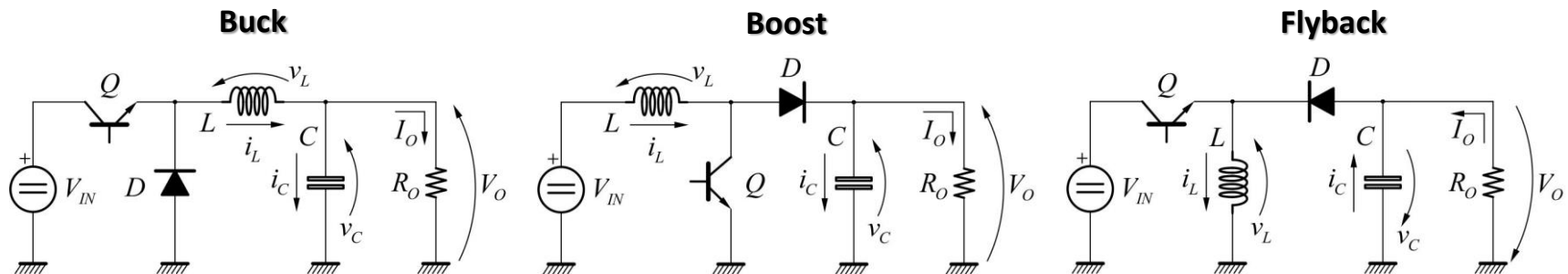


## Sistemas de Control

### Convertidores DC/DC – Análisis topológico



#### Aspectos a analizar:

- Circuitos resultantes en condiciones ON y OFF.
- Análisis de formas de onda.
- Relación de gran señal.
- Cálculo de inductancia crítica,  $L_C$ .
- Cálculo de ripple de tensión sobre el capacitor,  $\Delta v_{C_{pp}}$ .

#### Condiciones de operación:

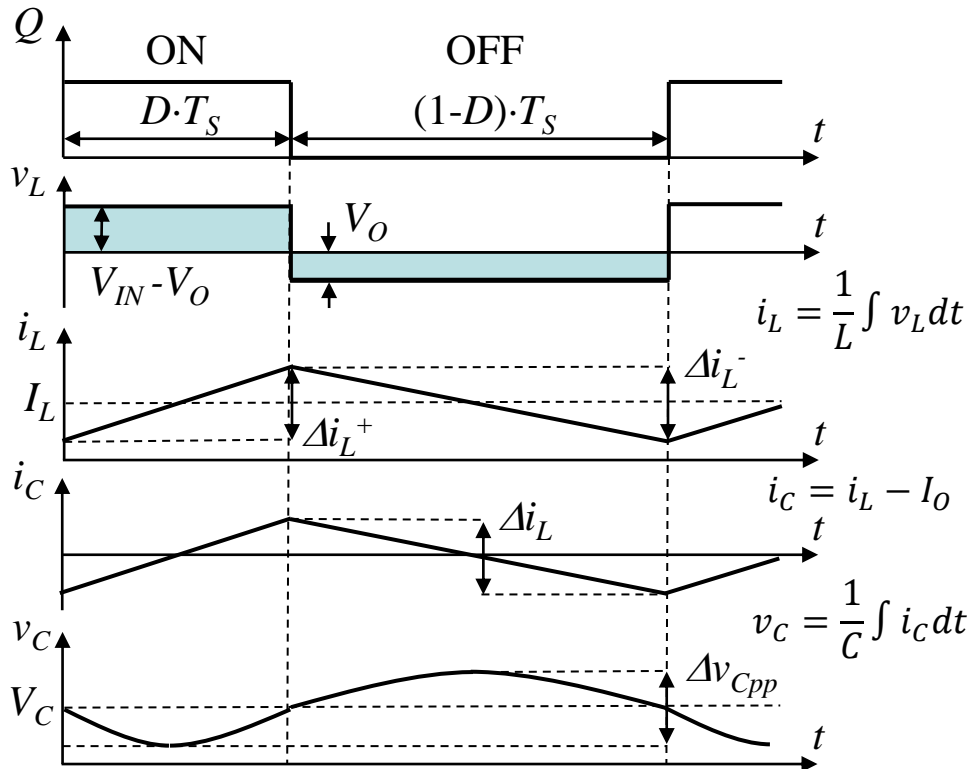
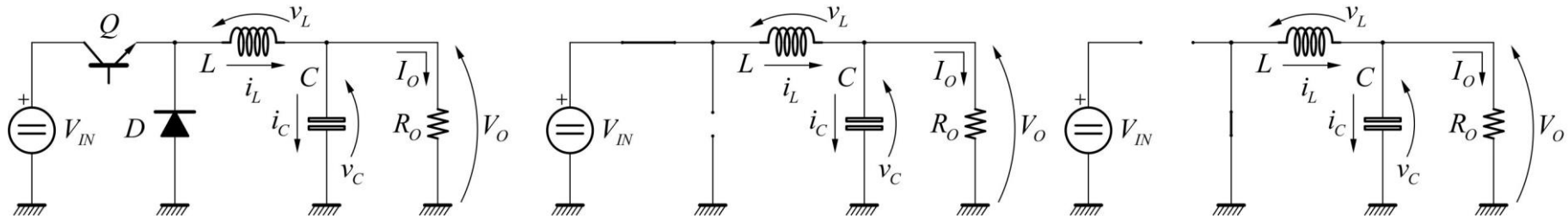
- Estado estacionario ( $V_C$ :cte,  $I_L$ :cte).
- Modo de conducción continua,  $i_L > 0 \forall t$ .
- Período constante.
- Ripple de tensión reducido en el capacitor,  $\Delta v_{C_{pp}} \ll V_C$ .

$v_C$ : valor instantáneo (continua + ripple)  
 $V_C$ : valor de continua  
 $\Delta v_{C_{pp}}$ : amplitud pico a pico del ripple  
 $\tilde{v}_C = 0$ : análisis estático

# Convertidor Buck

Estado ON

Estado OFF



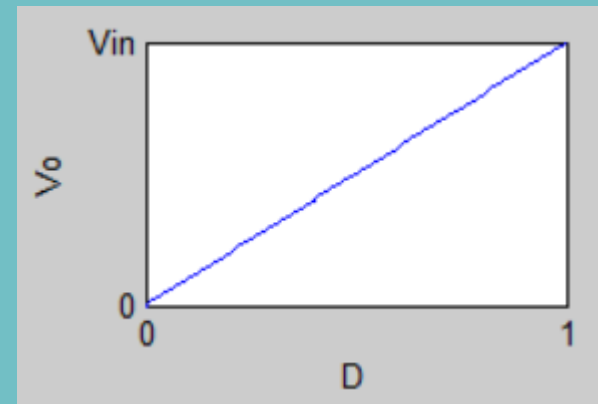
S.S.:  $V_C:cte \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow I_L = I_O$

## Relación de conversión de gran señal

Estado estacionario:  $I_L:cte \Rightarrow V_L = 0$

$$(V_{IN} - V_O) \cdot (D \cdot T_S) = (V_O) \cdot (1 - D) \cdot T_S$$

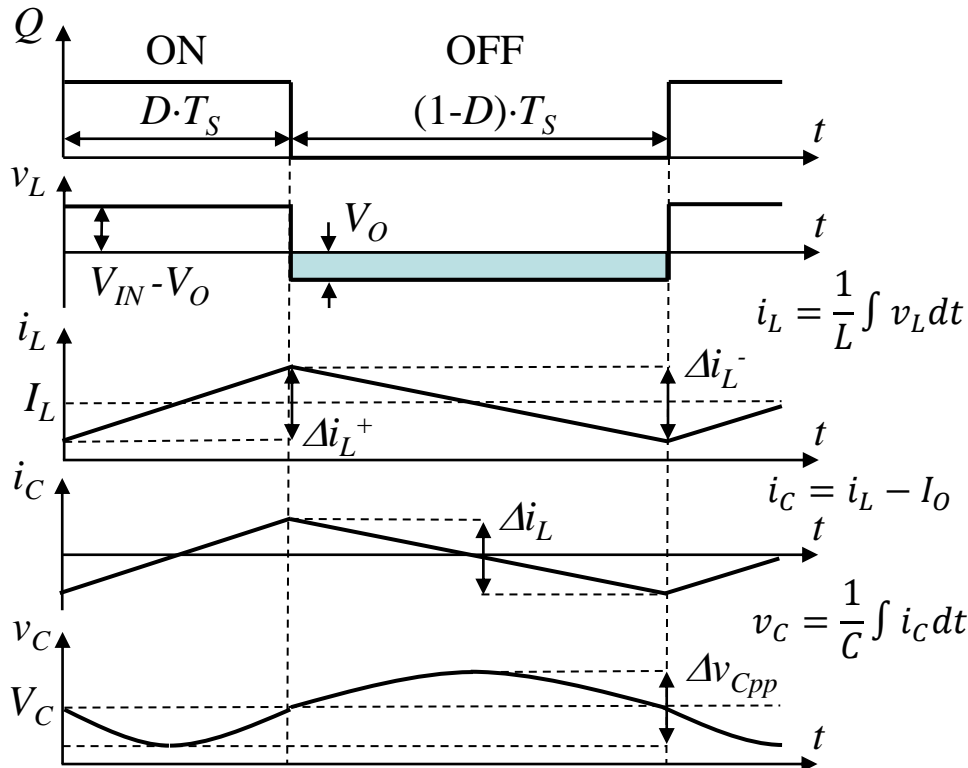
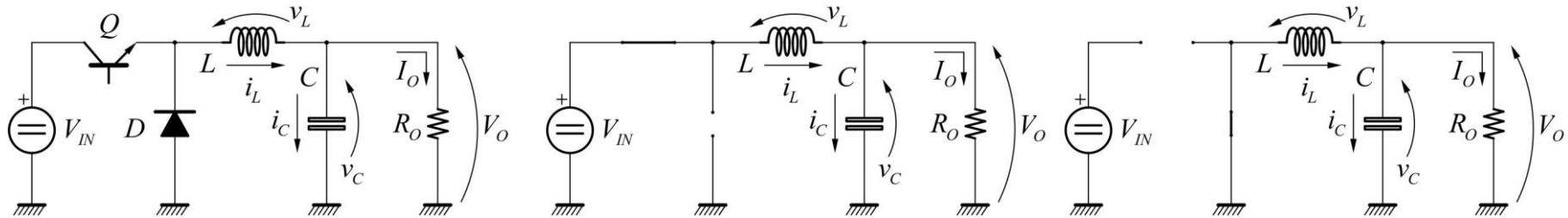
$$\frac{V_O}{V_{IN}} = D$$



# Convertidor Buck

Estado ON

Estado OFF



S.S.:  $V_C:cte \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow I_L = I_O$

## Inductancia crítica

Premisa: CCM  $\Rightarrow i_L > 0 \forall t$

Condición crítica:  $I_L = \frac{\Delta i_L}{2}$

Cálculo de  $I_L$ :  $I_L = I_O = \frac{V_O}{R_O}$

Cálculo de  $\frac{\Delta i_L}{2}$ :  $\Delta i_L^- = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_S}{L}$

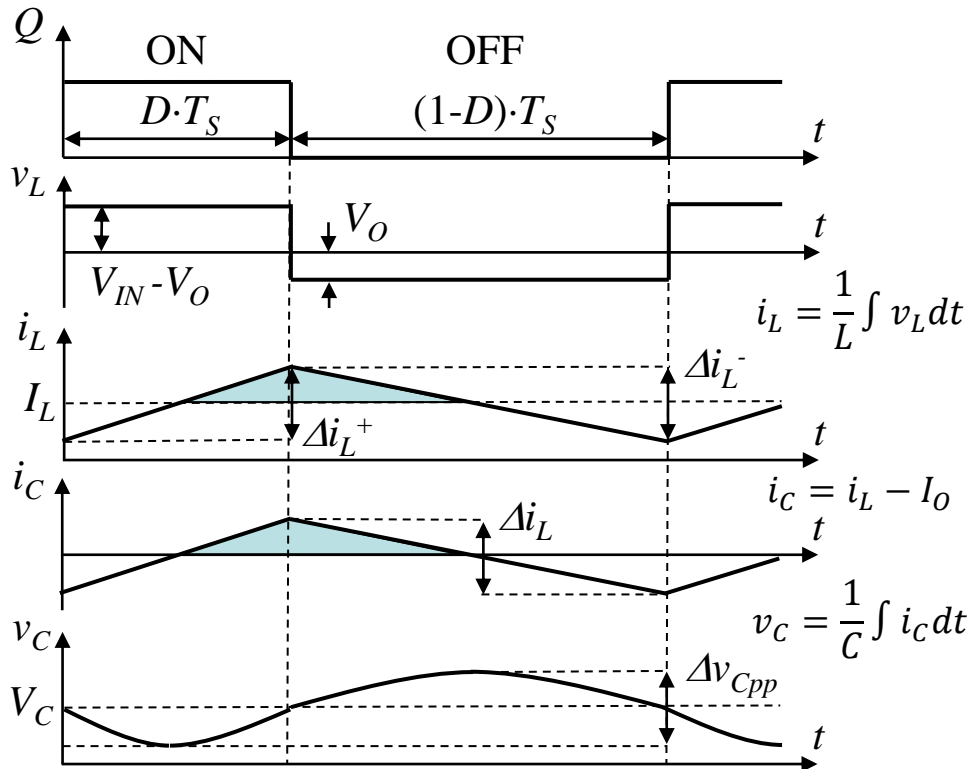
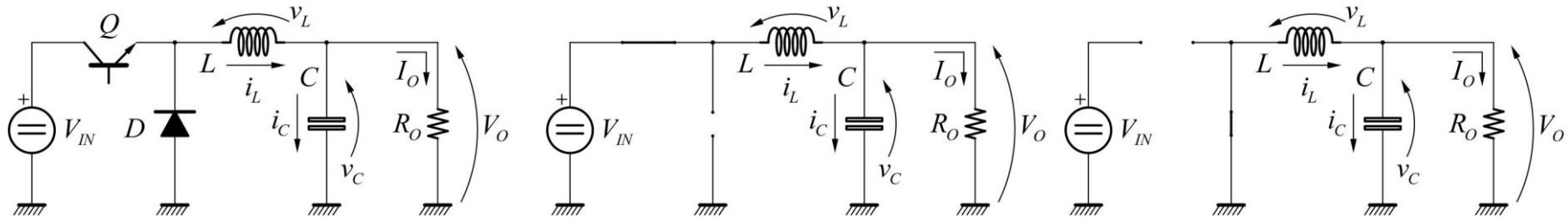
$$\frac{V_O}{R_O} = \frac{V_O (1-D) \cdot T_S}{2 \cdot L_C}$$

$$L_C = \frac{R_O (1-D) \cdot T_S}{2}$$

# Convertidor Buck

Estado ON

Estado OFF



S.S.:  $V_C:cte \Rightarrow I_C = 0 \Rightarrow I_L = I_O$

## Ripple de tensión

Cálculo de  $\Delta v_{opp}$ :  $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$

Cálculo de  $\Delta Q$ :  $\Delta Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta i_L}{2} \cdot \frac{T_S}{2}$

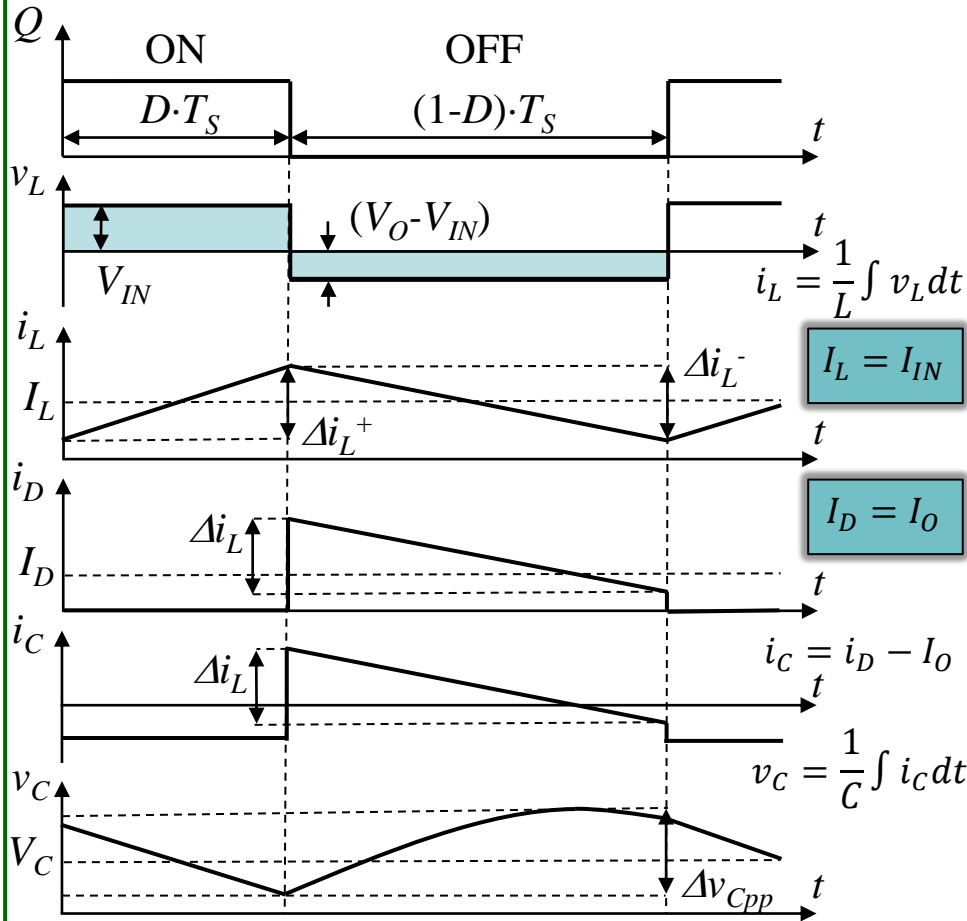
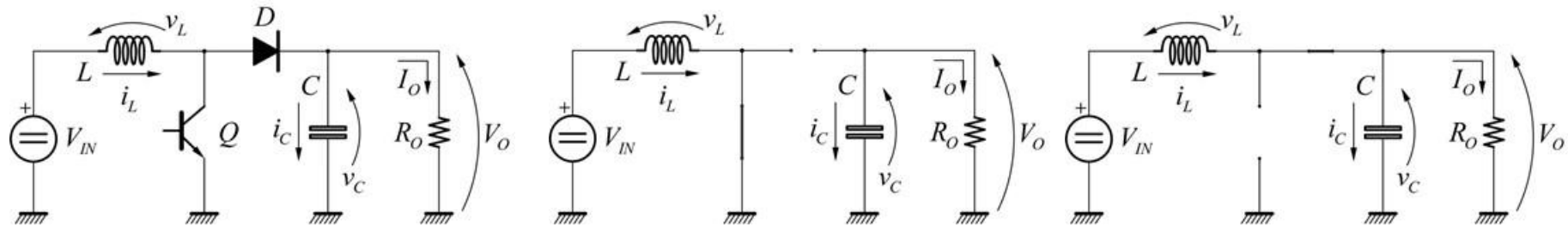
Cálculo de  $\Delta i_L$ :  $\Delta i_L = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_S}{L}$

$$\Delta v_{opp} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_S^2}{8 \cdot C \cdot L}$$

# Convertidor Boost

Estado ON

Estado OFF

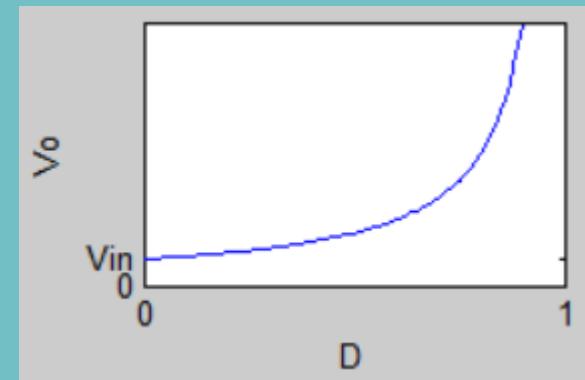


## Relación de conversión de gran señal

Estado estacionario:  $I_L:cte \Rightarrow V_L = 0$

$$(V_{IN}) \cdot (D \cdot T_S) = (V_O - V_{IN}) \cdot (1 - D) \cdot T_S$$

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{1}{1 - D}$$



Convertidores conmutados DC/DC

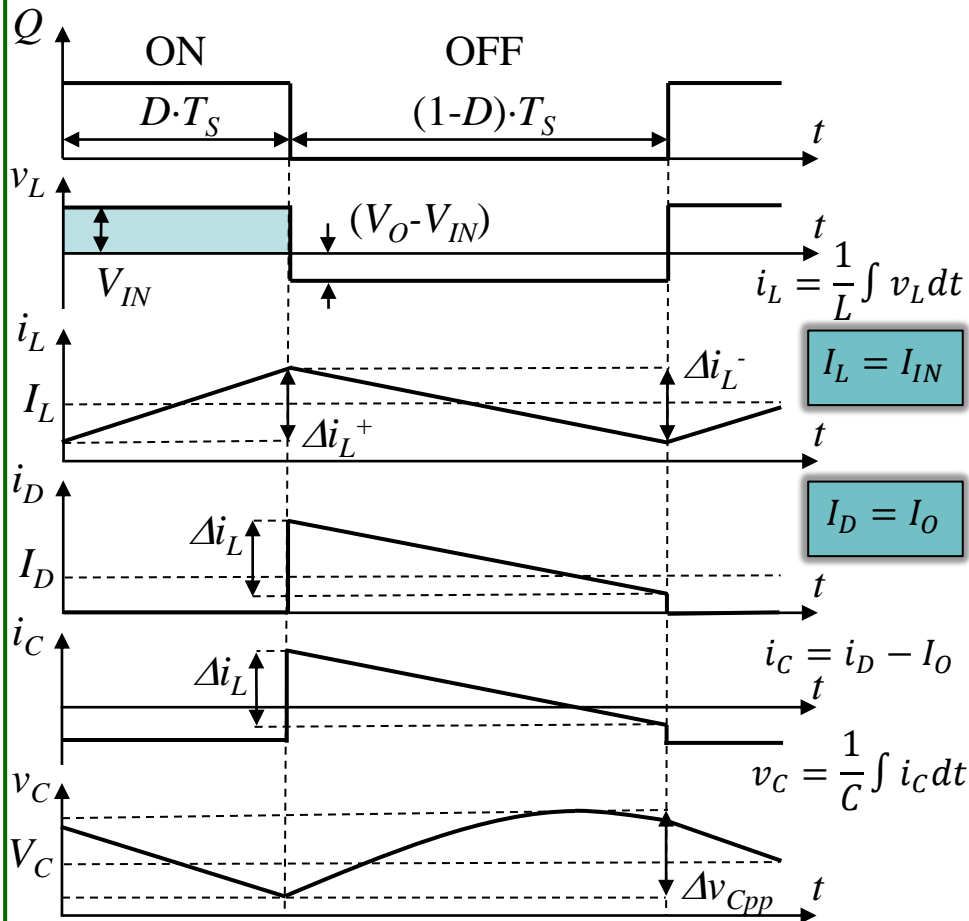
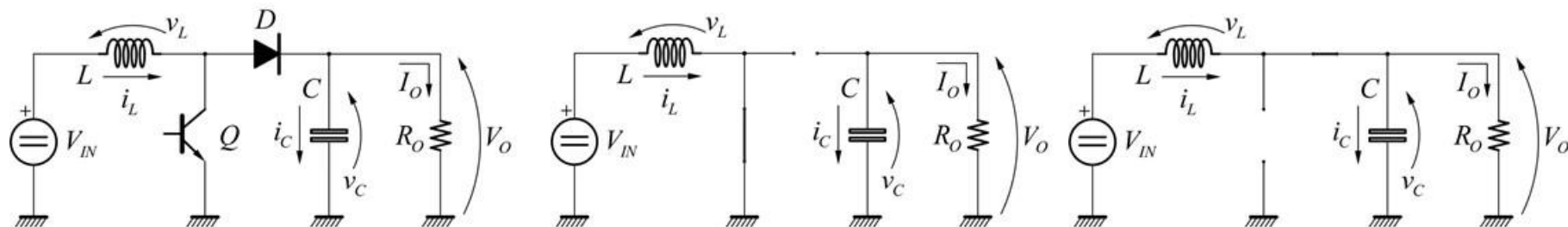
<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



# Convertidor Boost

Estado ON

Estado OFF



## Inductancia crítica

Premisa: CCM  $\Rightarrow i_L > 0 \forall t$

Condición crítica:  $I_L = \frac{\Delta i_L}{2}$

Cálculo de  $I_L$ :  $I_L = I_{IN}$

$P_{IN} = P_O \Rightarrow V_{IN} \cdot I_{IN} = V_O \cdot I_O$

$\Rightarrow I_{IN} = \frac{V_O}{V_{IN}} \cdot I_O = \frac{V_O^2}{V_{IN} \cdot R_O} = \frac{V_O}{(1-D) \cdot R_O}$

Cálculo de  $\frac{\Delta i_L}{2}$ :  $\Delta i_L^+ = \frac{V_{IN} \cdot D \cdot T_s}{L} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot D \cdot T_s}{L}$

$\frac{V_O}{(1-D) \cdot R_O} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot D \cdot T_s}{2 \cdot L_C}$

$$L_C = \frac{R_O (1-D)^2 \cdot D \cdot T_s}{2}$$

Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



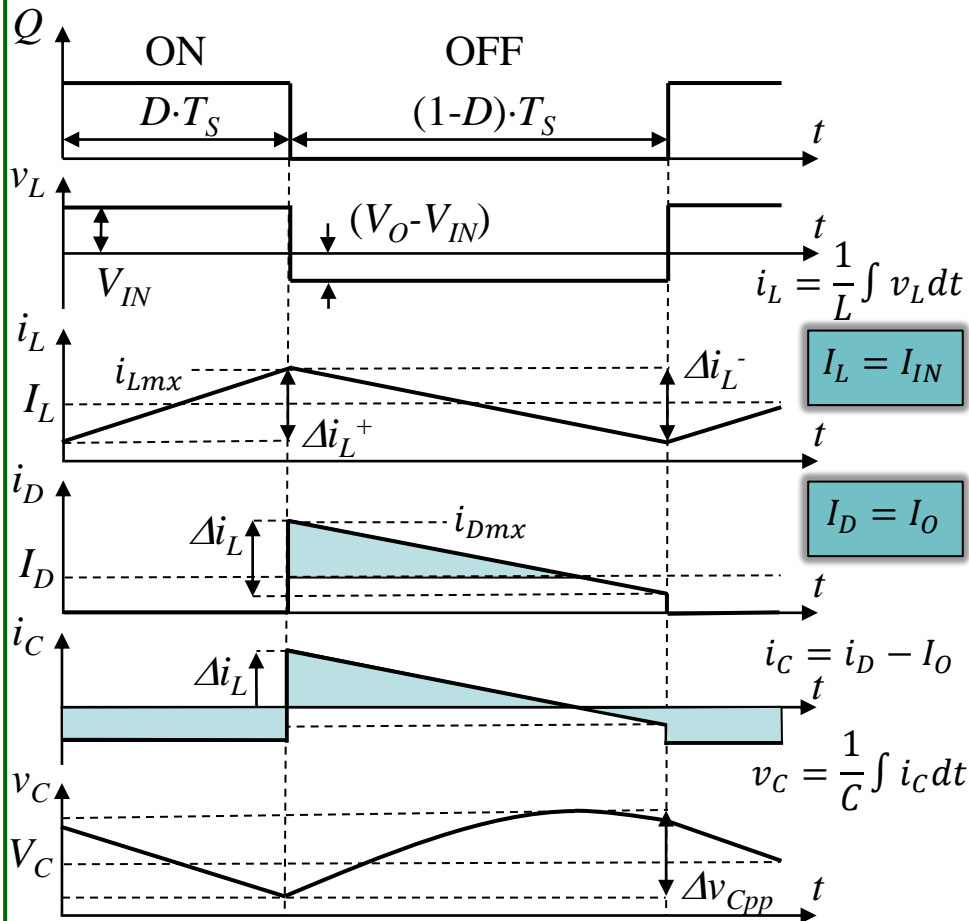
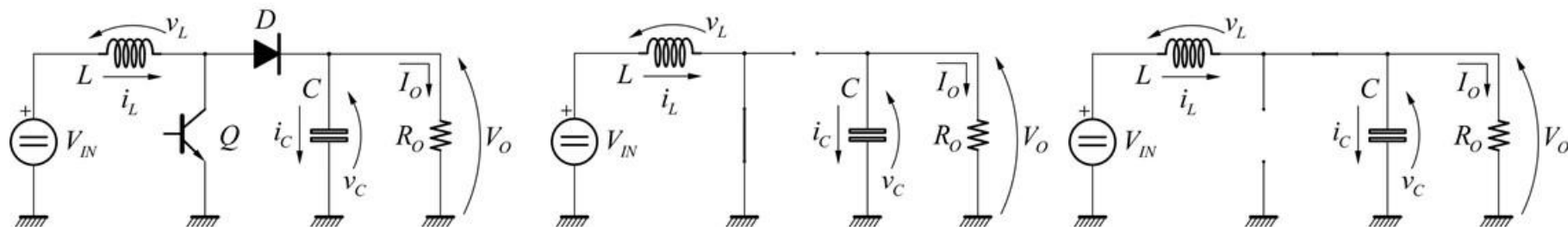
SISTEMAS DE CONTROL



# Convertidor Boost

Estado ON

Estado OFF



## Ripple de tensión

Cálculo de  $\Delta v_{Opp}$ :  $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$

Cálculo de  $\Delta Q$  ¿??

$$\Delta Q = \frac{\Delta i_L \cdot (1 - D) \cdot T_S}{2} \cdot \left( \frac{i_{Dmx} - I_D}{\Delta i_L} \right)^2$$

Cálculo de  $i_{Dmx}$ :  $i_{Dmx} = i_{Lmx} = I_{IN} + \frac{\Delta i_L}{2}$

$$I_{IN} = \frac{V_O}{(1 - D) \cdot R_O} \text{ y } \Delta i_L^+ = \frac{V_O \cdot (1 - D) \cdot D \cdot T_S}{L}$$

$$i_{Dmx} - I_D = \frac{D \cdot V_O}{(1 - D) \cdot R_O} + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$\Delta v_{Opp} = \frac{(1 - D) \cdot T_S}{2 \cdot C \cdot \Delta i_L} \cdot \left( \frac{D \cdot V_O}{(1 - D) \cdot R_O} + \frac{\Delta i_L}{2} \right)^2$$

Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



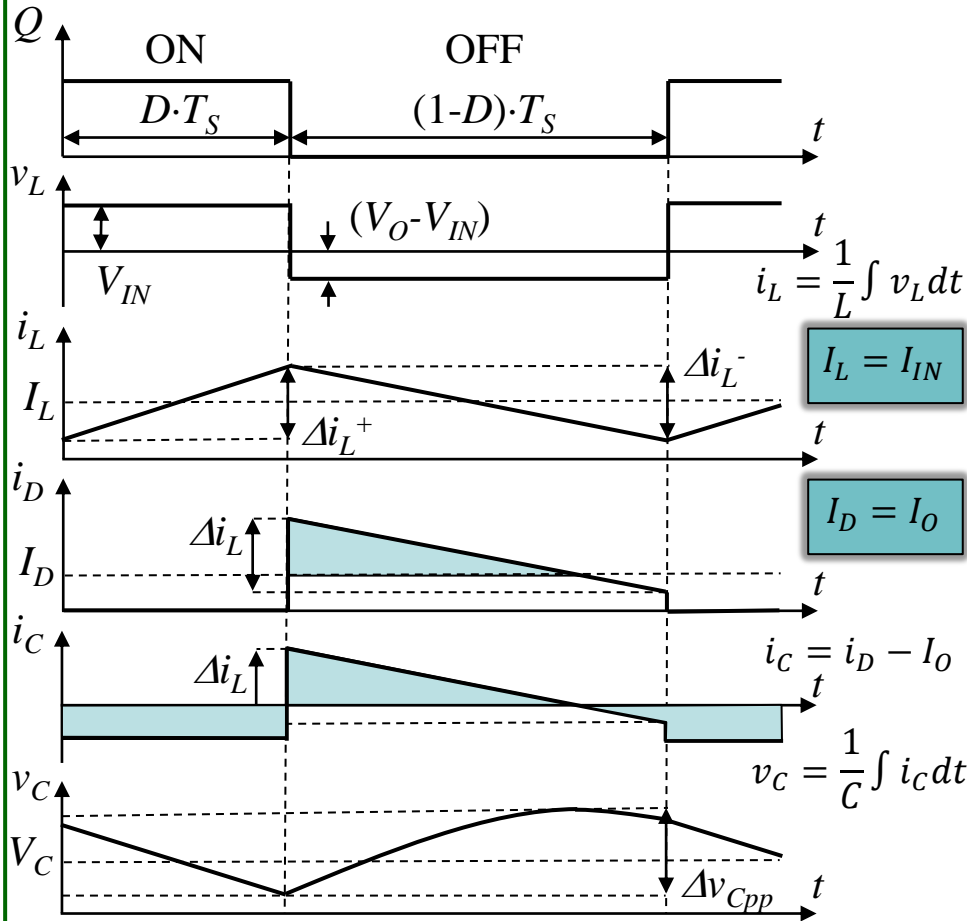
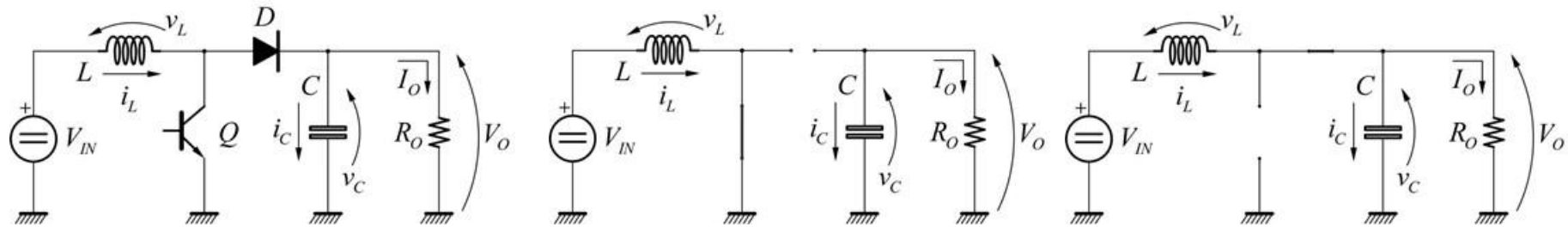
SISTEMAS DE CONTROL



# Convertidor Boost

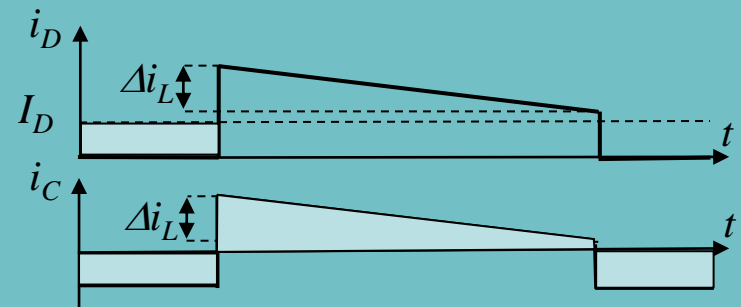
Estado ON

Estado OFF



## Ripple de tensión

¿Existe una segunda condición que modifica las cuentas!

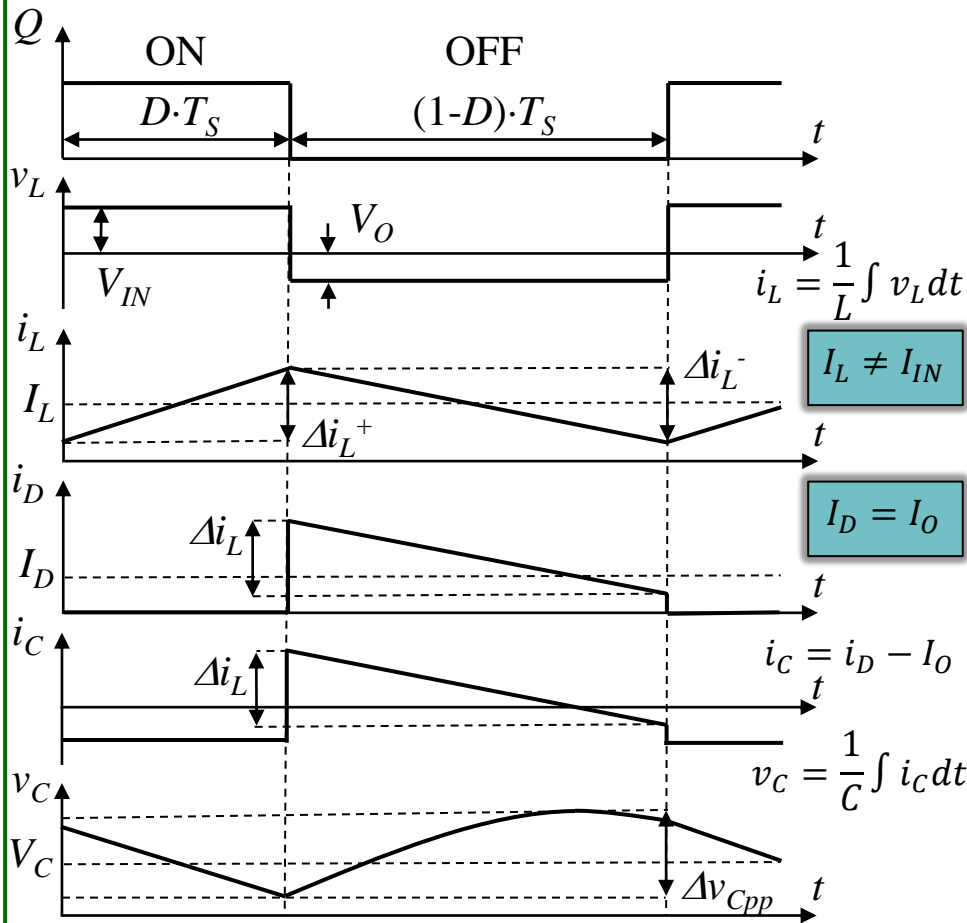
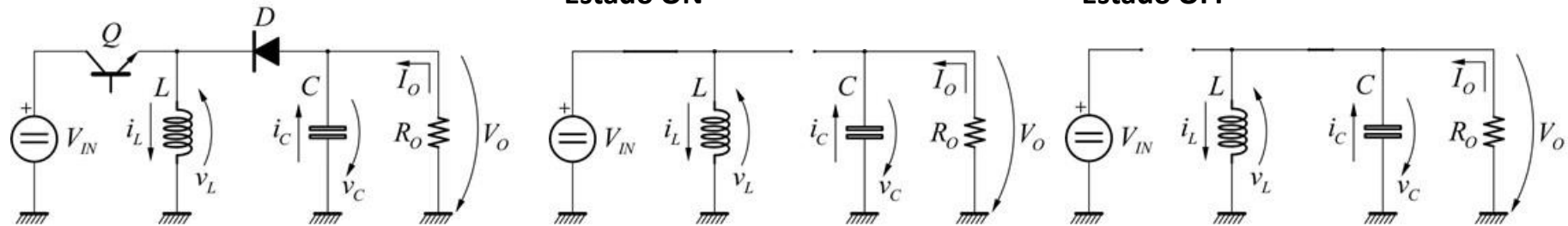




# Convertidor Flyback

Estado ON

Estado OFF



En estado ON se comporta como un Boost

En estado OFF se comporta como un Buck con todas las tensiones y corrientes cambiadas de signo!

Convertidores conmutados DC/DC

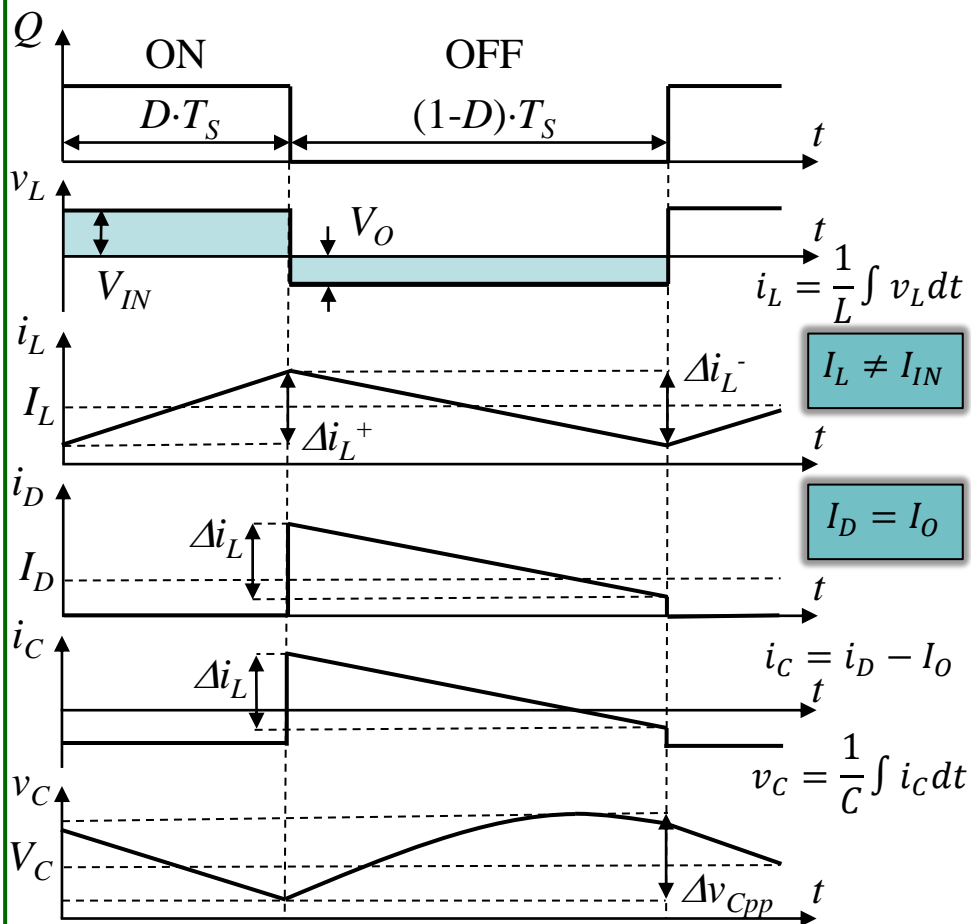
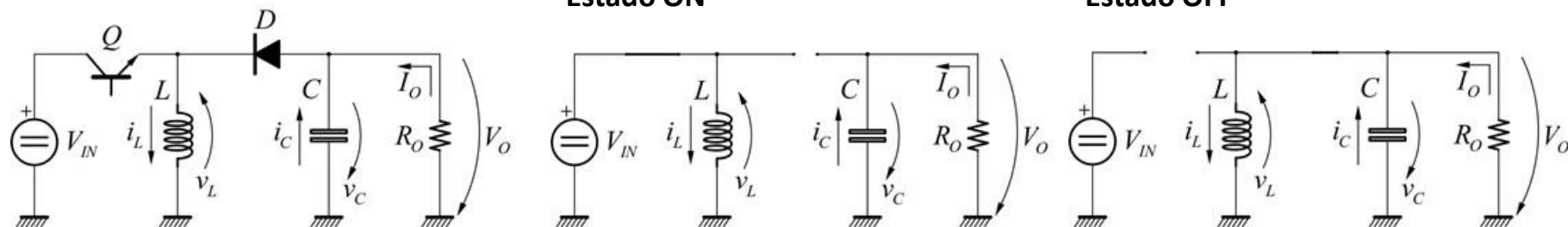
<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



# Convertidor Flyback

Estado ON

Estado OFF

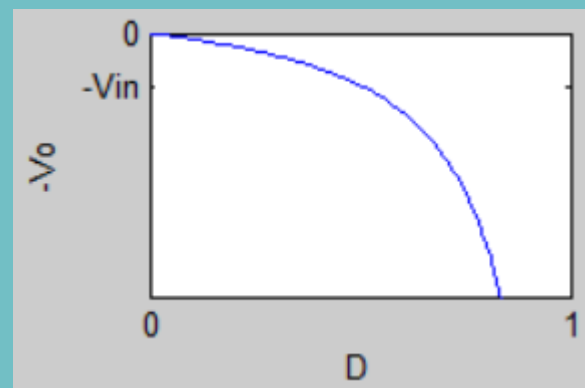


## Relación de conversión de gran señal

Estado estacionario:  $I_L:cte \Rightarrow V_L = 0$

$$(V_{IN}) \cdot (D \cdot T_s) = (V_O) \cdot (1 - D) \cdot T_s$$

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{D}{1 - D}$$



Convertidores conmutados DC/DC

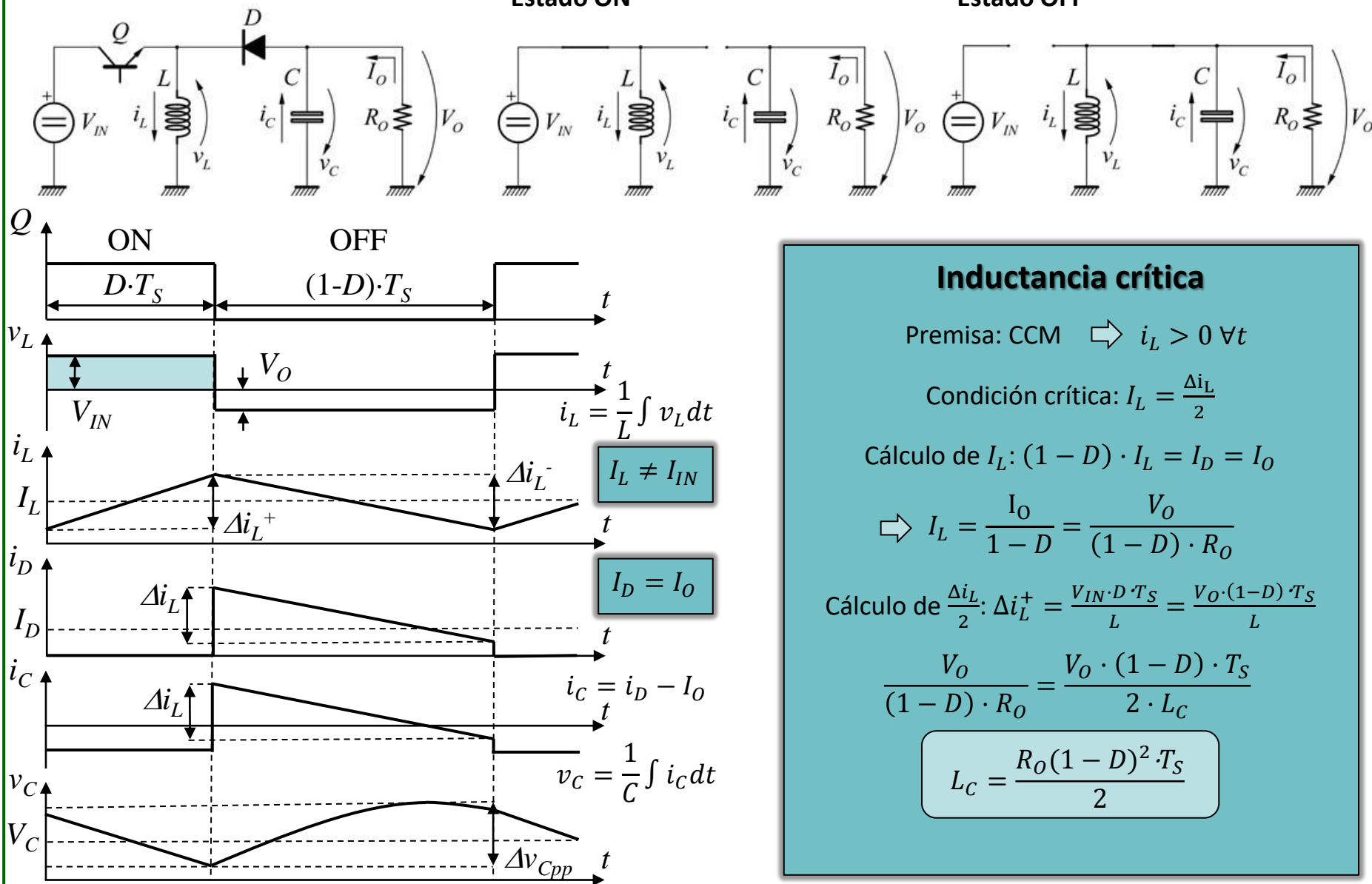
<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



# Convertidor Flyback

Estado ON

Estado OFF



## Inductancia crítica

Premisa: CCM  $\Rightarrow i_L > 0 \forall t$

Condición crítica:  $I_L = \frac{\Delta i_L}{2}$

Cálculo de  $I_L$ :  $(1-D) \cdot I_L = I_D = I_O$

$$\Rightarrow I_L = \frac{I_O}{1-D} = \frac{V_O}{(1-D) \cdot R_O}$$

Cálculo de  $\frac{\Delta i_L}{2}$ :  $\Delta i_L^+ = \frac{V_{IN} \cdot D \cdot T_S}{L} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_S}{L}$

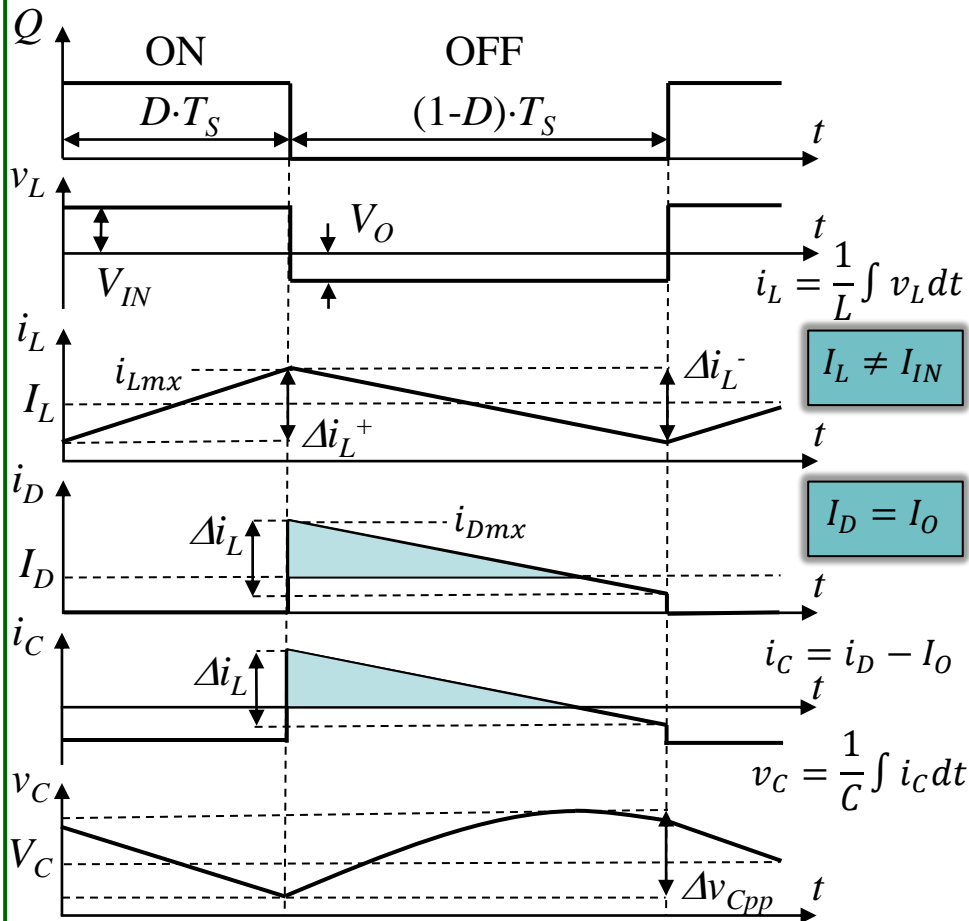
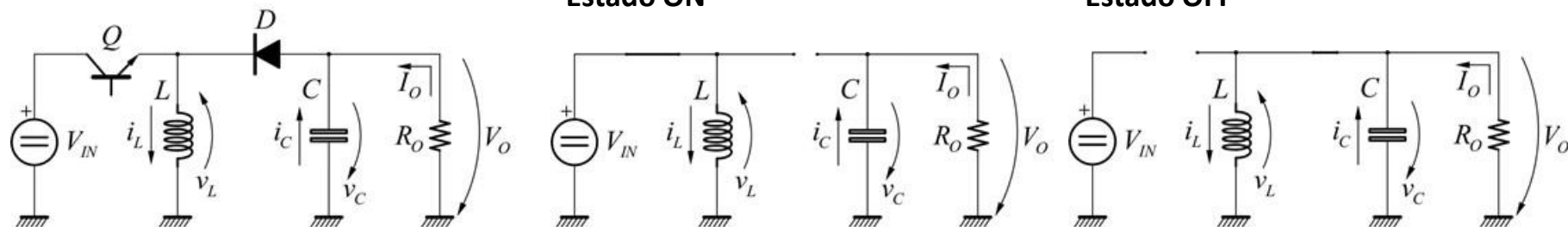
$$\frac{V_O}{(1-D) \cdot R_O} = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_S}{2 \cdot L_C}$$

$$L_C = \frac{R_O (1-D)^2 \cdot T_S}{2}$$

# Convertidor Flyback

Estado ON

Estado OFF



## Ripple de tensión

Cálculo de  $\Delta v_{Opp}$ :  $\Delta V = \frac{\Delta Q}{C}$

Cálculo de  $\Delta Q$  ¿¿??

$$\Delta Q = \frac{\Delta i_L \cdot (1-D) \cdot T_s}{2} \cdot \left( \frac{i_{Dmx} - I_D}{\Delta i_L} \right)^2$$

Cálculo de  $i_{Dmx}$ :  $i_{Dmx} = i_{Lmx} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2}$

$$I_L = \frac{V_O}{(1-D) \cdot R_O} \text{ y } \Delta i_L^+ = \frac{V_O \cdot (1-D) \cdot T_s}{L}$$

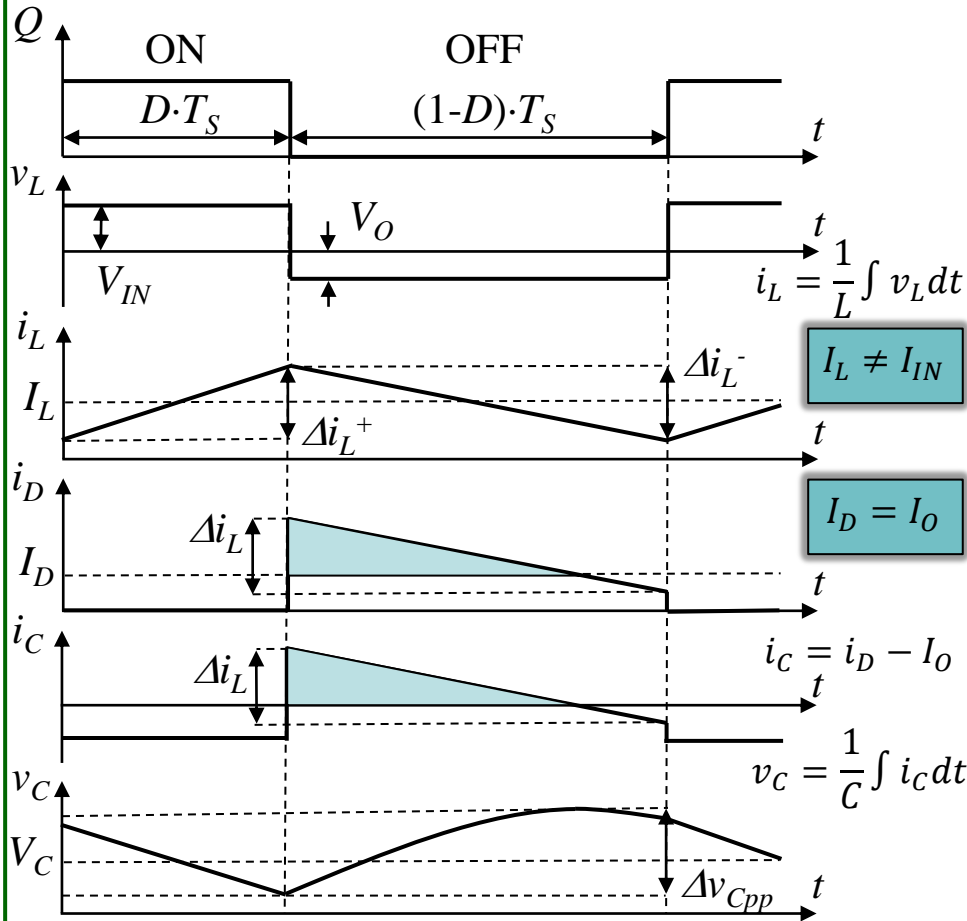
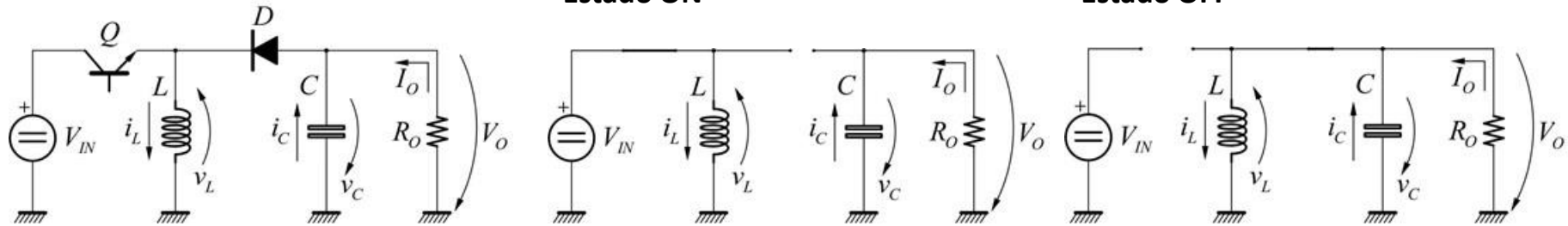
$$i_{Dmx} - I_D = \frac{D \cdot V_O}{(1-D) \cdot R_O} + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$\Delta v_{Opp} = \frac{(1-D) \cdot T_s}{2 \cdot C \cdot \Delta i_L} \cdot \left( \frac{D \cdot V_O}{(1-D) \cdot R_O} + \frac{\Delta i_L}{2} \right)^2$$

# Convertidor Flyback

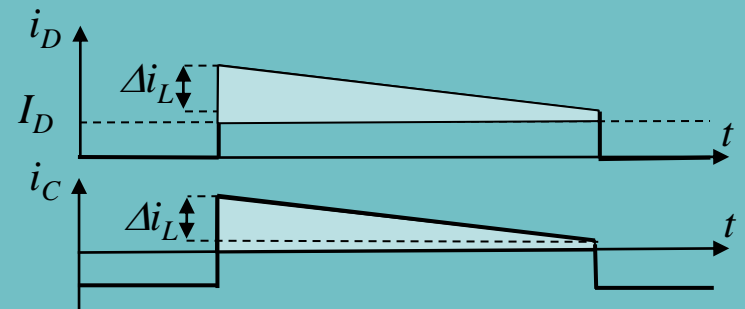
Estado ON

Estado OFF



## Ripple de tensión

¿Existe una segunda condición que modifica las cuentas!



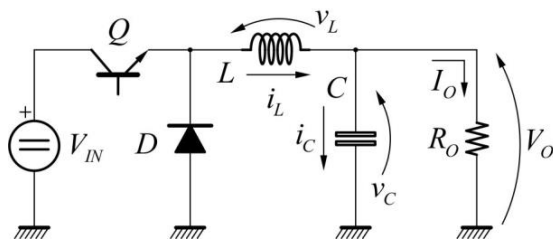
Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



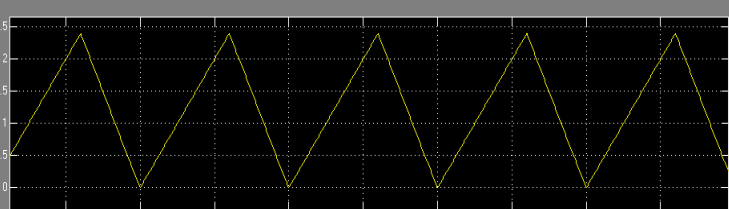
# Convertidor Buck

BCM

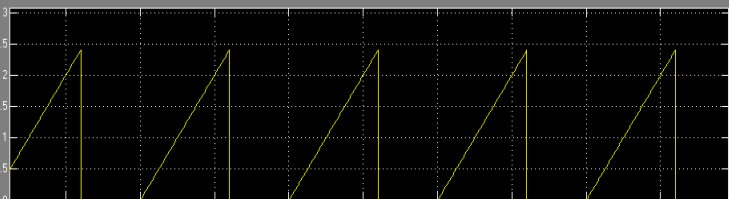


CCM

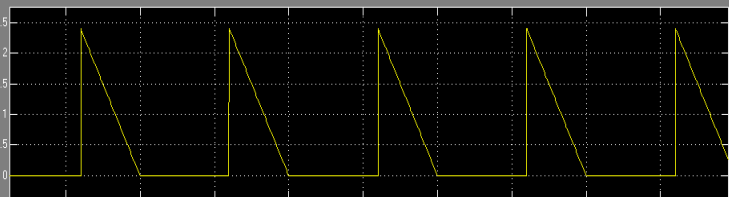
$i_L$



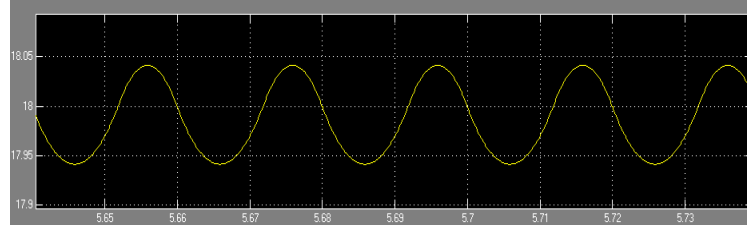
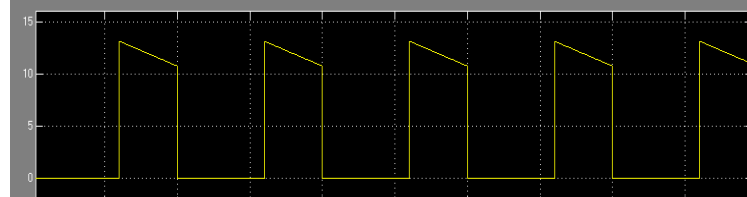
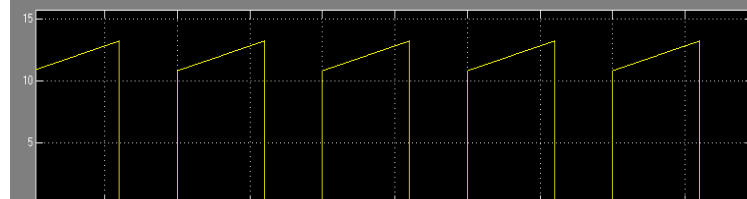
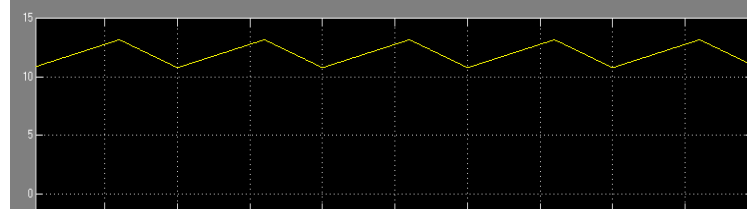
$i_Q$



$i_D$



$v_C$



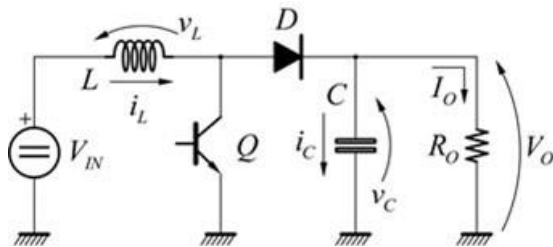
Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



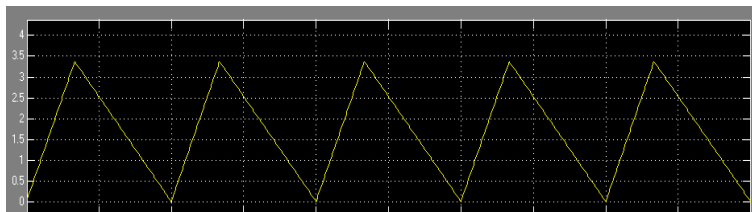
# Convertidor Boost

BCM

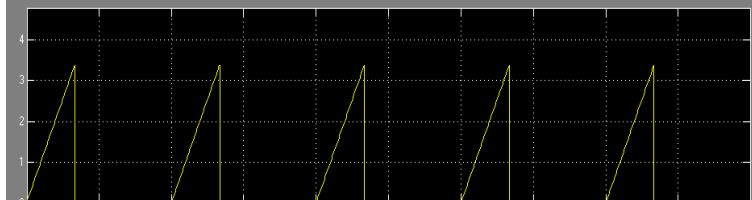


CCM

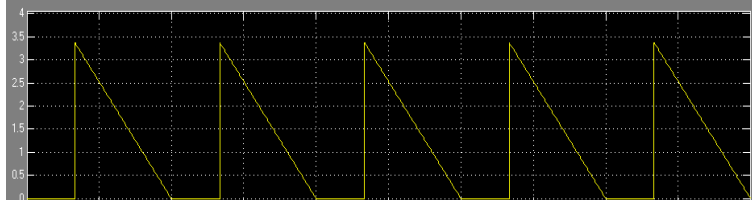
$i_L$



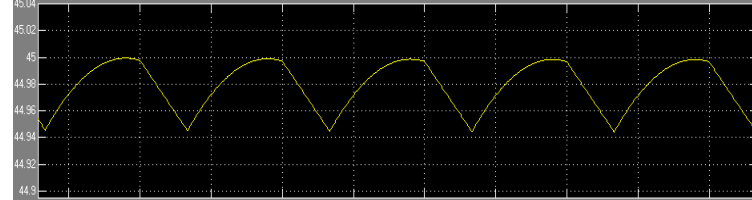
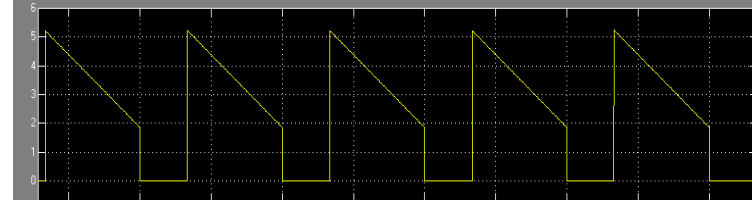
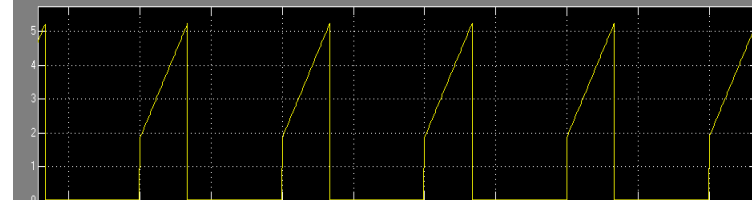
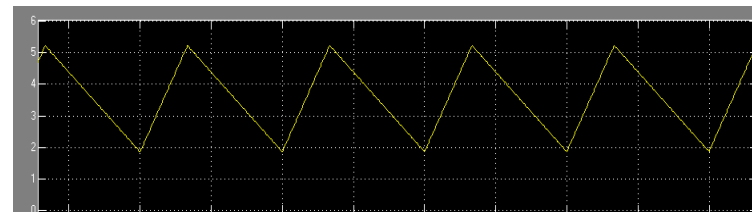
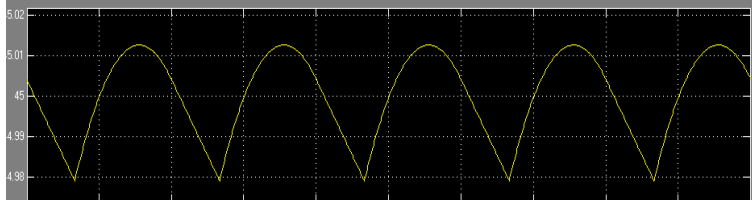
$i_Q$



$i_D$



$v_C$

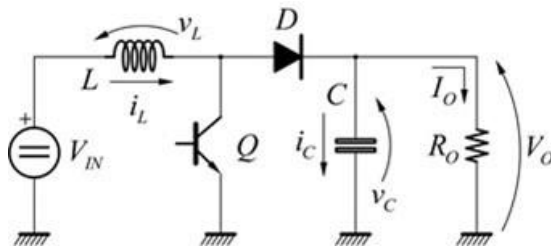


Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



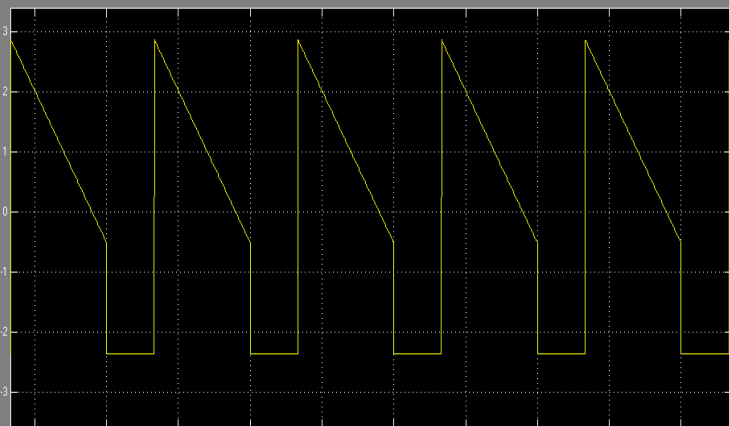
# Convertidor Boost: Casos de ripple de tensión de salida



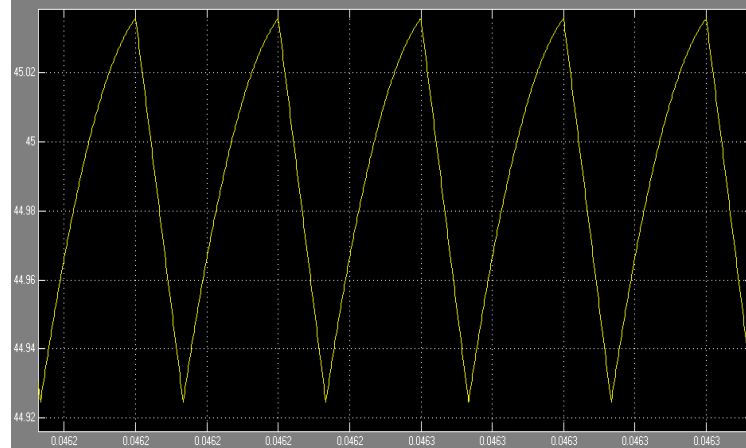
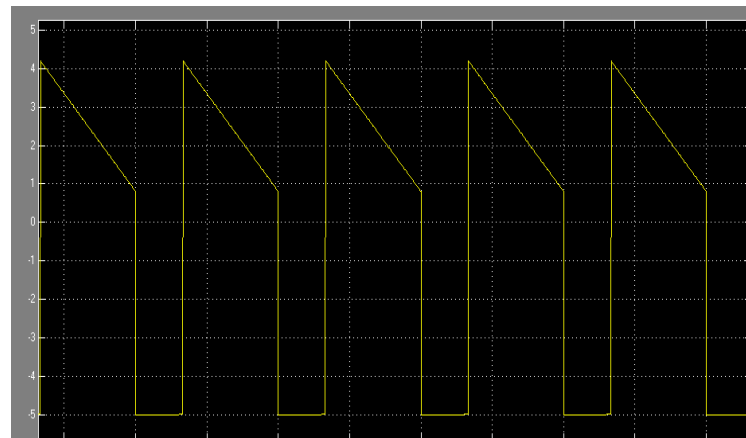
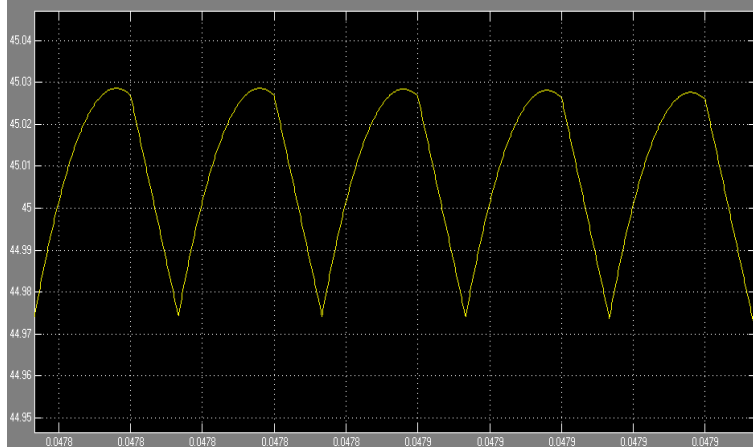
Caso 1

Caso 2

$i_C$



$v_C$



Convertidores conmutados DC/DC

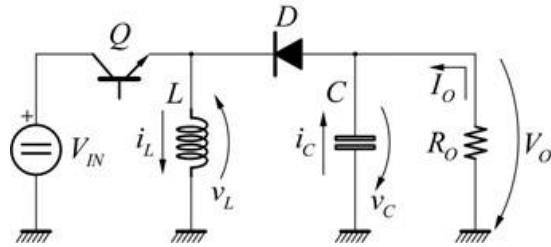
<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>





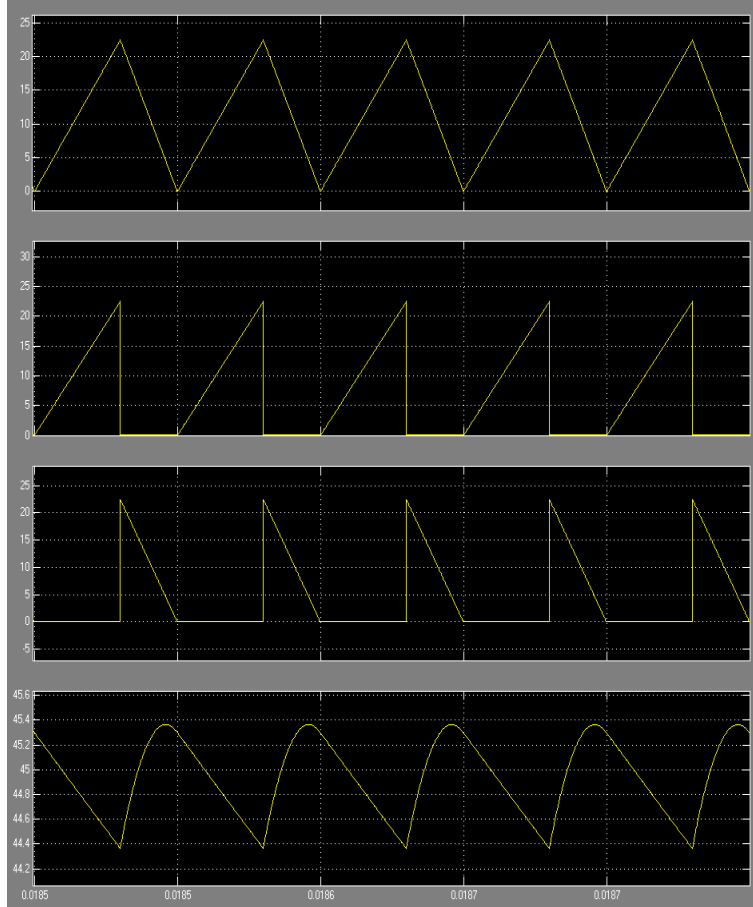
# Convertidor Flyback

BCM



CCM

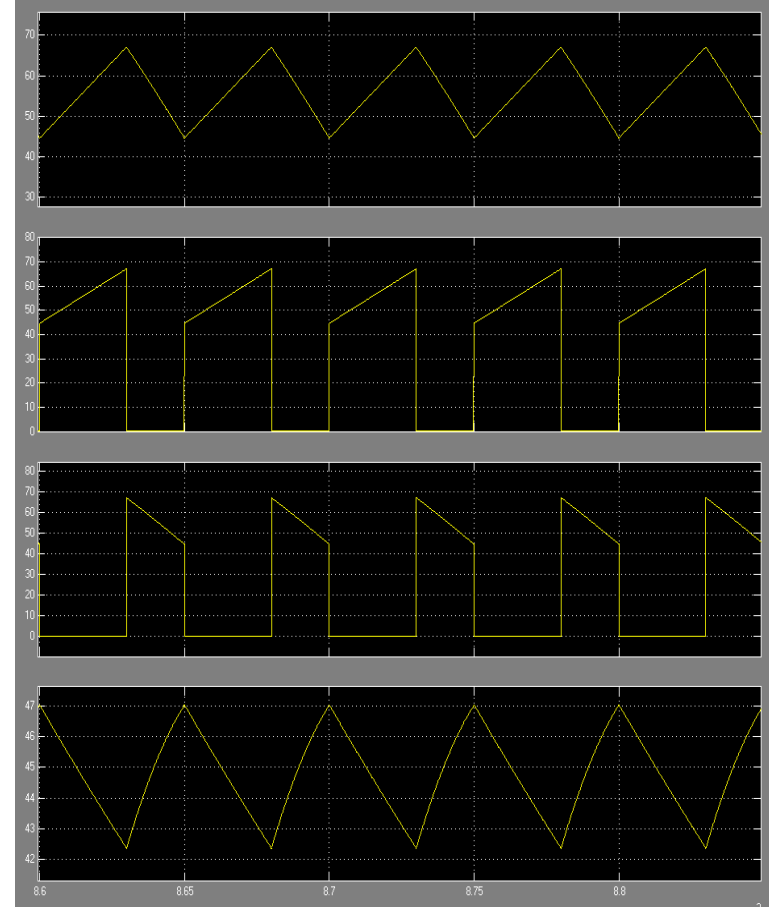
$i_L$



$i_Q$

$i_D$

$v_C$



Convertidores conmutados DC/DC

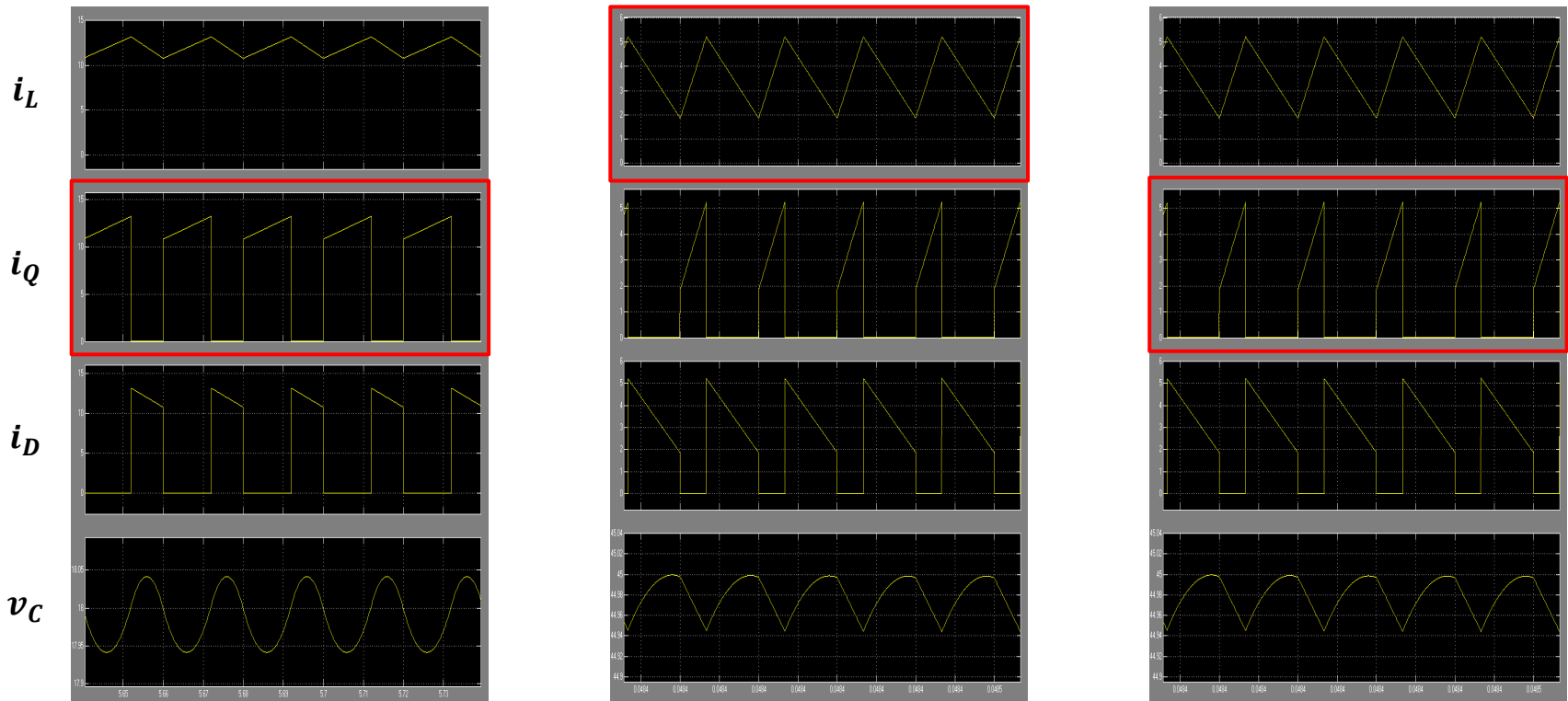
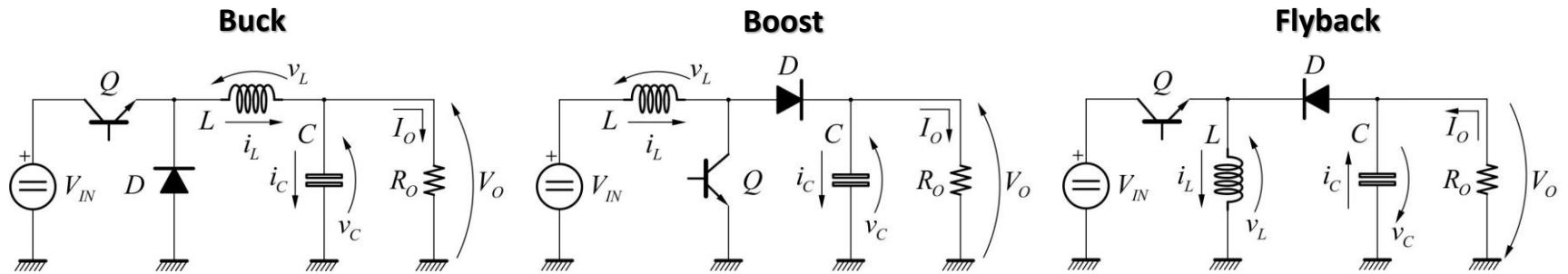
<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



SISTEMAS DE CONTROL



# Corriente de entrada



Convertidores conmutados DC/DC

<http://campus.fi.mdp.edu.ar/>



# Corriente en la entrada del filtro

