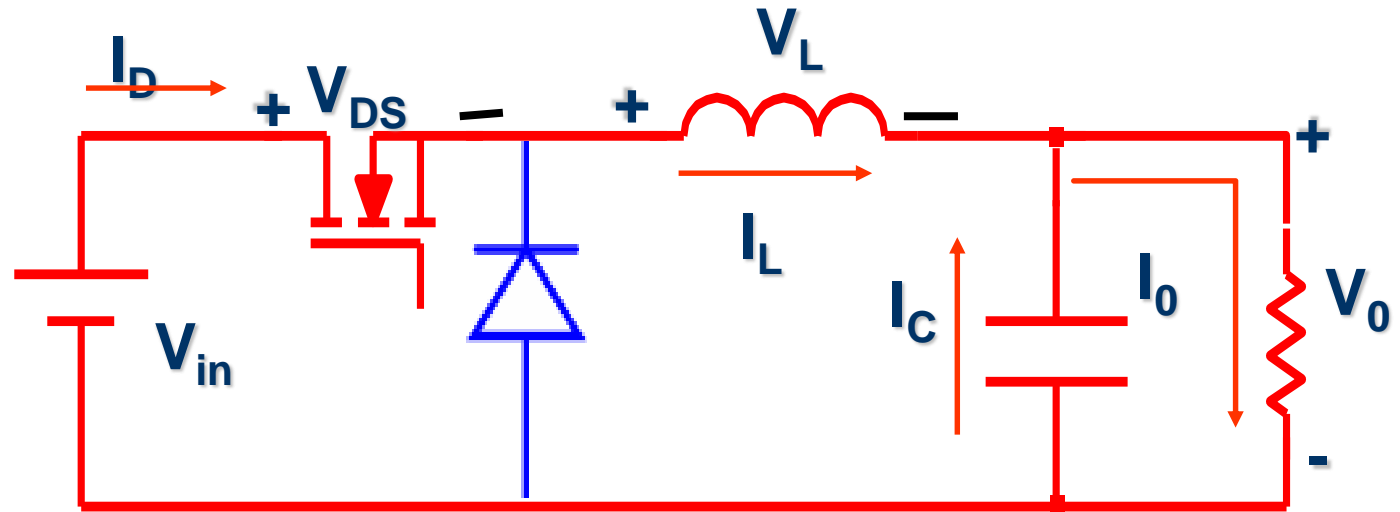


Fuente conmutada Buck (Reductor)

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

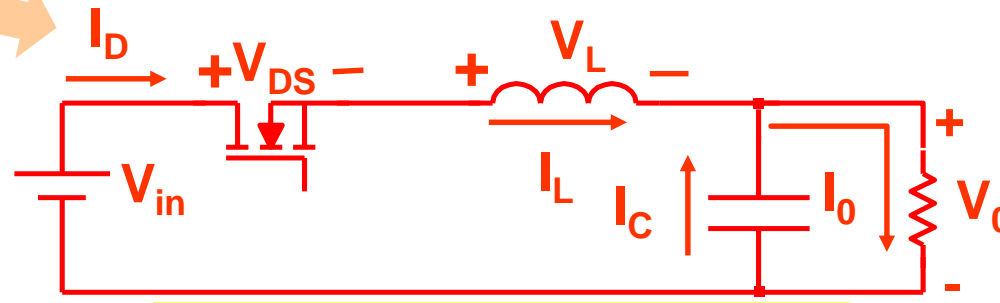


El convertidor buck, cuyo esquema está representado en la figura trabaja como convertidor reductor, presentando una tensión media de salida inferior a la tensión aplicada a la entrada.

Convertidor BUCK

MOSFET (ON)
Circuito equivalente

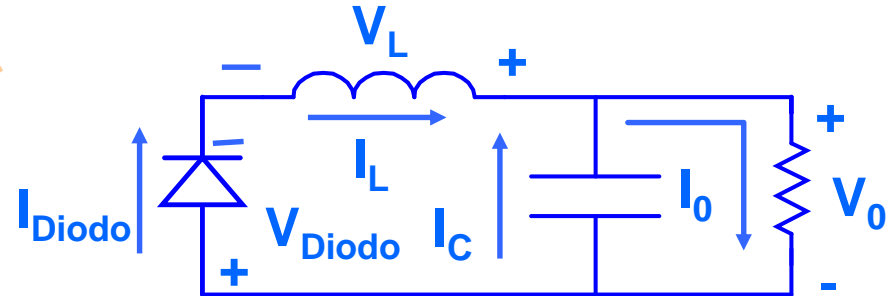
$$V_L = V_{in} - (V_{DS} + V_0)$$



Transferencia directa de energía

MOSFET (OFF)
Circuito equivalente

$$V_L = -(V_F + V_0)$$

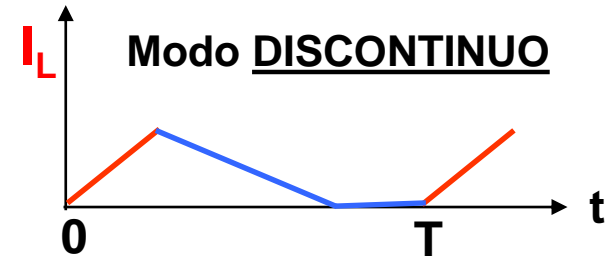


Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

◆ Se pueden tener dos modos de operación en el inductor:



Función de Transferencia (I)

En circuitos que estén en régimen estacionario:


- La tensión media en un inductor es nula.
- La corriente media en un condensador es nula.

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

CIRCUITO EN
RÉGIMEN
ESTACIONARIO



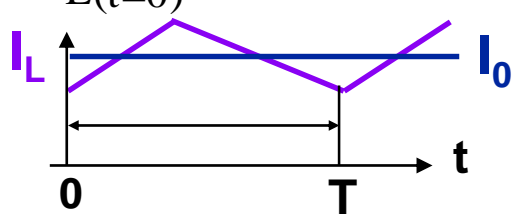
$\langle V_L \rangle = 0 \Rightarrow \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt = 0$

$\langle I_C \rangle = 0 \Rightarrow \frac{1}{T} \int_0^T i_C(t) dt = 0$

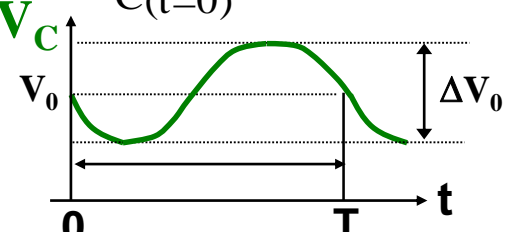
$i_{L(t=T)} = i_{L(t=0)}$

$V_{C(t=T)} = V_{C(t=0)}$

$$i_{L(t=T)} = i_{L(t=0)} + \int_0^T \frac{V_L(t)}{L} dt \Rightarrow 0$$



$$V_{C(t=T)} = V_{C(t=0)} + \int_0^T \frac{i_C(t)}{C} dt \Rightarrow 0$$



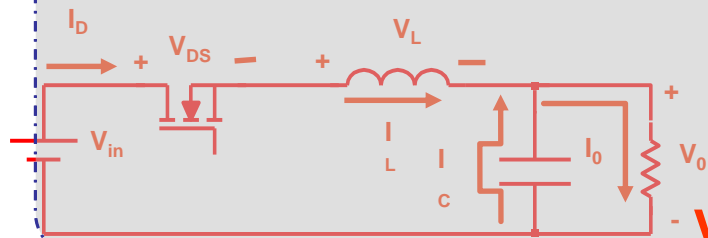
Formas de onda en modo continuo

Fuentes
Conmutadas

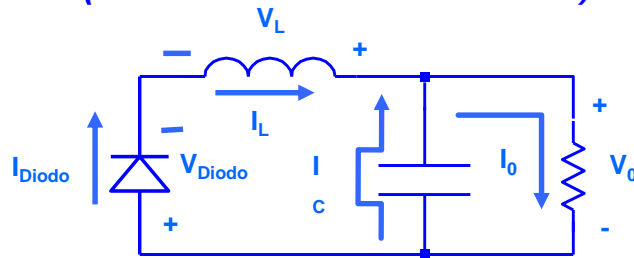
Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

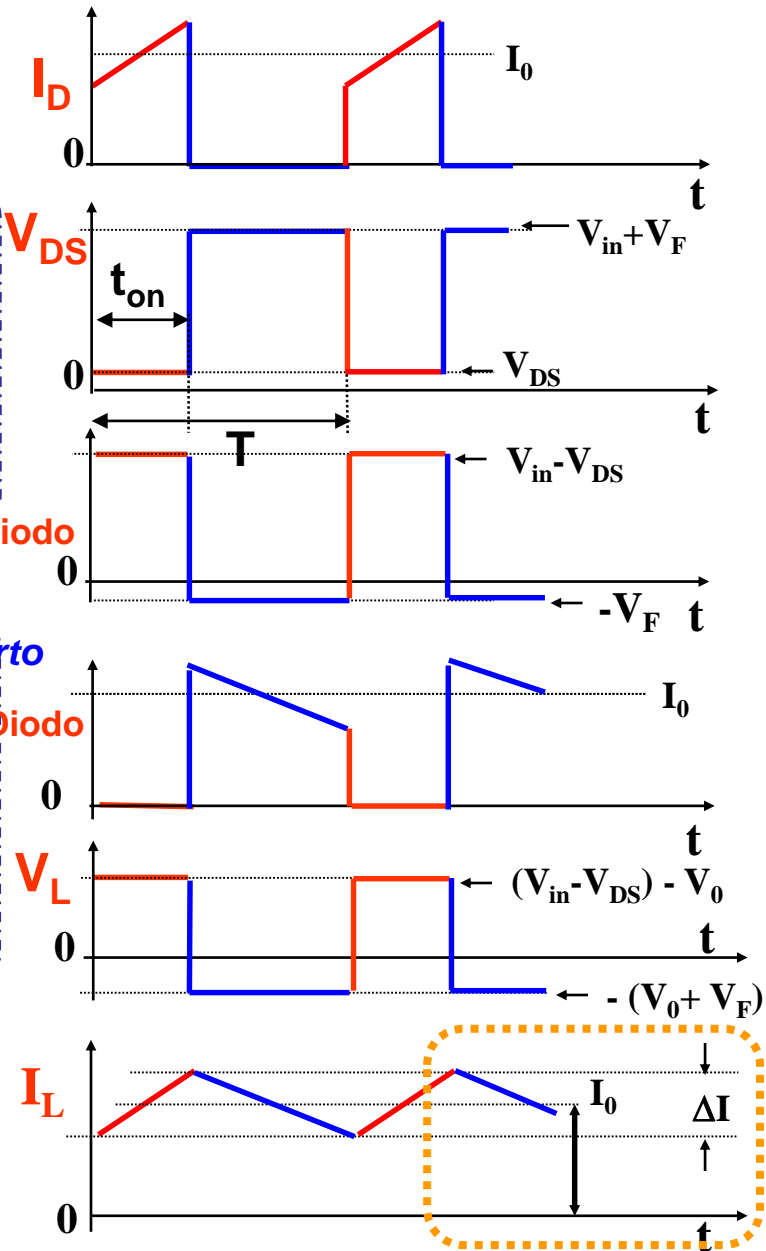
Circuito equivalente con el interruptor cerrado
(intervalo de conducción)



Circuito equivalente con el interruptor abierto
(intervalo de no conducción)



Si $\Delta I/2 \leq I_o \implies$ Modo
continuo

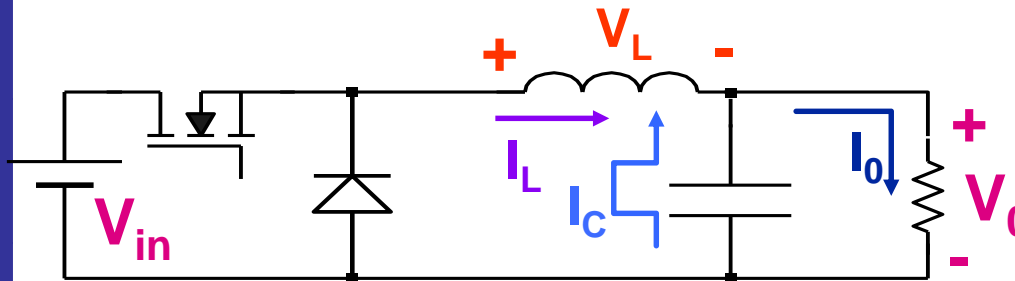


Función de Transferencia. Caso ideal (I):

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

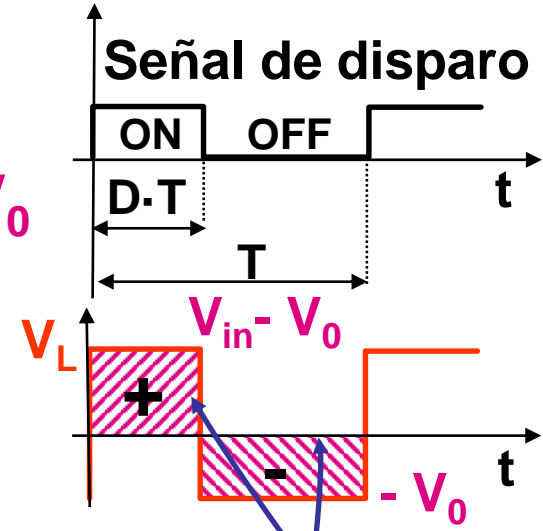
Boost
(Elevador)



El estado estacionario hace que $\langle V_L \rangle = 0$ y las dos áreas son iguales

Aplicación del balance “suma de productos voltios-segundos = 0”

$$(V_{in} - V_0) D T - V_0 (1 - D) T = 0$$



Áreas iguales

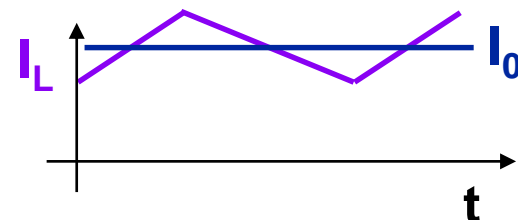
No depende
de la carga

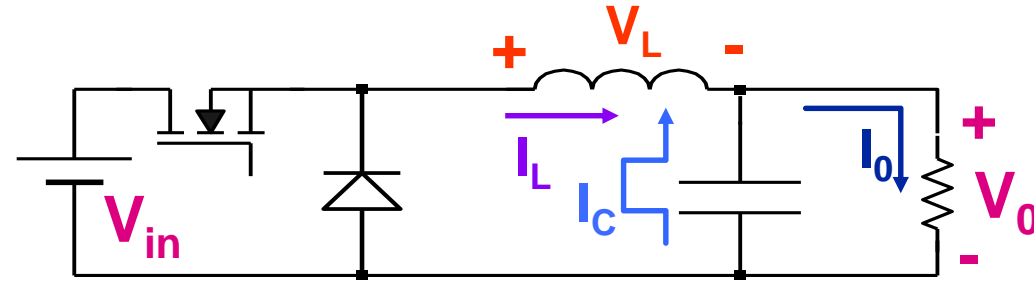
$$V_0 = D V_{in}$$

FUNCIÓN DE
TRANSFERENCIA EN
TENSIÓN

Como la corriente promedio por el condensador es nula en estado estacionario \Rightarrow El valor medio de la corriente por el inductor es la corriente que circula por la carga:

$$\langle I_L \rangle = I_0 = V_0 / R$$





Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

T_{ON}

$$V_{in} = V_L + V_o$$

$$V_{in} = L \frac{di}{dt} + V_o$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_{in} - V_o}{L}$$

T_{Off}

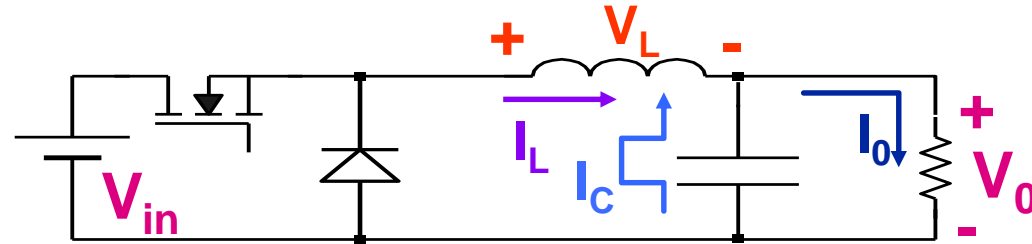
$$0 = V_L + V_o$$

$$V_L = -V_o$$

$$L \frac{di}{dt} = -V_o$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

ANÁLISIS CIRCUITAL



T_{ON}

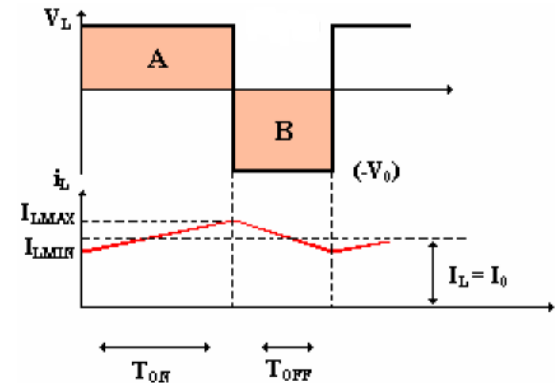
T_{Off}

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_{in} - V_o}{L}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

$$\frac{I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)}}{DT} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right)$$

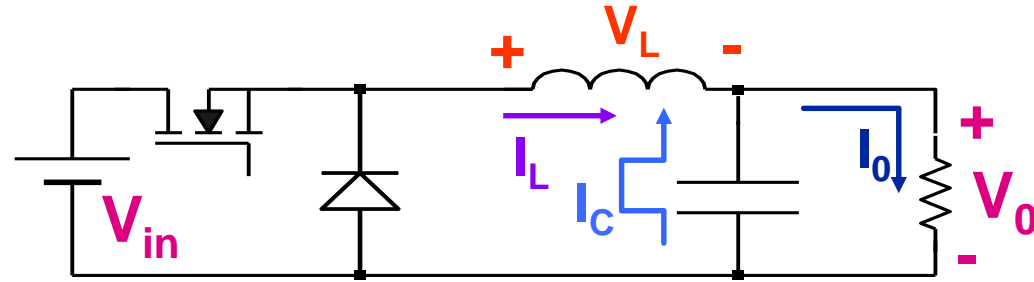
$$\frac{I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)}}{(1-D)T} = \left(\frac{-V_o}{L} \right)$$



Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

$$\frac{I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)}}{DT} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right)$$

$$\frac{I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)}}{(1-D)T} = \left(\frac{-V_o}{L} \right)$$

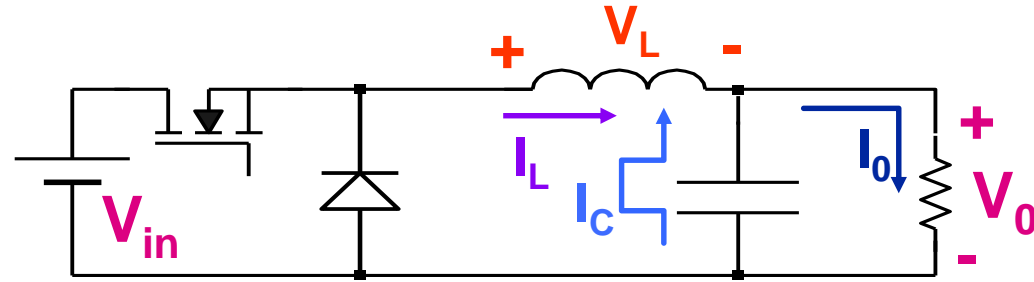
$$I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) DT$$

$$I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)} = \left(\frac{-V_o}{L} \right) (1-D)T$$

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

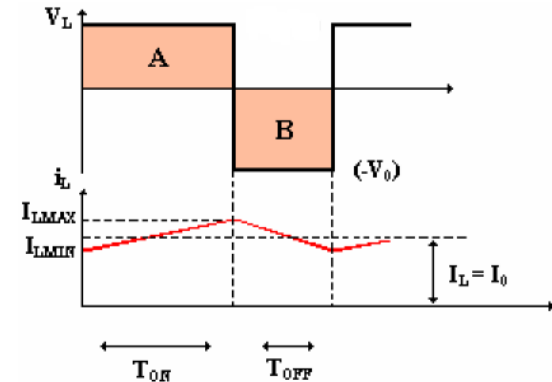
Boost
(Elevador)

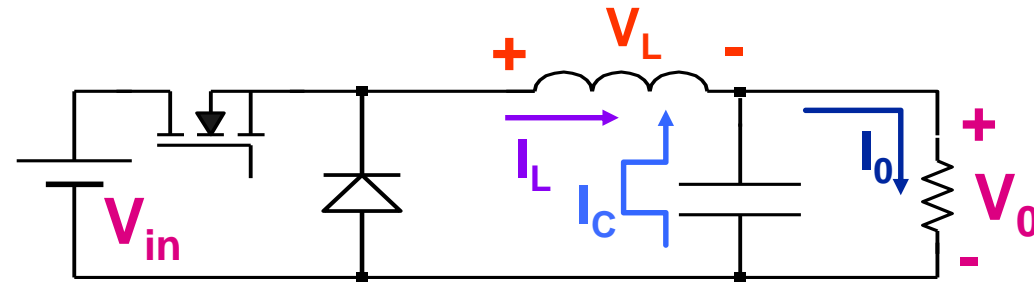


$$I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) DT$$

$$I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)} = \left(\frac{-V_o}{L} \right) (1 - D)T$$

$$I_L = \frac{I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)}}{2}$$





$$i_L = i_C + i_o \quad I_L = I_o$$

$$I_L = \frac{I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)}}{2} = I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)} = 2 \frac{V_o}{R}$$

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

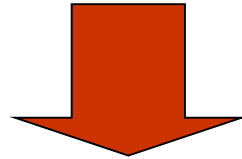
Boost
(Elevador)

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

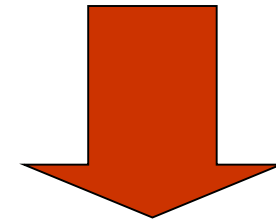
Boost
(Elevador)

$$I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)} = \left(\frac{V_{in} - V_o}{L} \right) DT$$
$$I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)} = \left(\frac{-V_o}{L} \right) (1-D)T$$



$$I_{MAX} = DV_{in} \left[\frac{1}{R} + \frac{T}{2L} (1-D) \right]$$

$$I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)} = 2 \frac{V_o}{R}$$



$$I_{MIN} = DV_{in} \left[\frac{1}{R} - \frac{T}{2L} (1-D) \right]$$

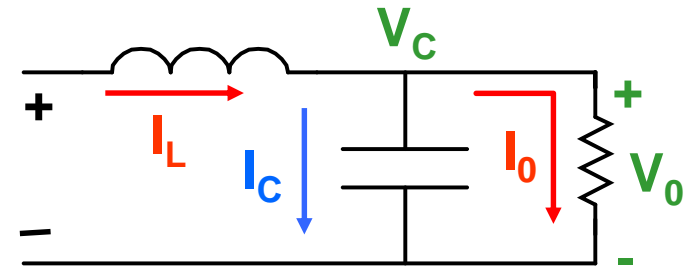
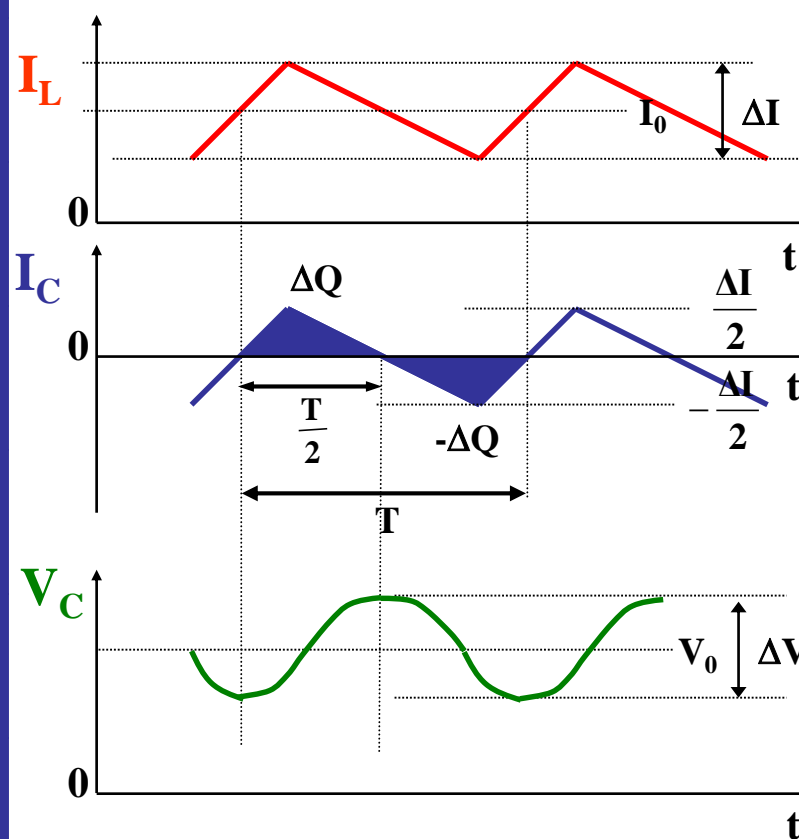
$$I_{MIN} = 0 \quad L = L_{MIN} \Rightarrow L = \left(\frac{TR}{2} \right) (1-D)$$

Cálculo de la capacidad de salida (Modo continuo):

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



$$\Delta I = \frac{V_0}{L} (1-D)T$$

Área del triángulo
sombreada

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{1}{C} \left(\frac{\left(\frac{\Delta I}{2} \right) \left(\frac{T}{2} \right)}{2} \right)$$

$$\Delta V_0 = \frac{V_0 (1-D) T^2}{8LC}$$

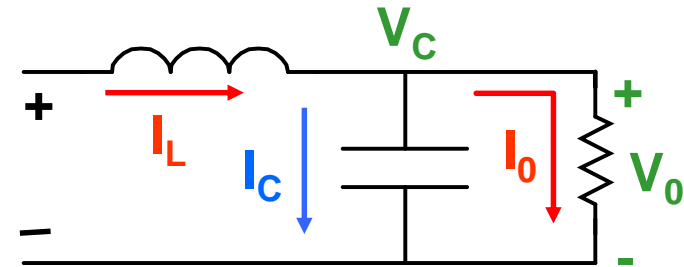
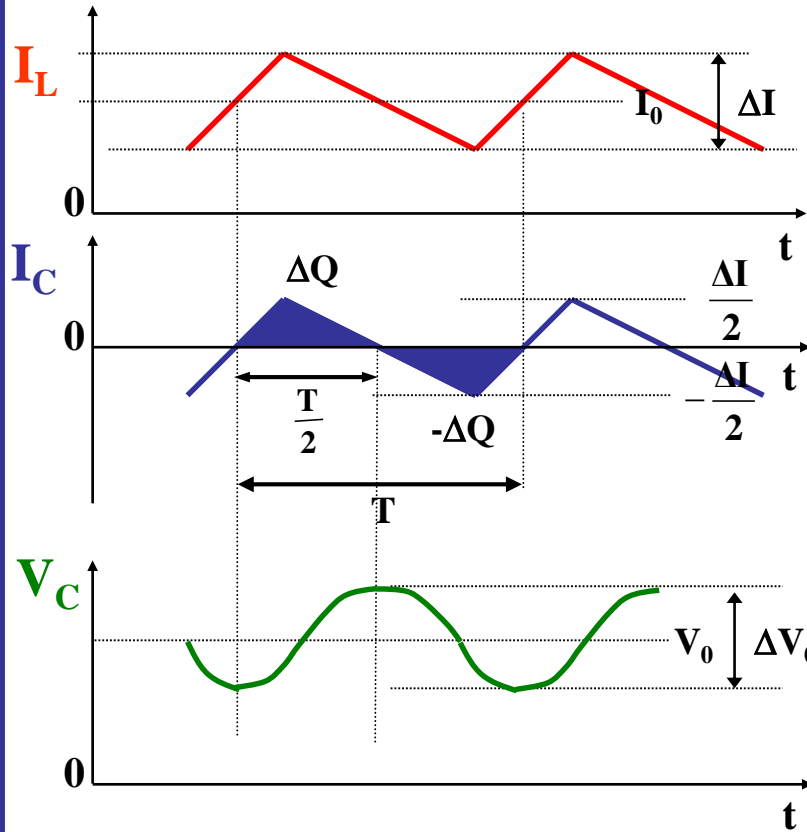
Cálculo de la capacidad de salida (Modo continuo):

Universidad del Valle

Fuentes Conmutadas

Buck (Reductor)

Boost (Elevador)



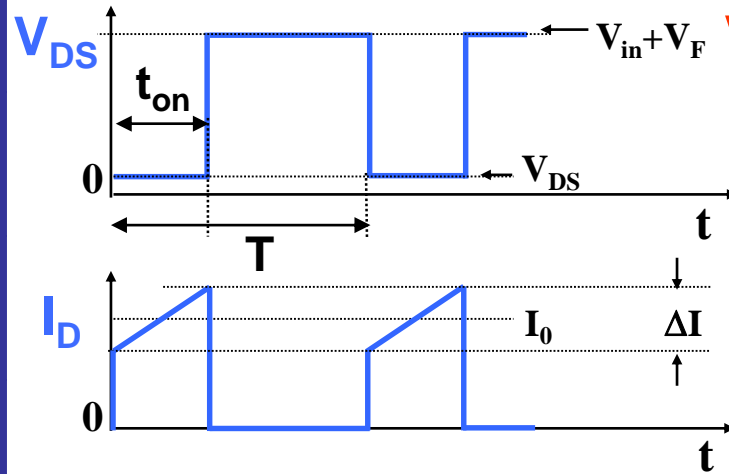
El rizado de la tensión de salida es independiente de la carga. Cuanto mayores sean f_s y D menor será el rizado.

Para acotar el rizado a la salida se elige C tal que:

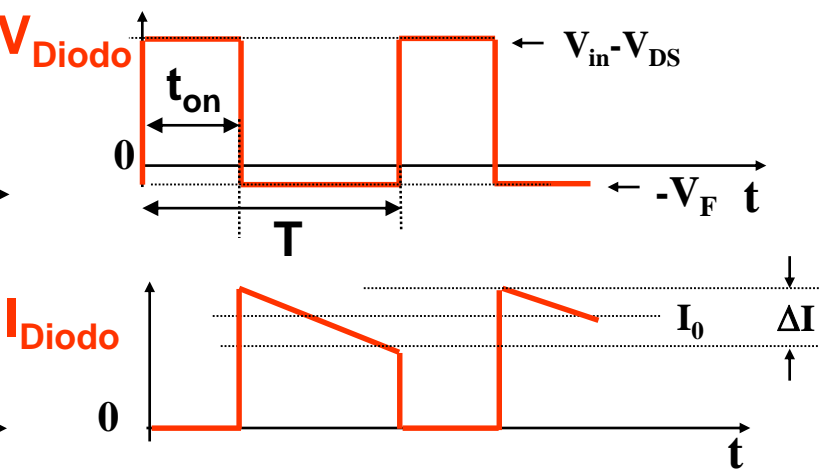
$$C \geq \frac{(1-D)}{8 \left(\frac{\Delta V_o}{V_o} \right) L f^2}$$

Dimensionado de los semiconductores

Fuentes
Conmutadas
Buck
(Reductor)
Boost
(Elevador)



TRANSISTOR



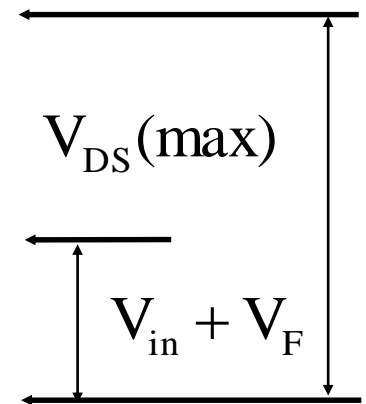
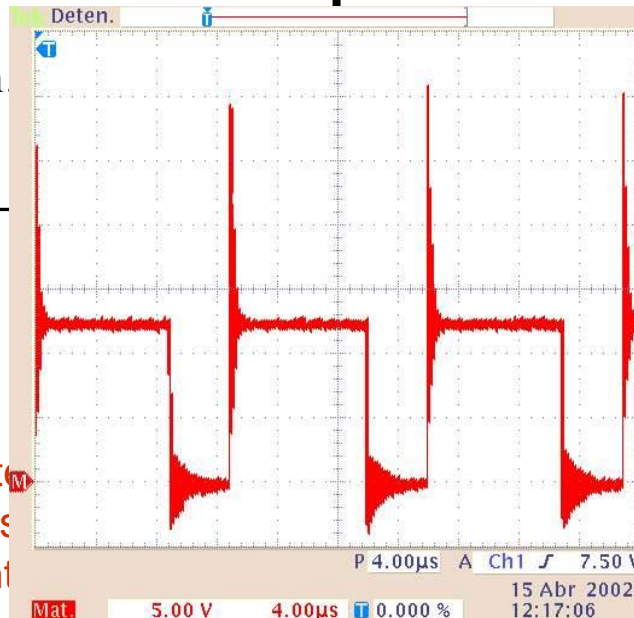
DIODO DE RUEDA LIBRE

$$V_{DS(max)} > V_{in}$$

$$I_D \geq I_{0,max} + \Delta I$$

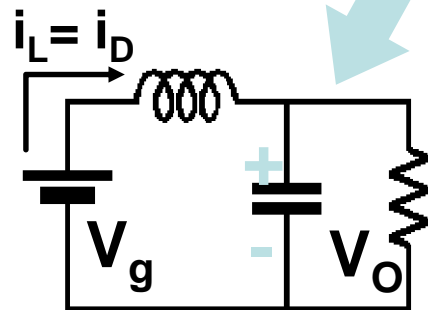
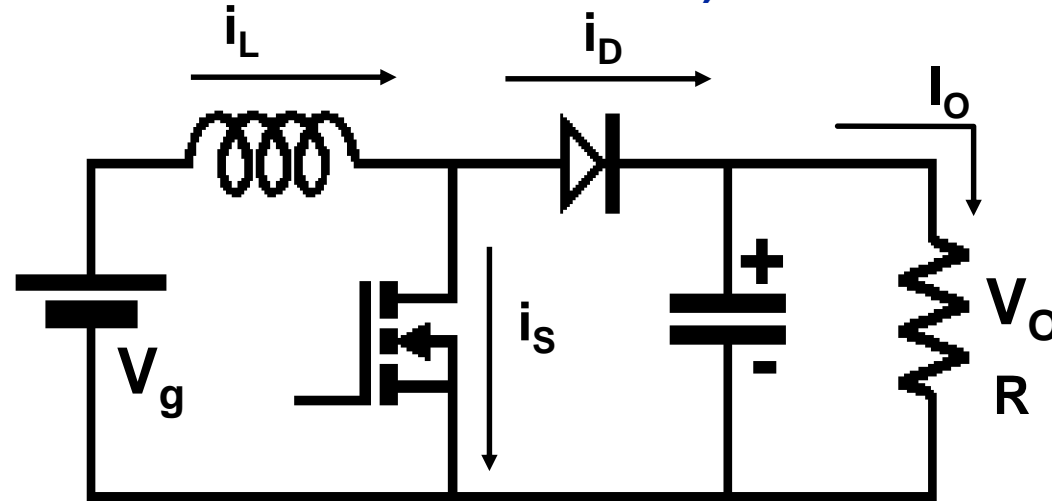


Los valores de t_{on} y t_{off} de los componentes se determinan fundamentalmente...

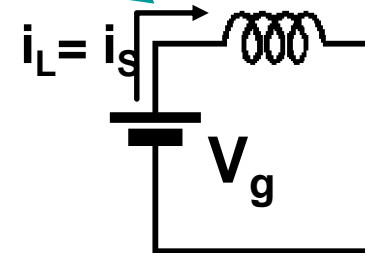


Análisis del conv. elevador (Boost)

(En modo continuo de conducción)



TOFF:
Durante $(1-d) \cdot T$



TON
Durante $d \cdot T$

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

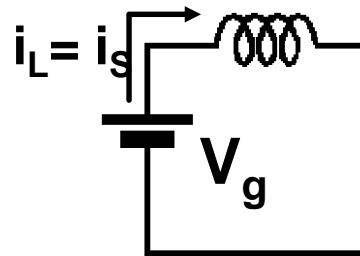
Análisis del conv. elevador (*Boost*)

(En modo continuo de conducción)

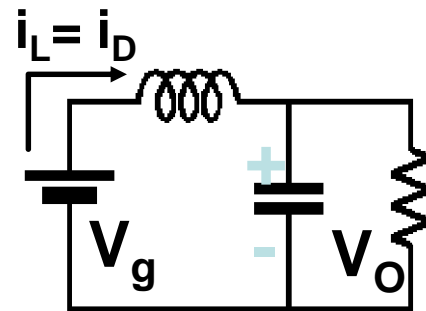
Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

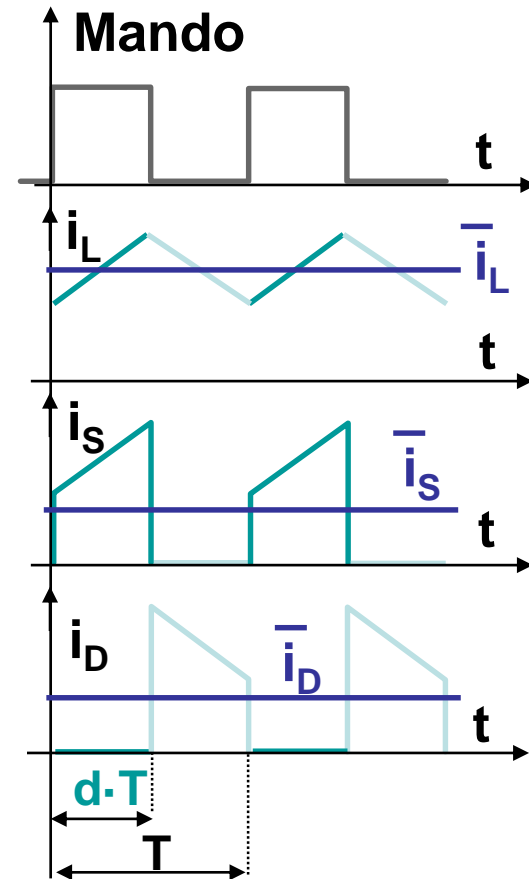
Boost
(Elevador)



Durante $d \cdot T$

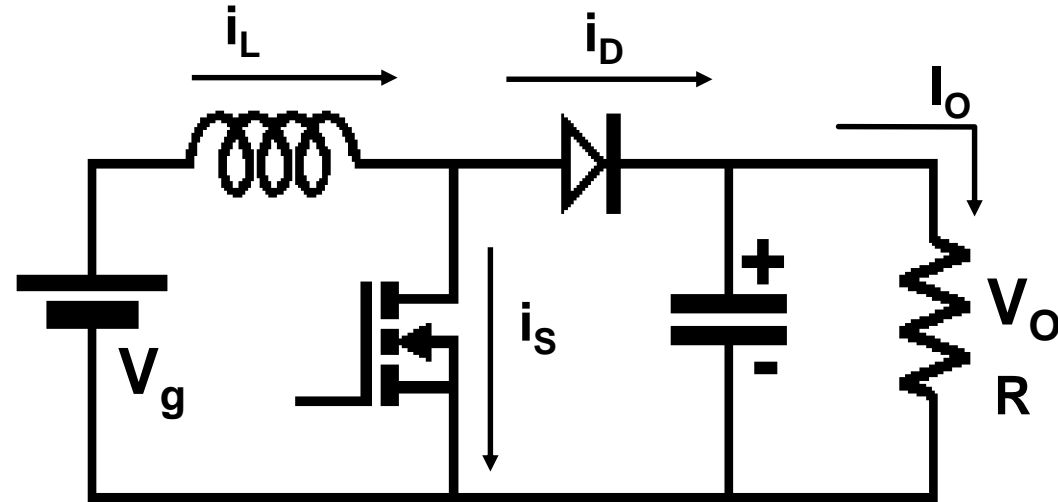


Durante $(1-d) \cdot T$



Análisis del conv. elevador (Boost)

(En modo continuo de conducción)



- Balance voltios-segundos

$$V_g \cdot d \cdot T + (V_g - V_O) \cdot (1-d) \cdot T = 0$$

$$\rightarrow V_O = V_g / (1-d)$$

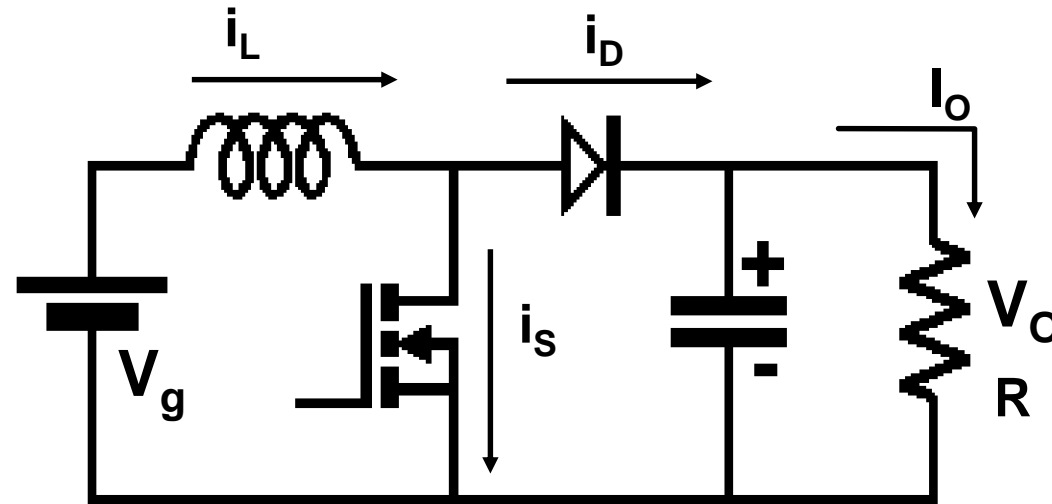
Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

Análisis del conv. elevador (Boost)

(En modo continuo de conducción)



• Balance de potencias

$$\bar{i}_L = I_o \cdot V_o / V_g \rightarrow \bar{i}_S = \bar{i}_L \cdot d$$

$$\rightarrow \bar{i}_D = \bar{i}_L \cdot (1-d)$$

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

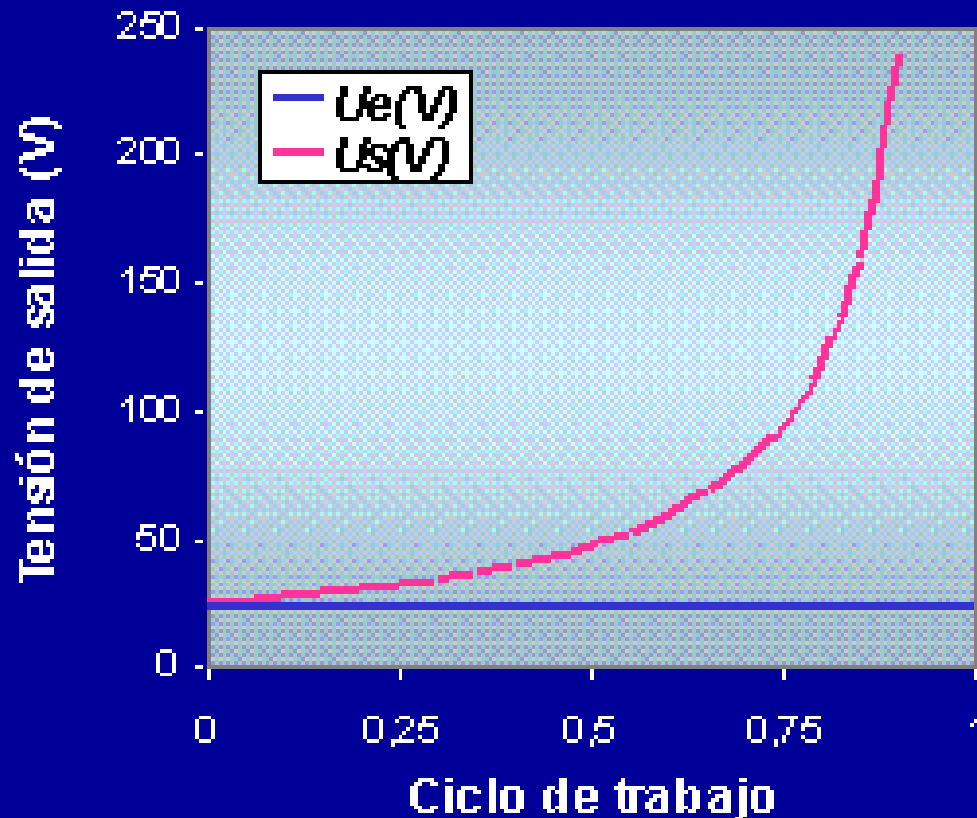
Análisis del conv. elevador (Boost)

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)

Tensión de salida en función del ciclo de trabajo para un convertidor CC/CC elevador con una tensión de entrada de 24 V

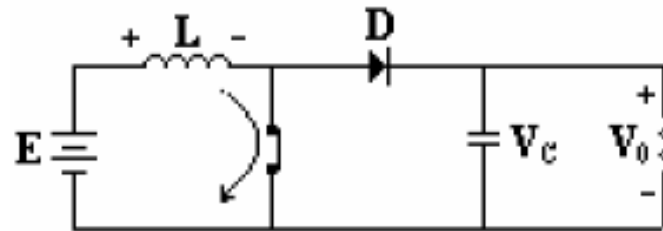


Análisis del conv. elevador (Boost)

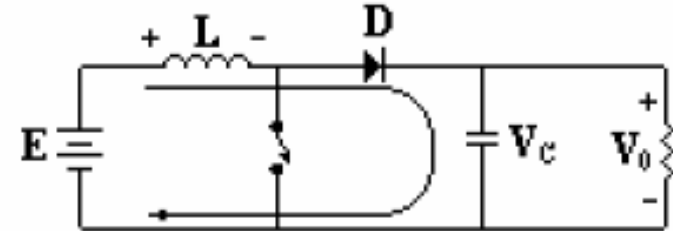
Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



(a) $0 < t < T_{ON}$



(b) $T_{ON} < t < T$

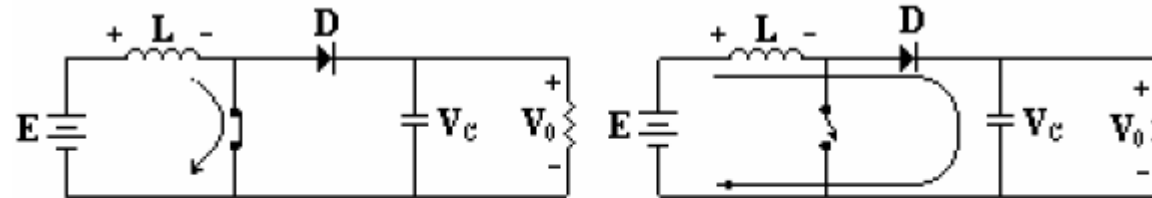
Durante T_{ON} :

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{E}{L}$$

Durante T_{OFF} :

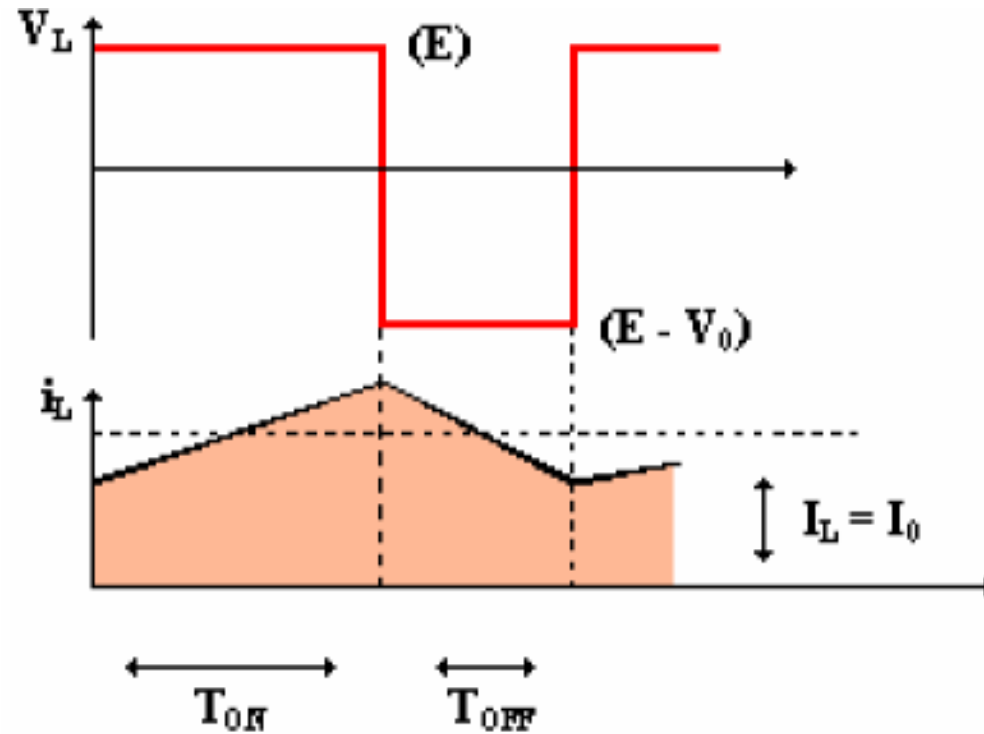
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{E - V_o}{L}$$

Análisis del conv. elevador (*Boost*)



(a) $0 < t < T_{ON}$

(b) $T_{ON} < t < T$



Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

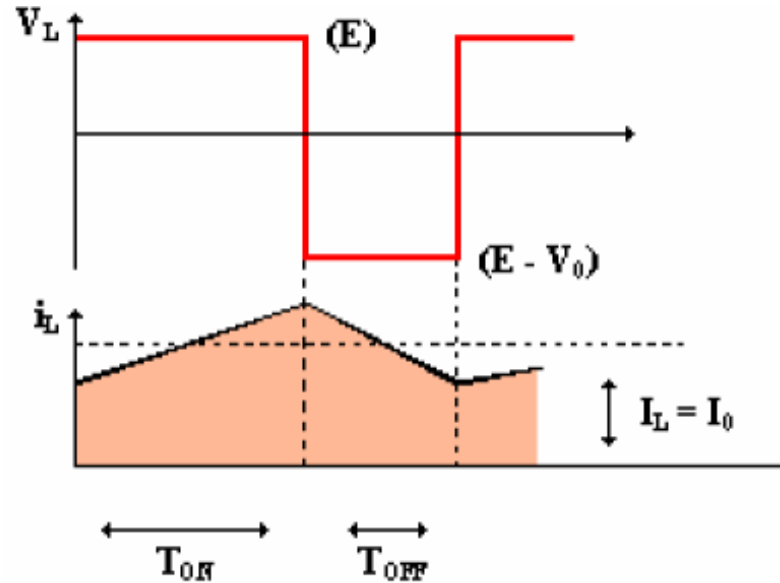
Boost
(Elevador)

Análisis del conv. elevador (Boost)

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



$$I_{L(MAX)} - I_{L(MIN)} = \left(\frac{E}{L} \right) \delta T$$

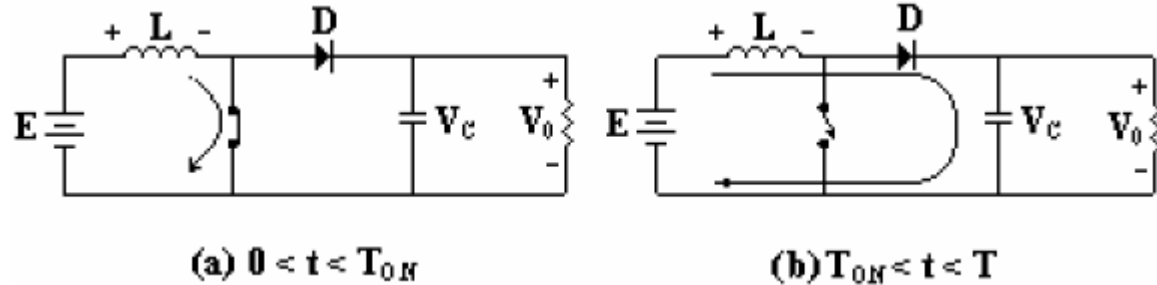
$$I_{L(MIN)} - I_{L(MAX)} = \left(\frac{E - V_o}{L} \right) (1 - \delta) T$$

Análisis del conv. elevador (*Boost*)

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



$$E I_E = V_O I_O$$

$$\frac{V_O}{E} = \frac{1}{1 - \delta}$$

$$\frac{I_O}{I_E} = (1 - \delta)$$

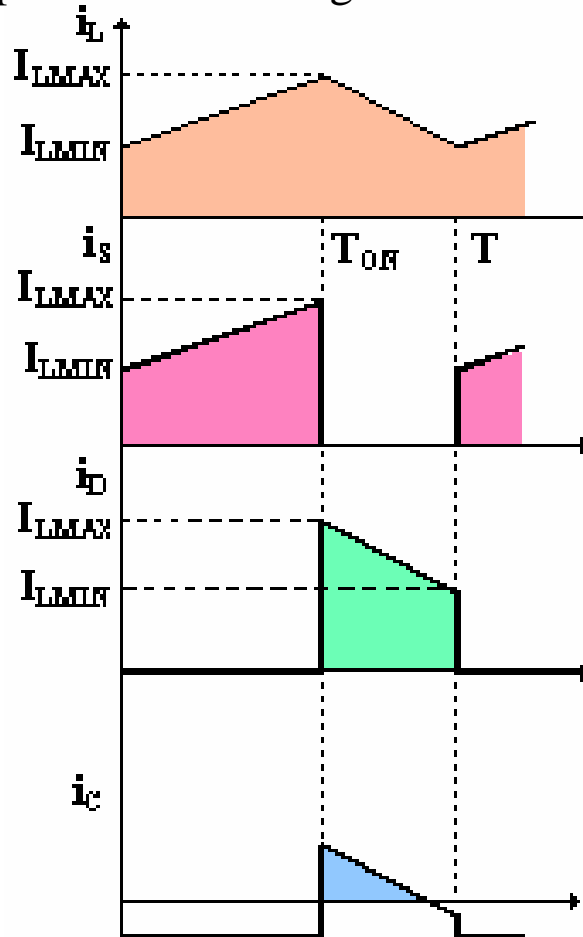
Análisis del conv. elevador (Boost)

las corrientes que circulan por cada uno de los dispositivos a lo largo de un ciclo del convertidor. Sería interesante determinar el valor de $I_{L(MAX)}$ e $I_{L(MIN)}$, para que así queden definidas el resto de intensidades. Para ello partiremos de la igualdad entre la potencia de entrada y la de salida:

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



$$P_E = 0.5(I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)})E$$

$$P_O = \frac{V_o^2}{R}$$

$$I_{L(MAX)} + I_{L(MIN)} = \frac{2E}{R(1-\delta)^2}$$

$$I_L = \frac{E}{R(1-\delta)^2}$$

$$I_{L(MIN)} = \frac{E}{R(1-\delta)^2} - \frac{E}{2L}\delta T = I_L - \frac{\Delta I_L}{2}$$

$$I_{L(MAX)} = \frac{E}{R(1-\delta)^2} + \frac{E}{2L}\delta T = I_L + \frac{\Delta I_L}{2}$$

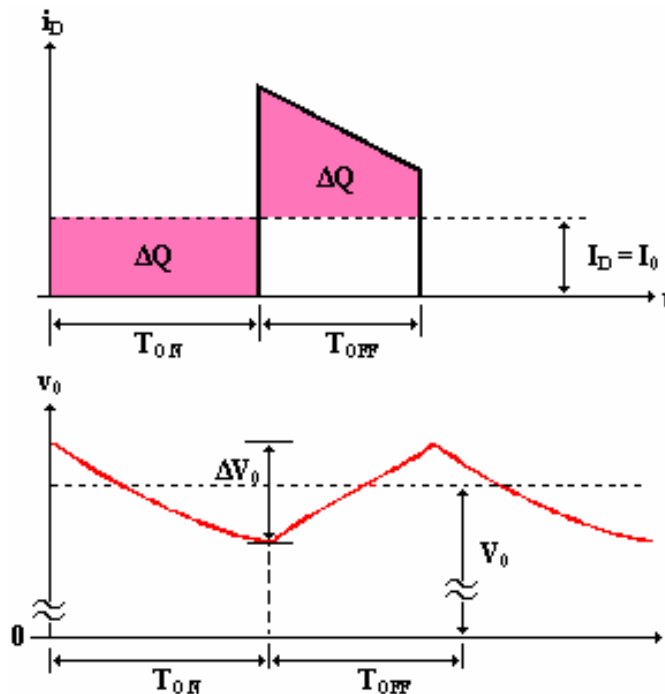
Análisis del conv. elevador (Boost)

Como ya se ha dicho el convertidor opera al límite del modo C.C. si la intensidad en la bobina se anula cuando el ciclo del convertidor pone a su fin.

Fuentes
Conmutadas

Buck
(Reductor)

Boost
(Elevador)



$$\Delta V_o = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{I_o \delta T}{C}$$

$$\Delta V_o = \frac{V_o \delta T}{R C} \Rightarrow \frac{\Delta V_o}{V_o} = \delta \frac{T}{\tau}$$