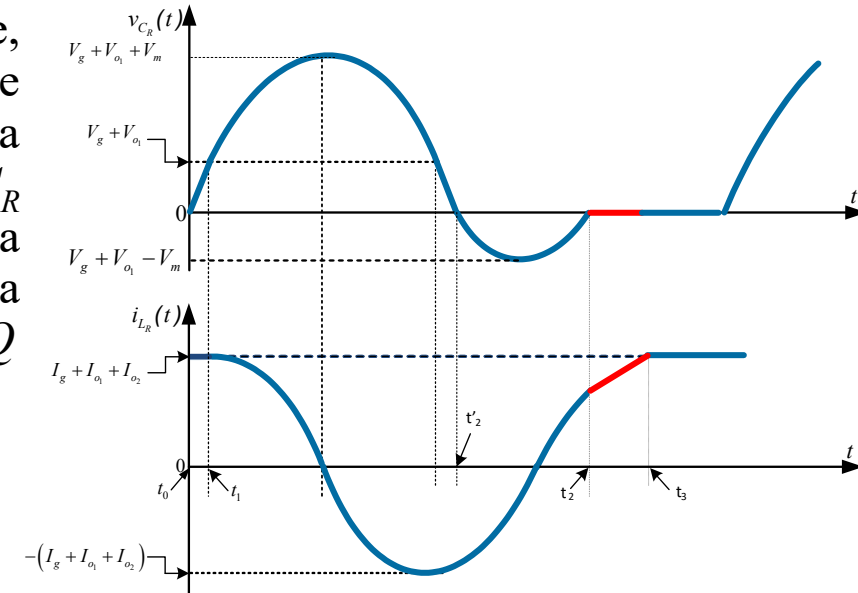
$$t_2 - t_2' = \frac{1}{\omega_o} \left( \sin^{-1} \left( \frac{2 \cdot (V_g + V_{o1}) \cdot i_{L_R}(t_2') \cdot Z_o}{(V_g + V_{o1})^2 + i_{L_R}^2(t_2') \cdot Z_o^2} \right) + \pi \right)$$

# ANÁLISIS DE INTERVALOS



## ➤ Intervalo 3. (Descarga del inductor) $[t_3 - t_2]$ .

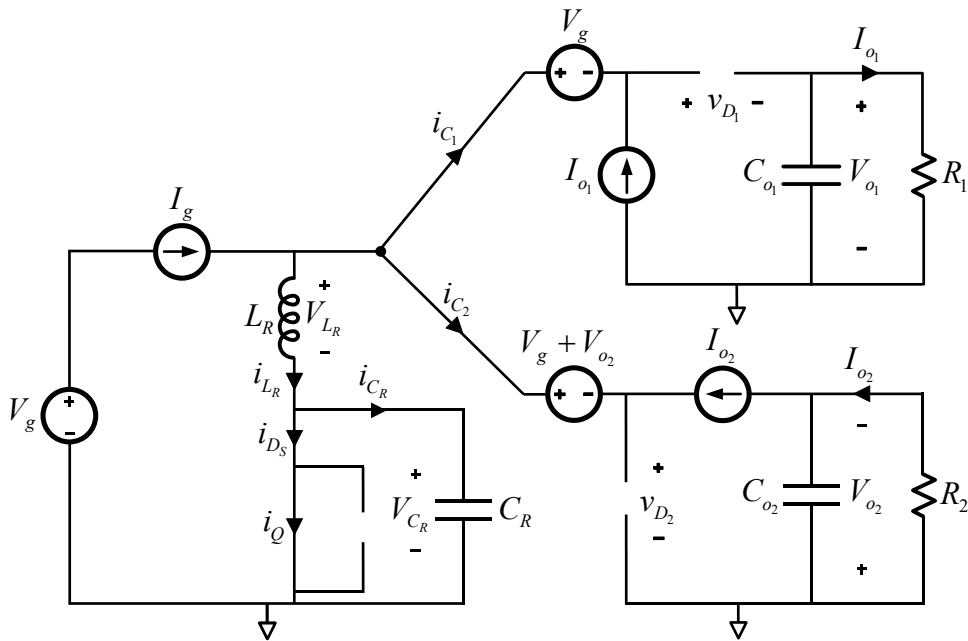
- El inductor  $L_R$  se descarga a través de  $Q$  y  $D_S$
- Ya se ha reproducido la forma de onda resonante, por lo que  $Q$  debe encontrarse cerrado para que cuando la tensión en  $C_R$  llegue a cero  $D_S$  pueda cerrarse y conducir la corriente de  $L_R$  a través de  $Q$



- Duración del intervalo:

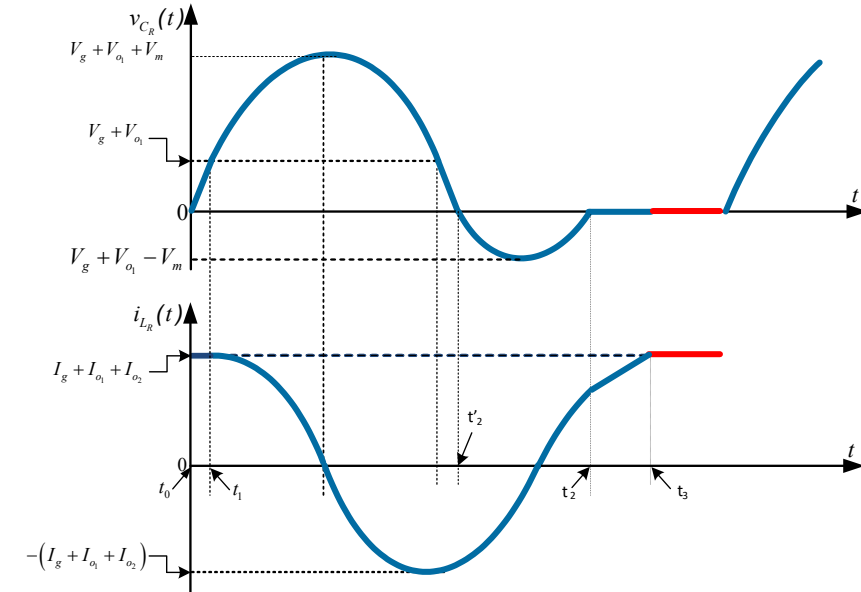
$$t_3 - t_2 = L_R \frac{(I_g + I_{o_1} + I_{o_2})}{(V_g + V_{o_1})} [1 - \cos[\omega_o(t_2 - t_1)]]$$

# ANÁLISIS DE INTERVALOS



## ➤ Intervalo 4. (Fase pasiva) [ $T_s - t_3$ ].

- Los diodos  $D_1$  y  $D_2$  dejan de conducir, ya que el inductor se ha descargado hasta su valor inicial (y la tensión en  $L_R$  es cero).
- Durante este intervalo todas las variables alcanzan el valor del que partían al inicio del intervalo 1.



# RESULTADOS DE ANÁLISIS

## Relación de conversión

## Valores pico

$$V_{o_1} = V_{o_2} = V_g \cdot \frac{\left(1 - f_s \cdot \left(t_3 - \frac{t_1}{2}\right)\right)}{f_s \cdot \left(t_3 - \frac{t_1}{2}\right)} \quad I_g = (I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot \frac{\left(1 - f_s \cdot \left(t_3 - \frac{t_1}{2}\right)\right)}{f_s \cdot \left(t_3 - \frac{t_1}{2}\right)}$$

$$V_{o_1} = V_{o_2} = V_g \cdot \frac{(1-m)}{m}$$

$$I_g = (I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot \frac{(1-m)}{m}$$

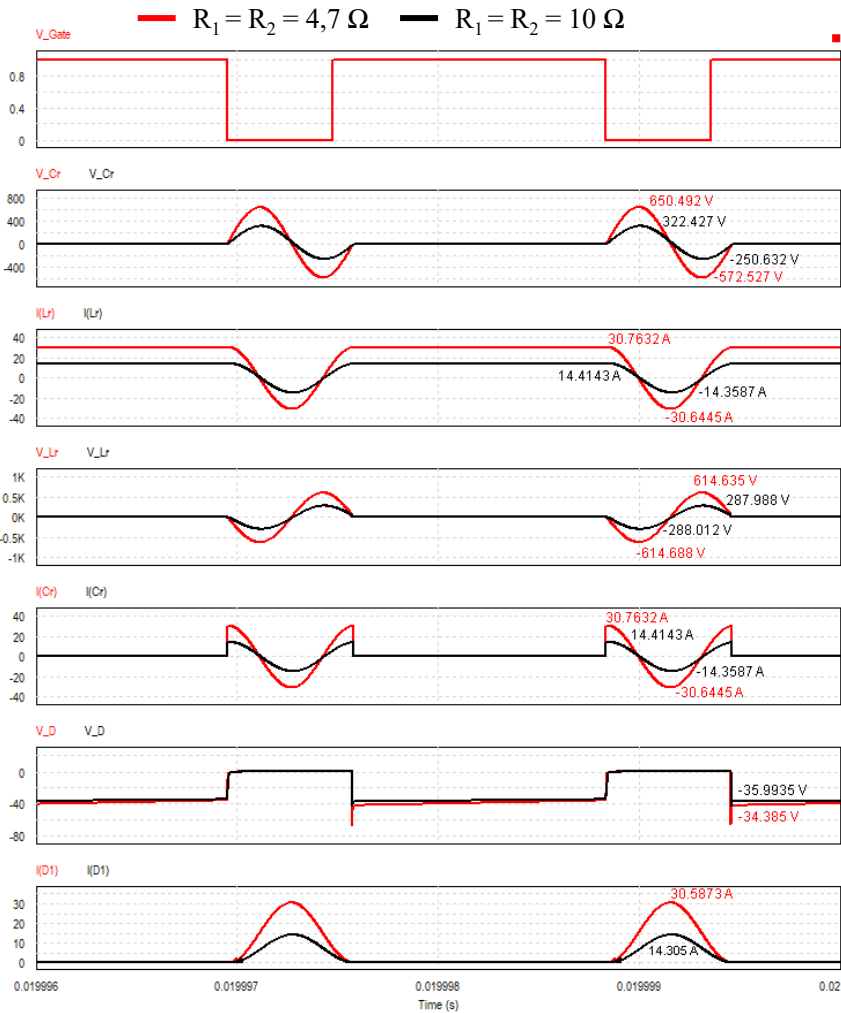
$$m = f_s \cdot \left(t_3 - \frac{t_1}{2}\right); 0 < m < 1$$

Parámetro		Valor Analítico
$V_{Cr}$	Máx	$V_g + V_{o_1} + (I_g + I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot Z_o$
	Min	$V_g + V_{o_1} - (I_g + I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot Z_o$
$i_{Lr}$	Máx	$I_g + I_{o_1} + I_{o_2}$
	Min	$-(I_g + I_{o_1} + I_{o_2})$
$V_{Lr}$	Máx	$(I_g + I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot Z_o$
	Min	$-(I_g + I_{o_1} + I_{o_2}) \cdot Z_o$
$i_{Cr}$	Máx	$I_g + I_{o_1} + I_{o_2}$
	Min	$-(I_g + I_{o_1} + I_{o_2})$

# PARÁMETROS DEL CONVERTIDOR

Parámetro	Valor
Inductor resonante ( $L_R$ )	2 $\mu$ H
Condensador resonante ( $C_R$ )	5 nF
Tensión de entrada ( $V_g$ )	12 – 48 V
Tensión de salida ( $V_{o+}$ , $V_{o-}$ )	24 V
Frecuencia de conmutación ( $f_s$ )	530 kHz – 1.1 MHz
Potencia	115.2 – 245.1 W



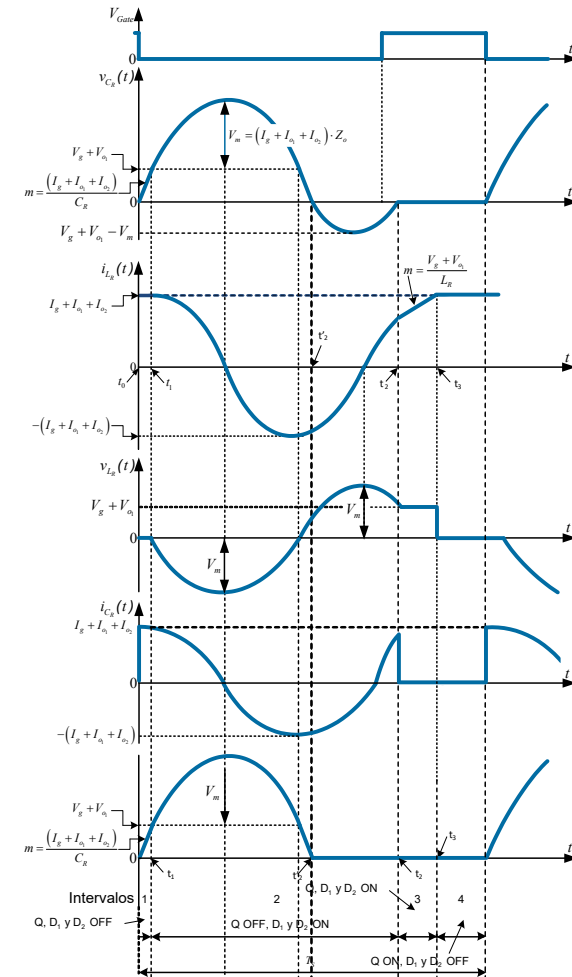


## SIMULACIÓN

### ➤ Modo Elevador 12 – 24 V

Valores obtenidos para  $R_1 = R_2 = 4,7 \Omega$  —

Parámetro	Valor Análisis	Valor Simulado	
$V_{Cr}$	Máx	648.766 V	650.49 V
	Min	-576.766 V	- 572.52 V
$i_{Lr}$	Máx	30.638 A	30.76 A
	Min	- 30.638 A	- 30.64 A
$V_{Lr}$	Máx	612.766 V	614.63 V
	Min	- 612.766 V	- 614.68 V
$i_{Cr}$	Máx	30.638 A	30.76 A
	Min	- 30.638 A	- 30.64 A
$V_D Min.$	- 72 V	- 36 V	

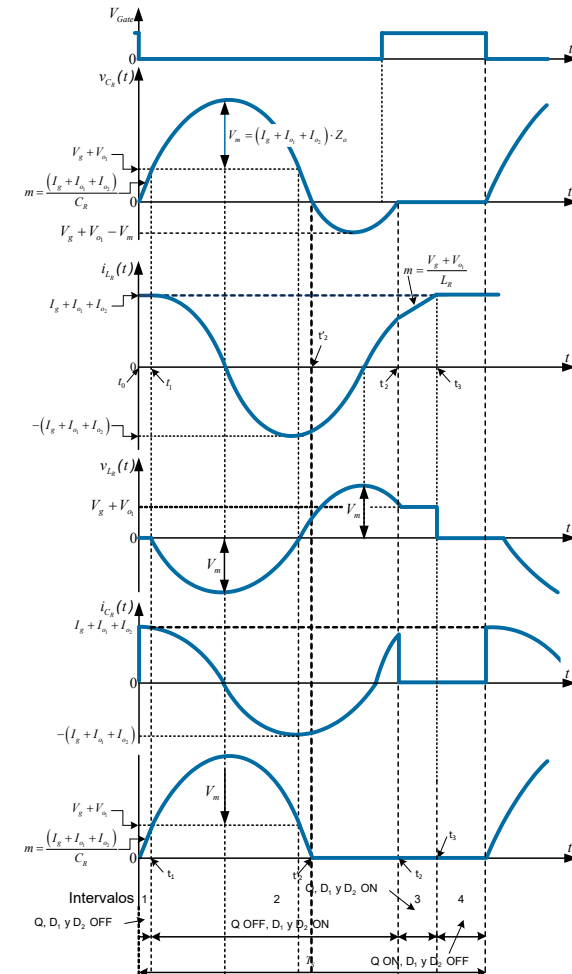
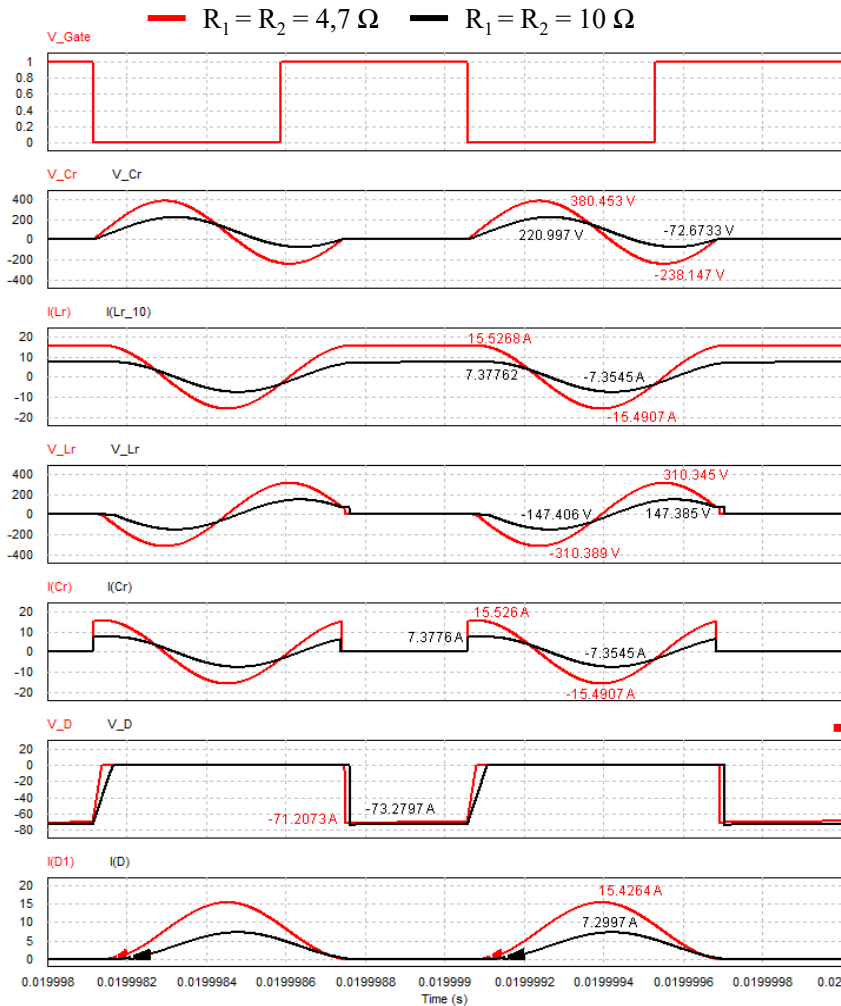


## SIMULACIÓN

### ➤ Modo Reductor 48 – 24 V

Valores obtenidos para  $R_1 = R_2 = 4,7 \Omega$  —

Parámetro	Valor Análisis	Valor Simulado	
$V_{Cr}$	Máx	378.37 V	380.45 V
	Min	- 234.37 V	- 238.14 V
$i_{Lr}$	Máx	15.31 A	15.52 A
	Min	- 15.31 A	- 15.49 A
$V_{Lr}$	Máx	306.37 V	310.34 V
	Min	- 306.37 V	- 310.38 V
$i_{Cr}$	Máx	15.31 A	15.52 A
	Min	- 15.31 A	- 15.49 A
$V_D Min.$	- 72 V	- 71.20 V	



# CONMUTACIÓN A TENSION CERO

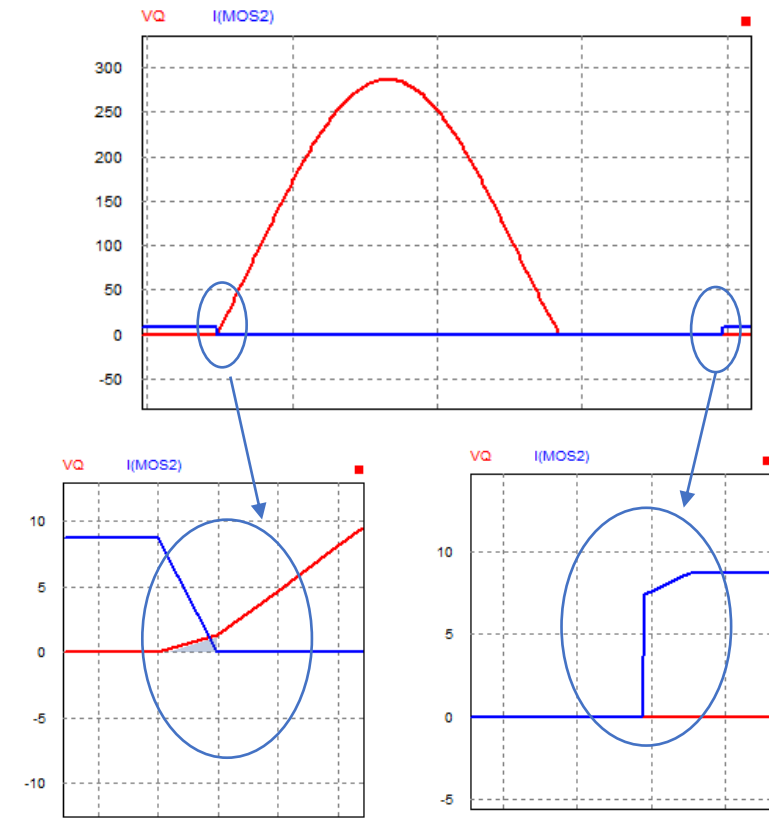
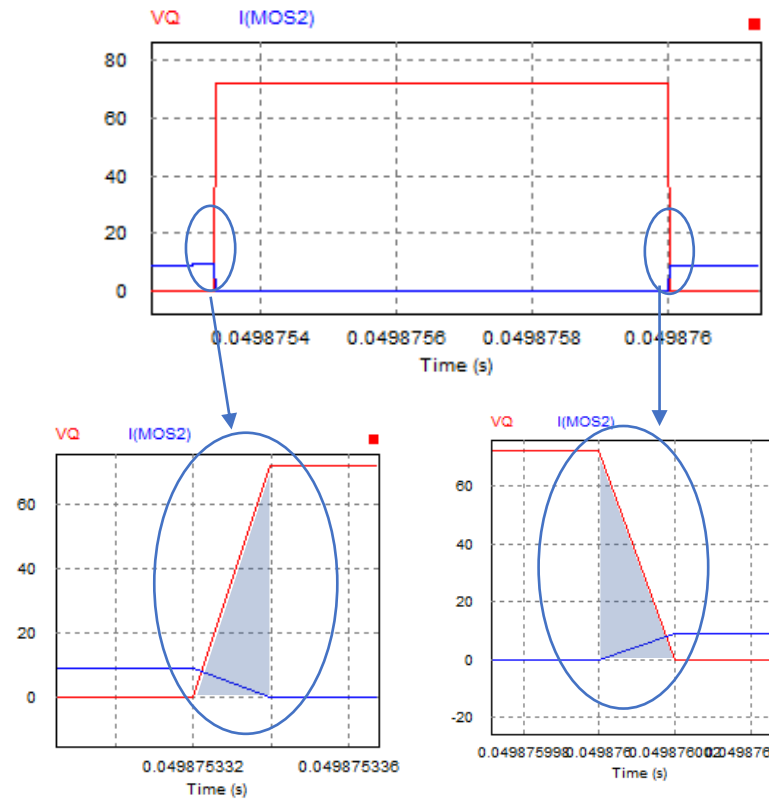
## Hard – Switching

## Soft – Switching

Condición de conmutación a tensión cero

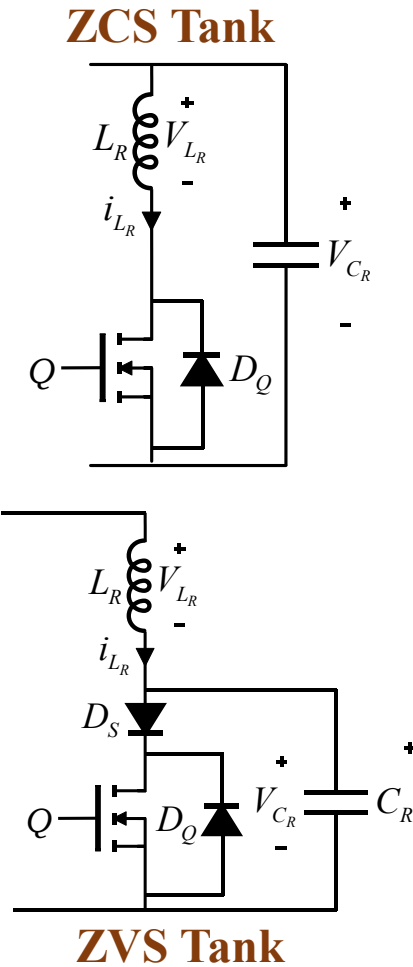
$$(V_g + V_{o1}) < \left( I_g + \frac{V_{o1}}{R_1} + \frac{V_{o2}}{R_2} \right) \cdot Z_o$$

$$Z_o \geq \frac{V_g}{V_o} \cdot R_e$$



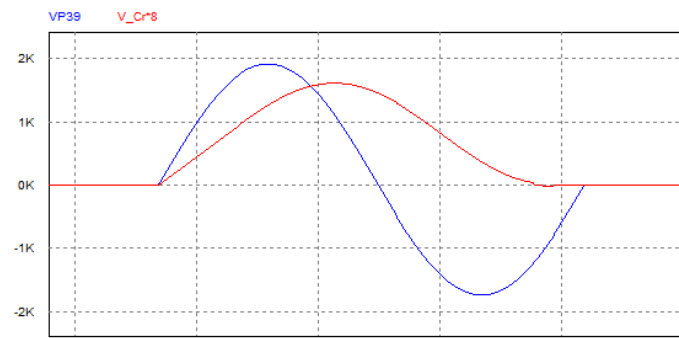
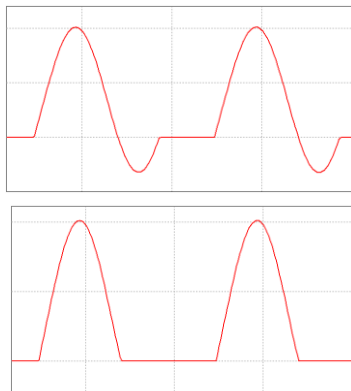
## ZCS vs ZVS

- La conmutación a corriente cero (ZCS) presenta **pérdidas en el encendido del MOSFET** debidas a la capacidad  $C_{gs}$ .
- Lo anterior hace que la técnica **ZCS no sea adecuada para frecuencias de conmutación elevadas**, ya que afecta negativamente al rendimiento.
- **ZVS** requiere control de tiempo de **apagado constante** (off – time control), mientras que **ZCS** requiere control de tiempo de **encendido constante** (on – time control).
- La **relación de conversión en ZCS aumenta** cuando lo hace la frecuencia de conmutación, mientras que en **ZVS disminuye**.
- Rango de cargas.
  - ZVS:  $0 \leq R_e \leq R_{MAX}$
  - ZCS:  $R_{MIN} \geq R_e \geq \infty$

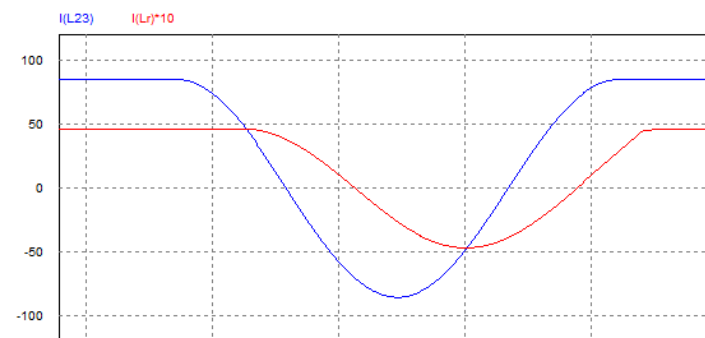


# ONDA COMPLETA VS MEDIA ONDA

- El funcionamiento de onda completa presenta más **estabilidad ante variaciones de carga**.
- Permite trabajar a **frecuencias** de conmutación **más elevadas**, para el mismo tanque resonante, que su versión de media onda.
- Requiere un componente adicional, lo que afecta **negativamente a la densidad de potencia**.
- En media onda, se puede utilizar el **diodo interno del MOSFET** para evitar el semiciclo negativo de Cr
- En media onda, es necesario un esquema de control que utilice amplio rango de modulación de frecuencias



$V_{Cr}$



$i_{LR}$

$R_1 = R_2 = 1 \Omega$  —  
 $R_1 = R_2 = R_{MAX} = 20 \Omega$  —

ZVS:  $0 \leq R_e \leq R_{MAX}$

# CONCLUSIONES

- Este trabajo describe, analiza y verifica un nuevo convertidor CC – CC Cuasi Resonante, basado en una **combinación** de las configuraciones **resonantes SEPIC y  $\dot{C}uk$** .
- La configuración resultante proporciona un voltaje de salida **bipolar**, utilizando **un solo interruptor de potencia** controlable y un único tanque resonante.
- El convertidor combinado puede funcionar en **modo elevador y reductor** y es un convertidor **sin transformador**, lo que permite reducir el tamaño y aumentar la **densidad de potencia**.
- Se necesita una **forma de onda resonante** en el interruptor principal para conseguir la condición ZVS.
- Se ha realizado un **análisis** completo del convertidor propuesto y posteriormente se ha verificado mediante **simulación**.
- Los resultados obtenidos muestran que esta nueva topología podría ser adecuada para múltiples aplicaciones que requieren una frecuencia elevada, voltaje bipolar y alta densidad de potencia.





Granada, 3-5 Julio 2024



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA

Departamento de Electrónica y  
Tecnología de Computadores

CONVERTIDOR CC – CC CUASI RESONANTE  $\dot{C}UK$  – SEPIC COMBINADO DE ONDA  
COMPLETA CON SALIDA BIPOLAR

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Universidad  
de Huelva



- Cristian Díaz Martín<sup>1</sup> ([cristian.diaz@diesia.uhu.es](mailto:cristian.diaz@diesia.uhu.es))
- Eladio Durán Aranda<sup>1</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))
- Salvador Pérez Litrán<sup>2</sup> ([salvador@uhu.es](mailto:salvador@uhu.es))
- Jorge Semião<sup>3</sup> ([jsemiao@ualg.pt](mailto:jsemiao@ualg.pt))
- Alejandro Aranda Cordero<sup>1</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))

<sup>1</sup>Dpto. de Ingeniería Electrónica. Universidad de Huelva

<sup>2</sup>Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Térmica. Universidad de Huelva

<sup>3</sup>Universidade do Algarve. Faro, Portugal