



Sevilla

5-7 Julio

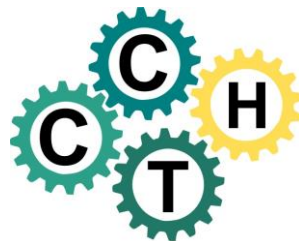
scaei 23

XXX Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación

# CONVERTIDOR CC-CC NO AISLADO CON NUEVE SALIDAS Y UN SOLO INTERRUPTOR



Universidad  
de Huelva



CENTRO CIENTÍFICO  
TECNOLÓGICO HUELVA

- María Bella Ferrera Prieto<sup>1</sup> ([ferrera@die.uhu.es](mailto:ferrera@die.uhu.es))
- Cristian Díaz Martín<sup>2</sup> ([cristian.diaz@diesia.uhu.es](mailto:cristian.diaz@diesia.uhu.es))
- Salvador Pérez Litrán<sup>1</sup> ([salvador@uhu.es](mailto:salvador@uhu.es))
- Eladio Durán Aranda<sup>3</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Térmica. Universidad de Huelva

<sup>2</sup> Centro Científico Tecnológico. Universidad de Huelva

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Electrónica. Universidad de Huelva

## I. INTRODUCCIÓN

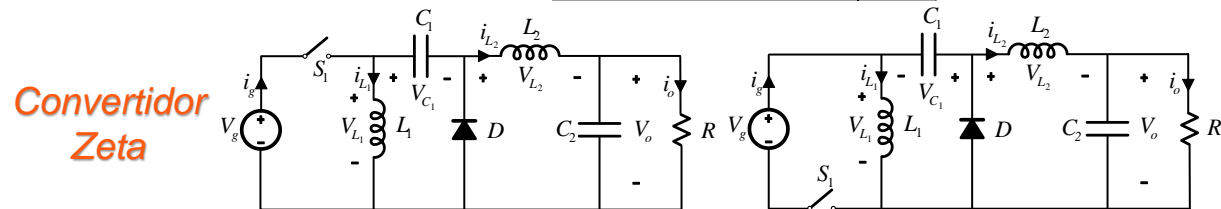
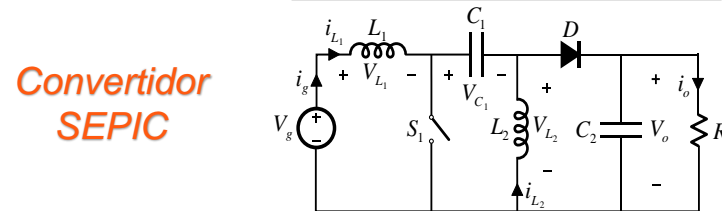
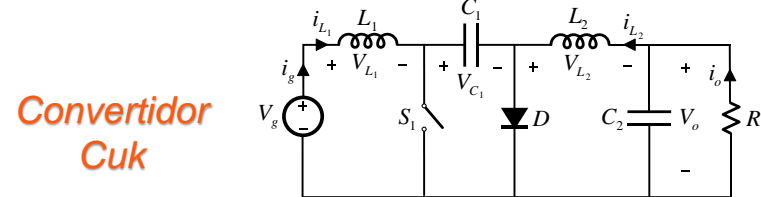
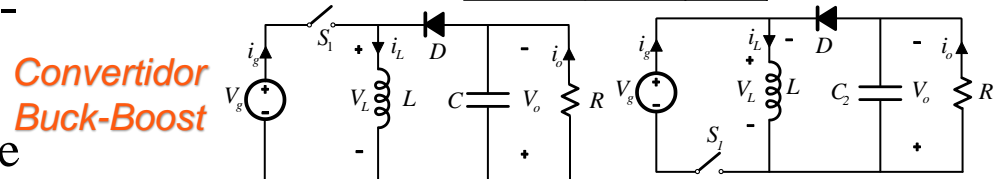
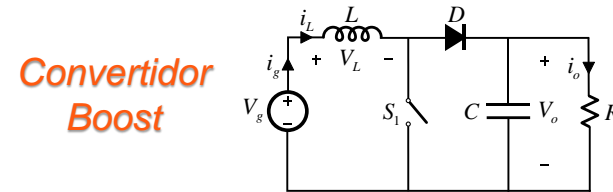
- Actualmente la transmisión de energía eléctrica se realiza en forma de **corriente alterna** → presenta la ventaja de proporcionar y adaptar diferentes niveles de tensión de manera más simple
- Avance en la electrónica de potencia → **Convertidores CC-CC** → actúan en sistemas CC de manera similar a como lo hace un transformador en CA
- En los últimos años → **numerosas aplicaciones** requieren para su funcionamiento diferentes niveles de **tensión en CC**
- **Convertidores CC-CC SIMO** (*Single-Input Multiple-Output*)

## I. INTRODUCCIÓN

- Se propone una topología de **convertidor CC-CC con nueve tensiones de salida diferentes**: tres salidas flotantes y seis salidas no flotantes
  - No está aislada
  - Un único interruptor de potencia
  - Número reducido de elementos pasivos
- Se presenta:
  - El **análisis** del convertidor para los modos de funcionamiento: CCM y DCM
  - Las **expresiones** que permiten determinar cada variable del circuito en estado estacionario
  - La verificación del correcto funcionamiento del conjunto y la validez de las expresiones propuestas mediante **simulación**
- Los resultados obtenidos **pueden extenderse** a topologías con menor número de salidas

## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

- Son configuraciones de un interruptor y un diodo
- Convertidores Boost y Buck-Boost → un solo inductor
  - Actúa como elemento de almacenamiento primario y transfiere la energía desde la entrada a la salida
- Convertidores Cuk, SEPIC y Zeta → dos inductores
  - La transferencia de energía entre el condensador de enlace ( $C_1$ ) y el inductor ( $L_1$ )



## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

### ■ Relación de conversión en condiciones estacionarias:

- Modo de conducción continua (CCM)

$$V_o = \left| V_g \right| \frac{D}{1-D}; \quad I_g = I_o \frac{D}{1-D}$$

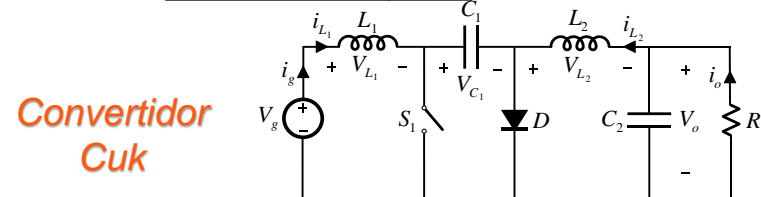
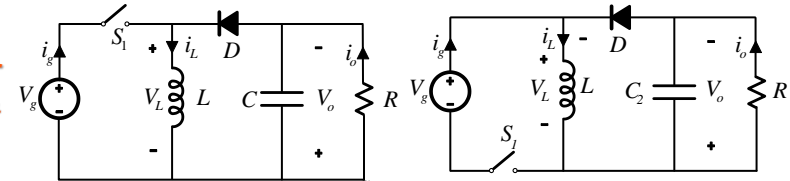
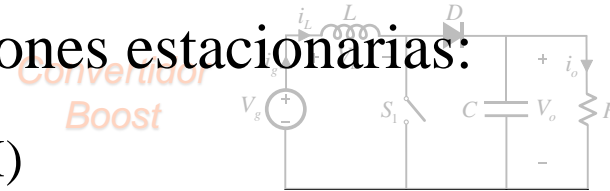
Convertidor Buck-Boost

- Modo de conducción discontinua (DCM)

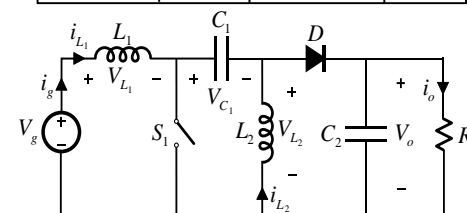
$$V_o = D \cdot V_g \sqrt{\frac{R \cdot T_S}{2 \cdot L_{eq}}}; \quad I_g = D \cdot I_o \sqrt{\frac{R \cdot T_S}{2 \cdot L_{eq}}}$$

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} \quad \text{para Cuk, SEPIC y Zeta}$$

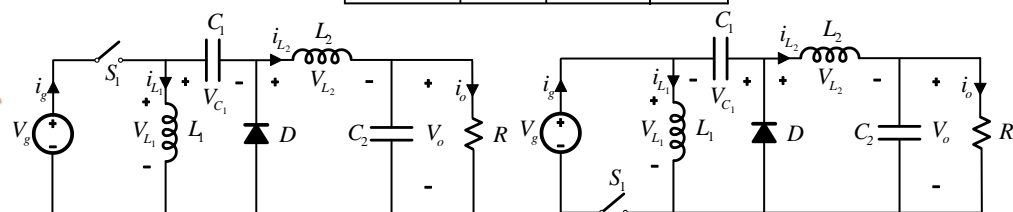
$$L_{eq} = L \quad \text{para Buck-Boost}$$



Convertidor SEPIC



Convertidor Zeta



## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

- Relación de conversión en condiciones estacionarias:

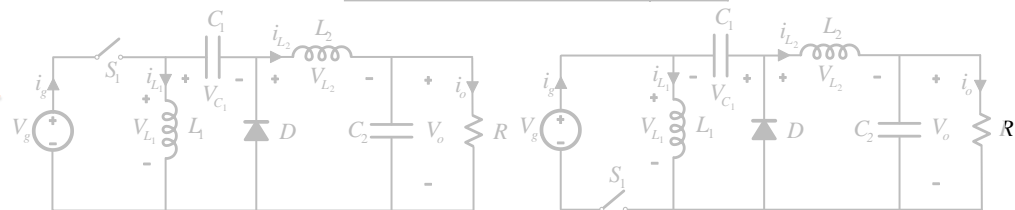
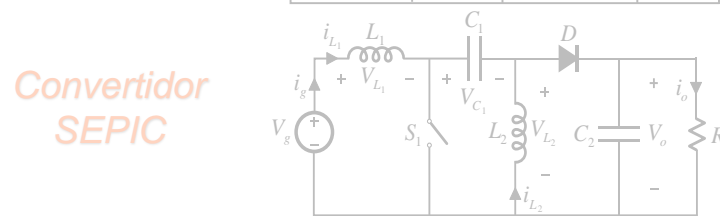
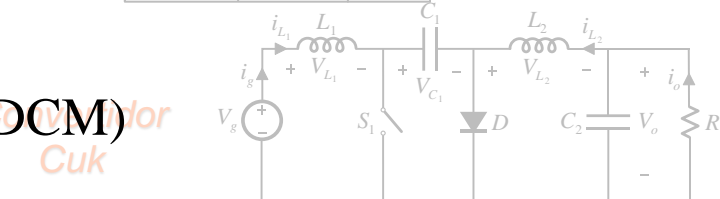
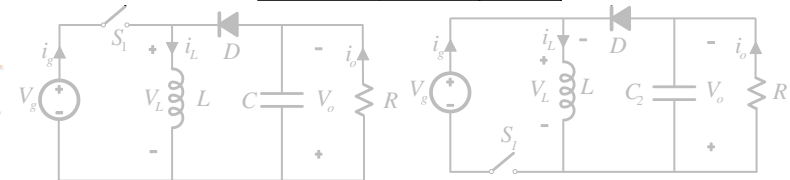
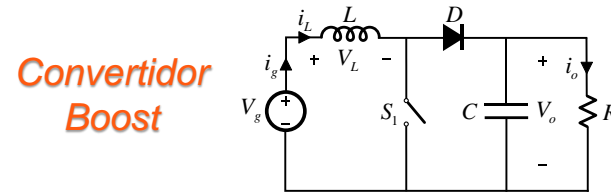
- Modo de conducción continua (CCM)

$$V_o = \frac{V_g}{1-D}; \quad I_g = \frac{I_o}{1-D}$$

- Modo de conducción discontinua (DCM)

$$V_o = \frac{V_g}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{2D^2 R \cdot T_S + 1}{L_{eq}}} \right)$$

$$I_g = \frac{I_o}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{2D^2 R \cdot T_S + 1}{L_{eq}}} \right)$$



## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

- Resistencia crítica:

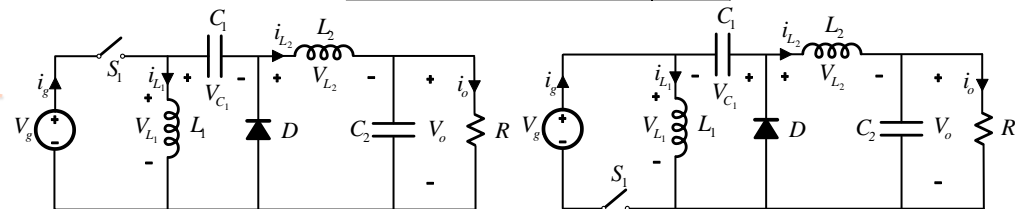
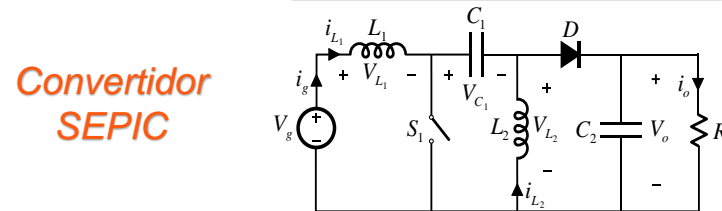
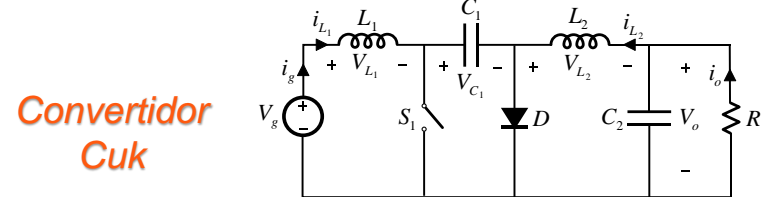
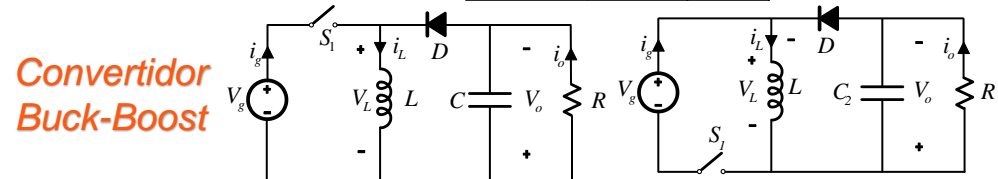
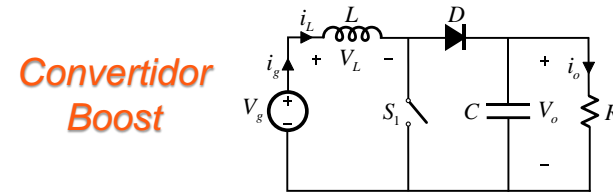
$$R_{crit.} = \frac{2L_{eq}}{(1-D)^2 T_S} \text{ para Cuk, SEPIC y Zeta}$$

$$R_{crit.} = \frac{2L}{D(1-D)^2 T_S} \text{ para Boost}$$

Para  $R$  mayor que  $R_{crit.}$ , el convertidor funciona en DCM

- Es posible combinarlas:

- Misma parte frontal
- SEPIC y Cuk misma relación de conversión de tensión, con polaridades opuestas
- Bu-BoSIC y Zeta misma relación de conversión de tensión, con polaridades opuestas

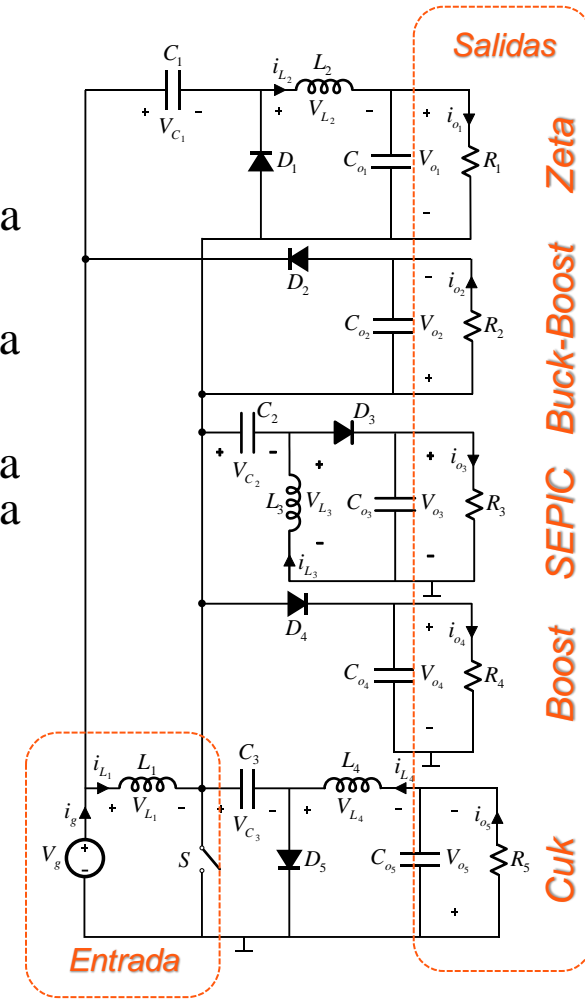


## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

### ■ Convertidor combinado, funcionamiento:

#### ○ Interruptor $S$ conduce:

- La energía suministrada por el generador se almacena en  $L_1$
- Los inductores  $L_2$ ,  $L_3$  y  $L_4$  también almacenan energía debido a la descarga de  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$
- Los diodos de libre circulación  $D$  no conducen y la energía suministrada a las cargas es proporcionada por los condensadores:
  - $L_2$  y  $C_{o1}$  para el lado Zeta
  - $C_{o2}$  para el lado Bu-BoSIC
  - $C_{o3}$  para el lado SEPIC
  - $C_{o4}$  para el lado Boost
  - $L_4$  y  $C_{o5}$  para el lado Cuk



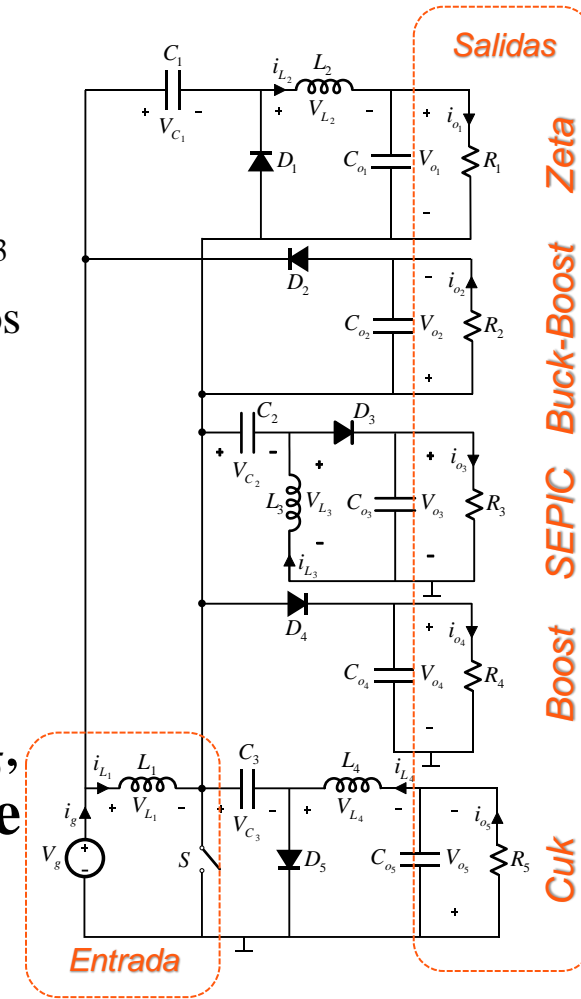
## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

### ■ Convertidor combinado, funcionamiento:

#### ○ Interruptor $S$ no conduce:

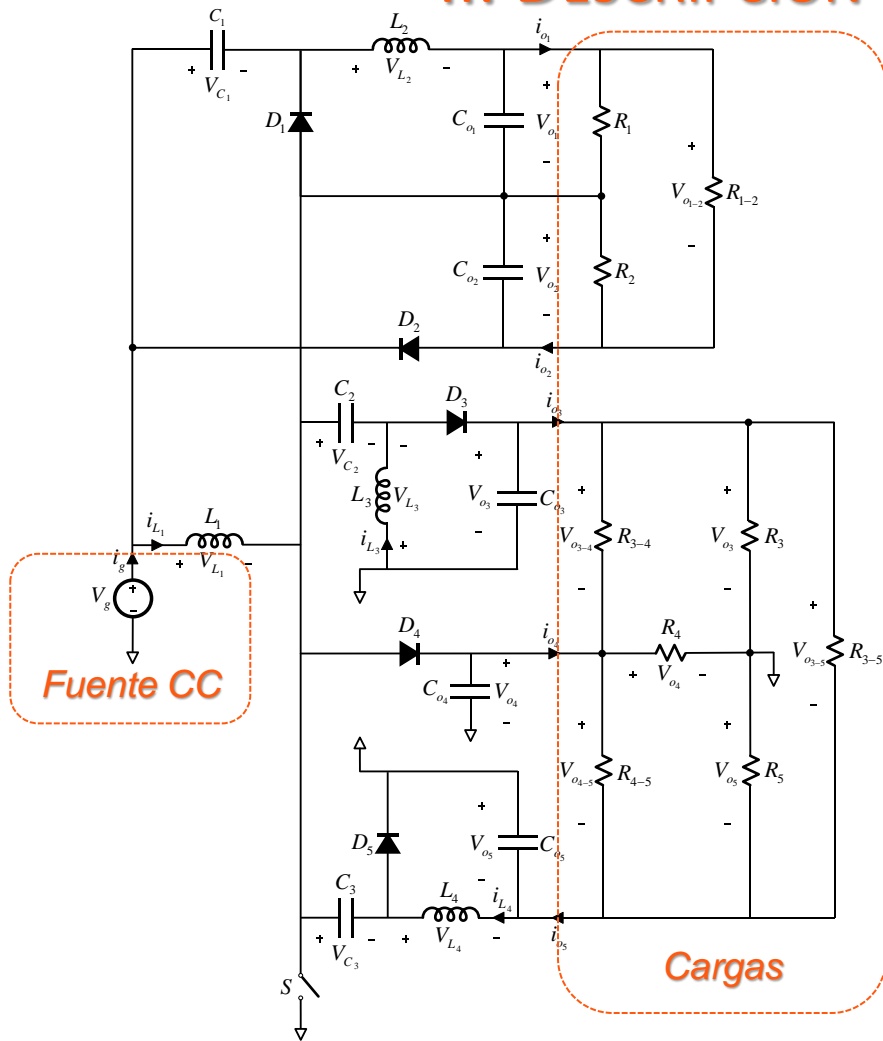
- Los inductores cargan a los condensadores  $C_1, C_2, C_3$
- También a  $C_{o1}, C_{o2}, C_{o3}, C_{o4}$  y  $C_{o5}$  a través de los diodos de libre circulación

### ■ Cuando se añade: $R_{1-2}, R_{3-4}, R_{4-5},$ y $R_{3-5}$ , se pueden obtener hasta **nueve tensiones de salida**





## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA



### ■ Funcionamiento en CCM y DCM:

$$\frac{1}{R_{eq,crit.}} = \frac{(1-D)^2 T_S}{2L_{eq}} \text{ DCM se establece para } R_{eq} > R_{eq,crit.}$$

$$\text{con: } \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{Eq1}} + \frac{1}{D \cdot R_4} + \frac{2(1+D)}{D \cdot R_{4-5}}$$

$$\text{y } \frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_4}$$

$$V_{o4} = \frac{V_g}{2} \left[ \frac{b}{a} + \sqrt{\frac{b^2}{a^2} - \frac{4 \cdot c}{a}} \right]$$

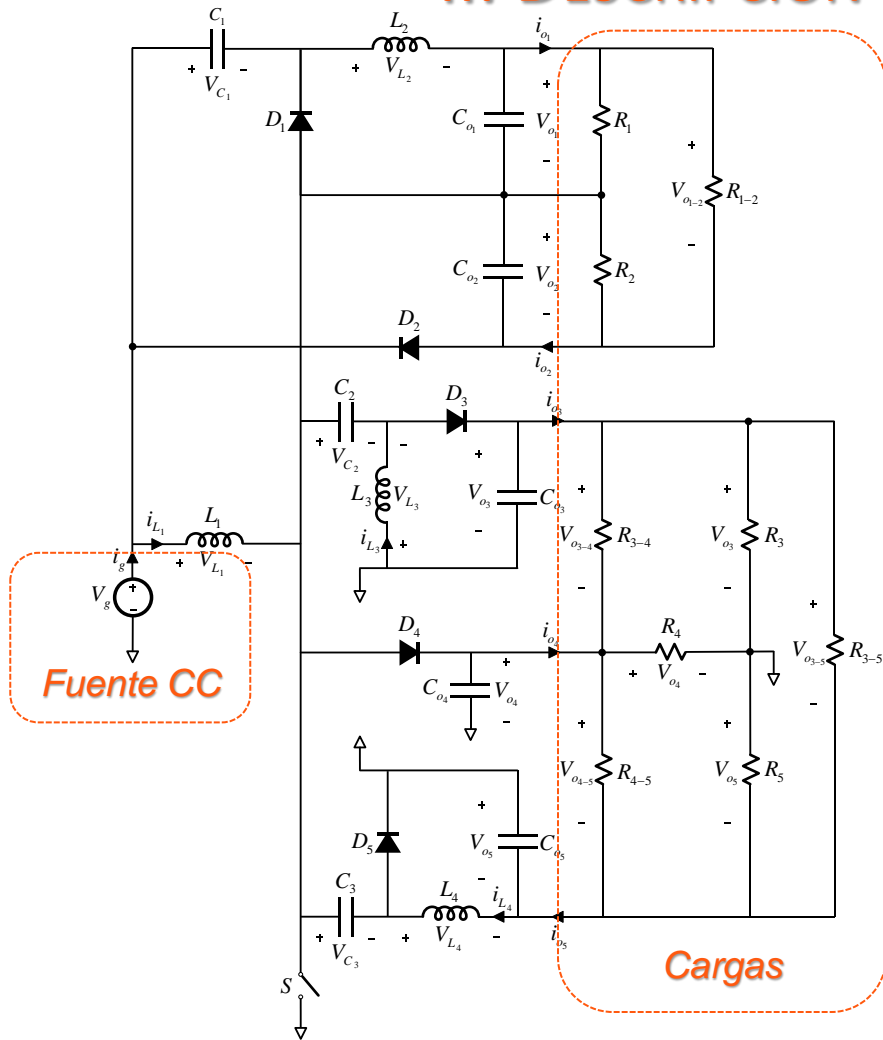
$$\text{con: } V_{o1} + V_g = V_{o2} + V_g = V_{o3} + V_g = V_{o5} + V_g = V_{o4}$$

$$\text{donde: } a = \frac{1}{R_{Eq1}} + \frac{1}{R_4} + \frac{4}{R_{4-5}}$$

$$b = \frac{2}{R_{Eq1}} + \frac{1}{R_4} + \frac{7}{R_{4-5}}$$

$$c = \frac{-D^2 T_S}{2 L_{eq}} + \frac{1}{R_{Eq1}} + \frac{3}{R_{4-5}}$$

## II. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA



- Corrientes medias por los semiconductores:

$$I_{S,AVG} = \frac{V_g \cdot D^2}{(1-D)^2} \left[ \frac{2D-1}{D \cdot R_1} + \frac{1}{D \cdot R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{D \cdot R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{4}{R_{1-2}} + \frac{4}{R_{3-5}} + \frac{2(1+D)}{D \cdot R_{4-5}} \right]$$

$$I_{D1,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_{1-2}} \right]$$

$$I_{D2,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_2} + \frac{2}{R_{1-2}} \right]$$

$$I_{D3,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_3} + \frac{2}{R_{3-5}} + \frac{(D-1)}{D \cdot R_{3-4}} \right]$$

$$I_{D4,AVG} = \frac{V_g}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_4} + \frac{(1-D)}{R_{3-4}} + \frac{(1+D)}{R_{4-5}} \right]$$

$$I_{D5,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_5} + \frac{2}{R_{3-5}} + \frac{(1+D)}{D \cdot R_{4-5}} \right]$$

- Corrientes medias por los inductores:

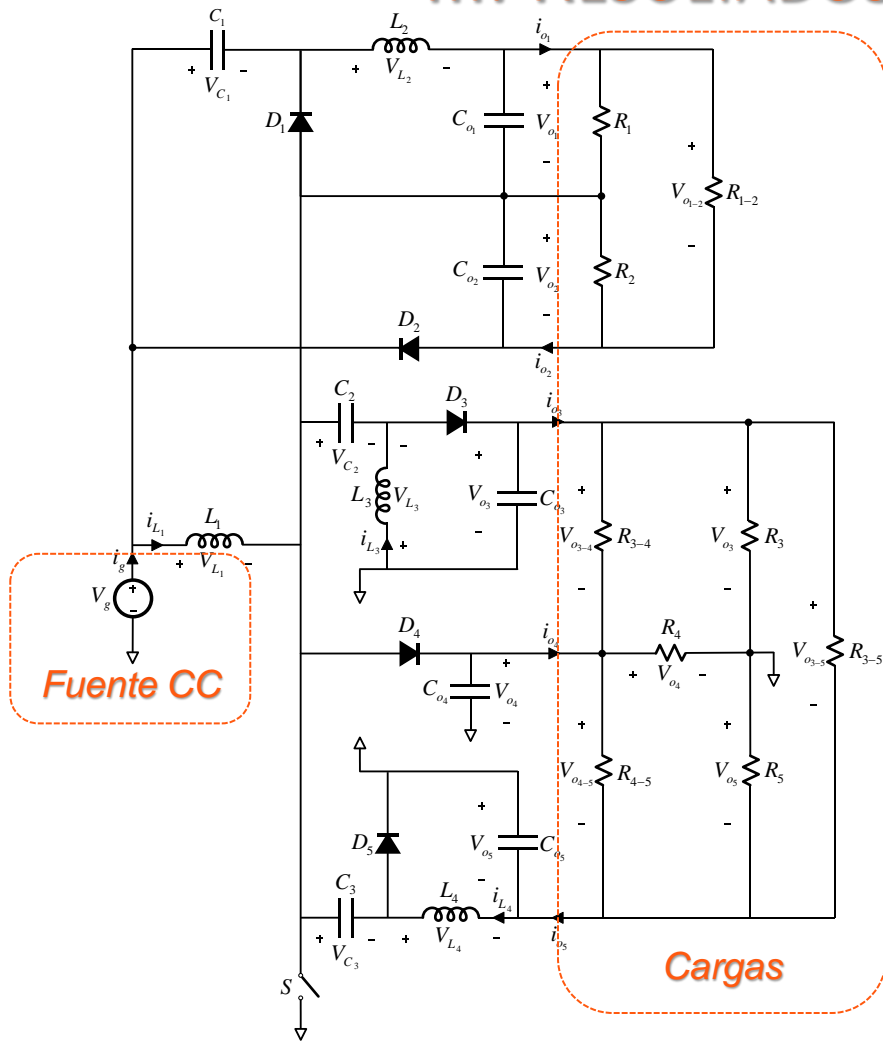
$$I_{L1,AVG} = \frac{V_g \cdot D^2}{(1-D)^2} \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{D \cdot R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{D^2 \cdot R_4} + \frac{1}{R_5} + \frac{2(1+D)}{D \cdot R_{1-2}} + \frac{(1+D)^2}{D^2 \cdot R_{4-5}} + \frac{4}{R_{3-5}} + \frac{(1-D)^2}{D^2 \cdot R_{3-4}} \right]$$

$$I_{L2,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_1} + \frac{2}{R_{1-2}} \right]$$

$$I_{L3,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_3} + \frac{2}{R_{3-5}} + \frac{(D-1)}{D \cdot R_{3-4}} \right]$$

$$I_{L4,AVG} = \frac{V_g \cdot D}{(1-D)} \left[ \frac{1}{R_5} + \frac{2}{R_{3-5}} + \frac{(1+D)}{D \cdot R_{4-5}} \right]$$

## III. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



- MATLAB-Simulink

- Primera prueba, elevador en CCM

- $V_g = 12 \text{ V}; D = 0,8$

- Cargas:

$R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5}=200 \ \Omega$   
 $R_4 = 10 \ \Omega$

- Tensiones de salida:

$V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 48 \text{ V}$

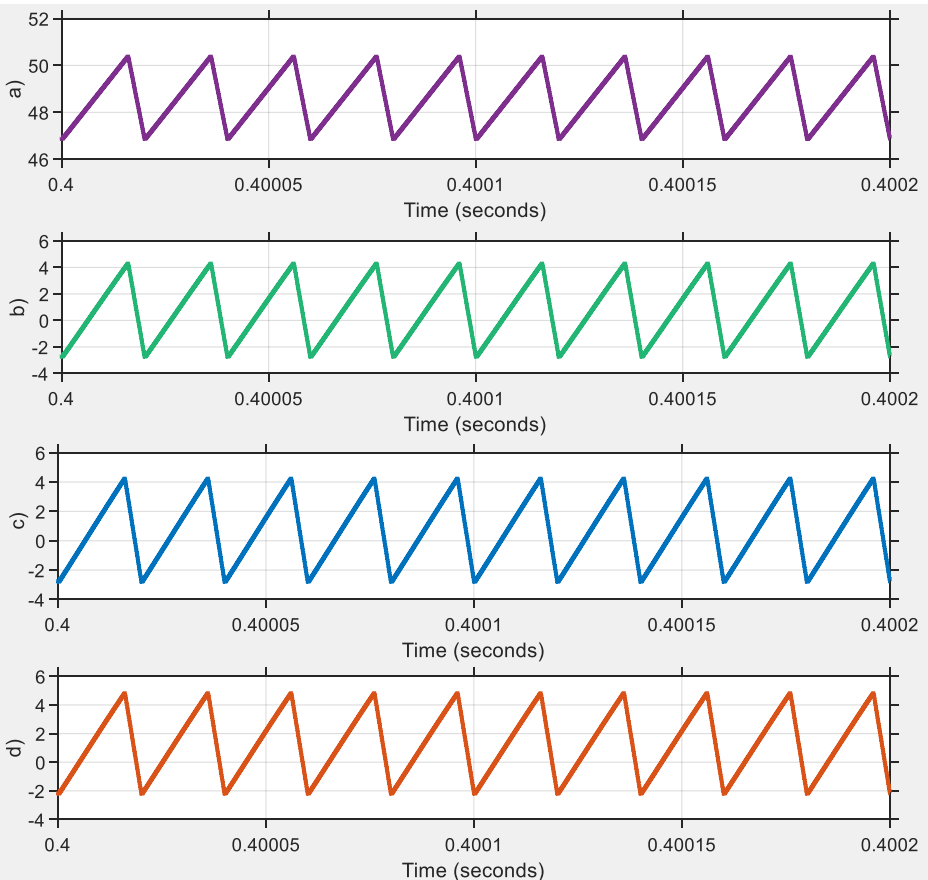
$V_{o4} = 60 \text{ V}$

$V_{o1-2}=V_{o3-5} = 96 \text{ V}$

$V_{o3-4}=12 \text{ V}$

$V_{o4-5}=108 \text{ V}$

## III. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



- MATLAB-Simulink

- Primera prueba, elevador en CCM

- $V_g = 12 \text{ V}; D = 0,8$

- Cargas:

$$R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5}=200 \ \Omega$$

$$R_4 = 10 \ \Omega$$

- Tensiones de salida: Teórico  $\rightarrow$  Simulación

$$V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 48 \text{ V} \rightarrow 48,1 \text{ V}$$

$$V_{o4} = 60 \text{ V} \rightarrow 59,9 \text{ V}$$

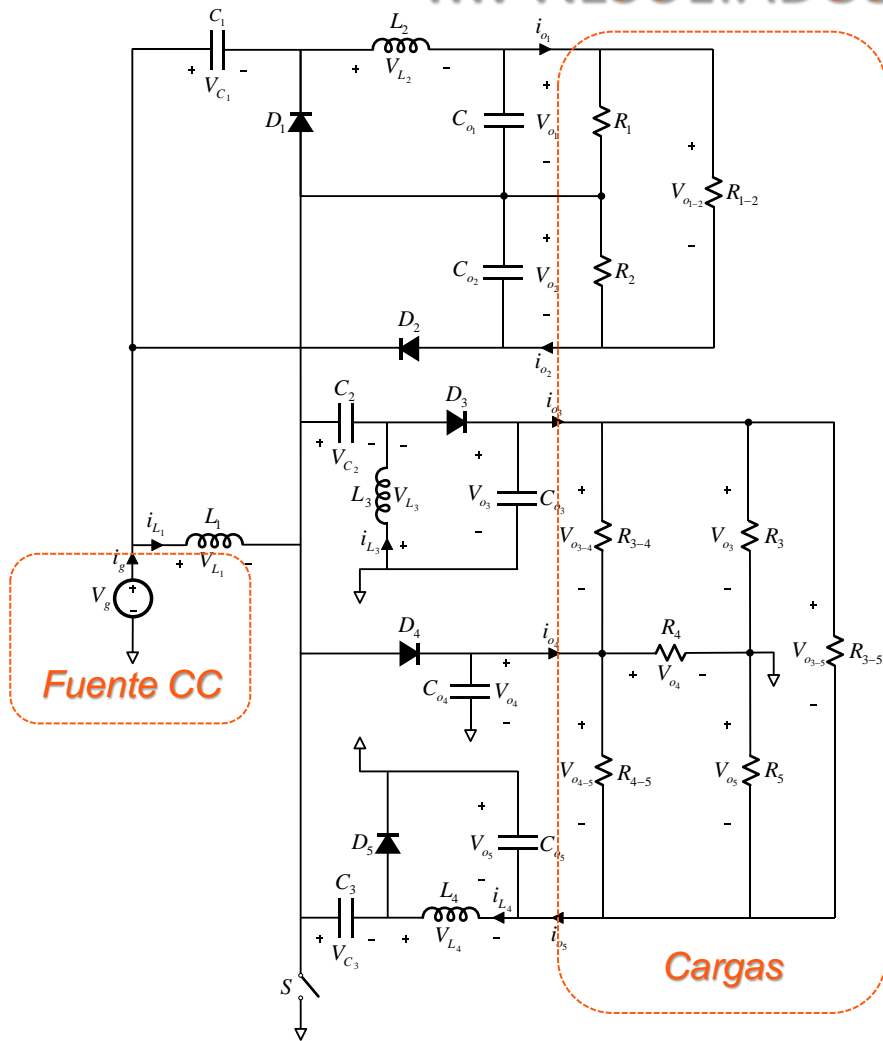
$$V_{o1-2}=V_{o3-5} = 96 \text{ V} \rightarrow 96,2 \text{ V}$$

$$V_{o3-4}=12 \text{ V} \rightarrow 11,7 \text{ V}$$

$$V_{o4-5}=108 \text{ V} \rightarrow 108 \text{ V}$$

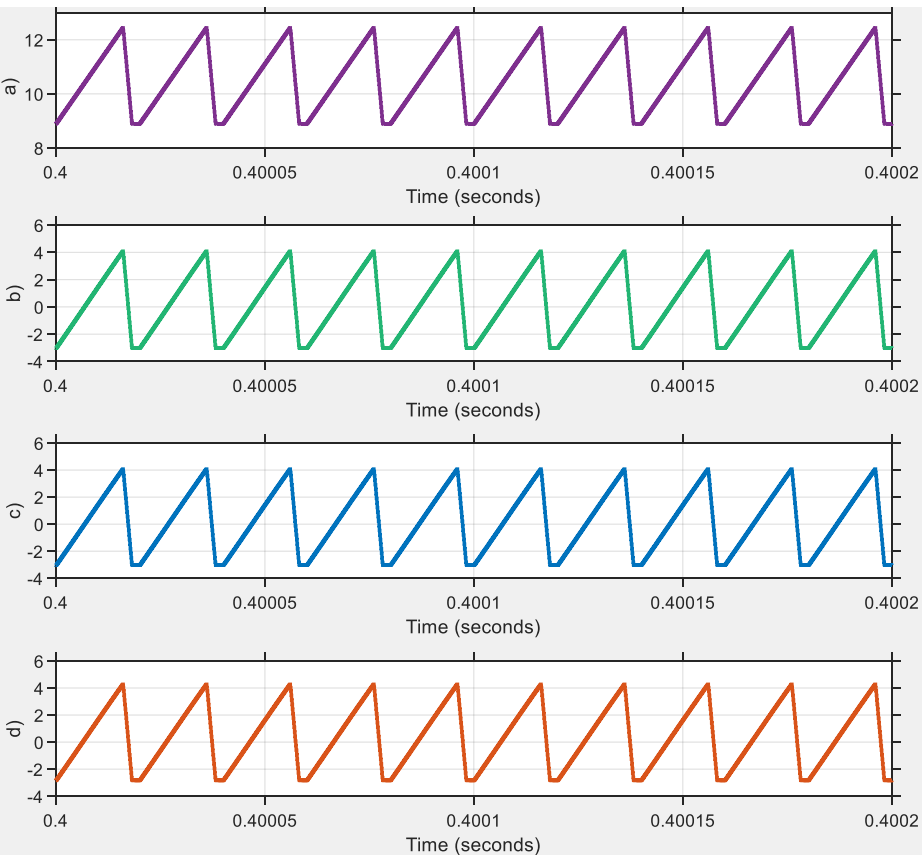
Corrientes por las bobinas: a)  $i_{L1}$ , b)  $i_{L2}$ , c)  $i_{L3}$ , d)  $i_{L4}$

## III. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



- MATLAB-Simulink
- Segunda prueba, elevador en DCM
  - $V_g = 12 \text{ V}; D = 0,8$
  - Cargas:
    - $R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5} = 1 \text{ k}\Omega$
    - $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$
  - Tensiones de salida:
    - $V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 83,12 \text{ V}$
    - $V_{o4} = 95,12 \text{ V}$
    - $V_{o1-2}=V_{o3-5} = 166,25 \text{ V}$
    - $V_{o3-4} = 12 \text{ V}$
    - $V_{o4-5} = 178,24 \text{ V}$

## III. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN



- MATLAB-Simulink

- Segunda prueba, elevador en DCM

- $V_g = 12 \text{ V}; D = 0,8$

- Cargas:

$$R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5} = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_4 = 1 \text{ k}\Omega$$

- Tensiones de salida: Teórico  $\rightarrow$  Simulación

$$V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 83,12 \text{ V} \rightarrow 83,5 \text{ V}$$

$$V_{o4} = 95,12 \text{ V} \rightarrow 93,4 \text{ V}$$

$$V_{o1-2}=V_{o3-5} = 166,25 \text{ V} \rightarrow 162,9 \text{ V}$$

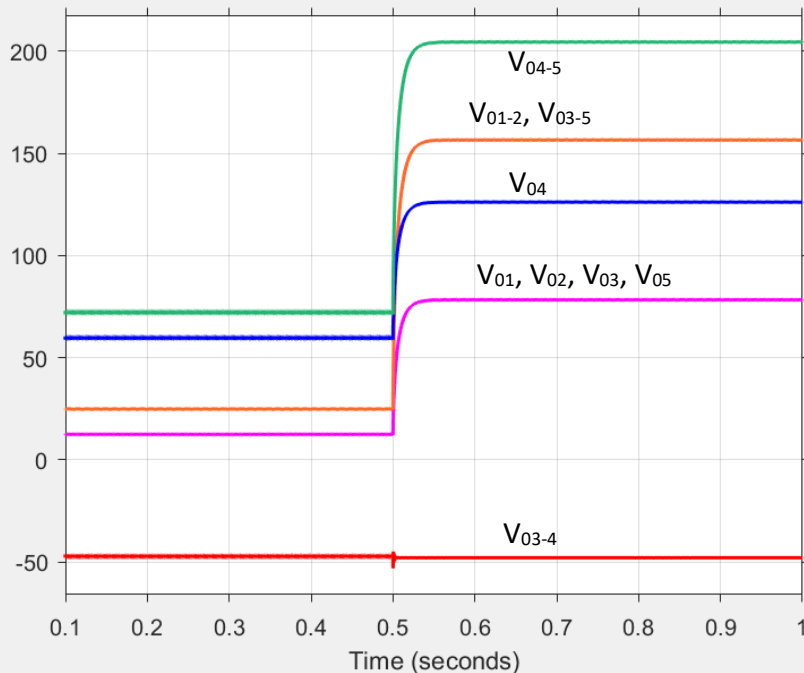
$$V_{o3-4} = 12 \text{ V} \rightarrow 11,8 \text{ V}$$

$$V_{o4-5} = 178,24 \text{ V} \rightarrow 174,9 \text{ V}$$

Corrientes por las bobinas: a)  $i_{L1}$ , b)  $i_{L2}$ , c)  $i_{L3}$ , d)  $i_{L4}$

## III. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

- MATLAB-Simulink
- Tercera prueba, reductor en CCM y DCM



*Tensiones de salida del convertidor combinado funcionando en CCM y DCM*

- $V_g = 48 \text{ V}; D = 0,2$
- Cargas CCM:  
 $R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5} = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_4 = 5 \Omega$
- Tensiones de salida CCM:  
 $V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 12 \text{ V}$   
 $V_{o4} = 60 \text{ V}$   
 $V_{o1-2} = V_{o3-5} = 24 \text{ V}$   
 $V_{o3-4} = 48 \text{ V}$   
 $V_{o4-5} = 78 \text{ V}$
- Cargas DCM:  
 $R_1=R_2=R_{1-2}=R_3=R_5=R_{3-4}=R_{4-5}=R_{3-5} = 1 \text{ k}\Omega$   
 $R_4 = 1 \text{ k}\Omega$
- Tensiones de salida DCM:  
 $V_{o1} = V_{o2} = V_{o3} = V_{o5} = 81,5 \text{ V}$   
 $V_{o4} = 129,05 \text{ V}$   
 $V_{o1-2} = V_{o3-5} = 162,10 \text{ V}$   
 $V_{o3-4} = 48 \text{ V}$   
 $V_{o4-5} = 210,10 \text{ V}$

## IV. CONCLUSIONES

- Topología de convertidor CC-CC con hasta nueve salidas de tensión diferentes.
- Esta configuración resulta de la combinación de cinco convertidores básicos de una entrada y una salida: SEPIC, Cuk, Zeta, Buck-Boost y Boost.
- Características principales: salidas no aisladas, solo un interruptor y número de componentes reducido.
- Estudio analítico completo del convertidor desarrollado.
  - Funcionamiento y expresiones de valores medios de cada una de las variables del circuito en sus dos modos de funcionamiento: DCM y CCM.
  - Resultados válidos para topologías con menos salidas.
- Los resultados de la simulación han permitido la verificación del análisis teórico presentado en este trabajo.



Sevilla

5-7 Julio

sadei 23

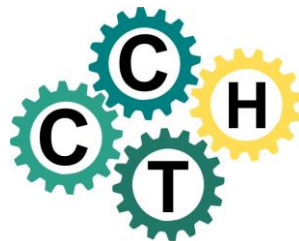
XXX Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación

CONVERTIDOR CC-CC NO AISLADO  
CON NUEVE SALIDAS Y UN SOLO INTERRUPTOR

GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Universidad  
de Huelva



CENTRO CIENTÍFICO  
TECNOLÓGICO HUELVA

- María Bella Ferrera Prieto<sup>1</sup> ([ferrera@die.uhu.es](mailto:ferrera@die.uhu.es))
- Cristian Díaz Martín<sup>2</sup> ([cristian.diaz@diesia.uhu.es](mailto:cristian.diaz@diesia.uhu.es))
- Salvador Pérez Litrán<sup>1</sup> ([salvador@uhu.es](mailto:salvador@uhu.es))
- Eladio Durán Aranda<sup>3</sup> ([aranda@diesia.uhu.es](mailto:aranda@diesia.uhu.es))

<sup>1</sup> Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Térmica. Universidad de Huelva

<sup>2</sup> Centro Científico Tecnológico. Universidad de Huelva

<sup>3</sup> Dpto. de Ingeniería Electrónica. Universidad de Huelva