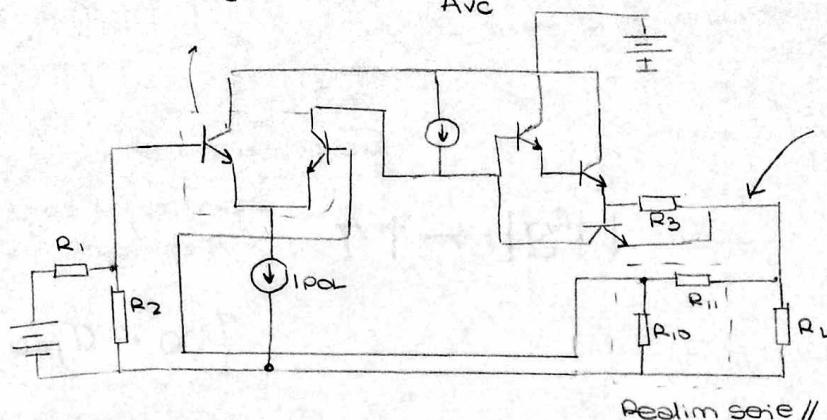


# FUENTES DE ALIMENTACIÓN

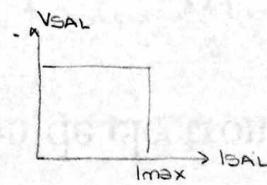
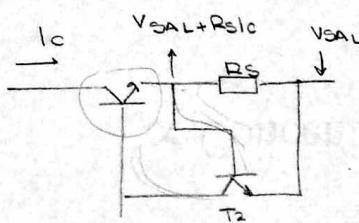
Regulador serie diferencial } REGULADOR LINEAL → Eficiencia:  $\eta = \frac{V_S}{V_E}$

$$\text{Mejorar el RRMIC} = \frac{A_{vd}}{A_{vc}}$$



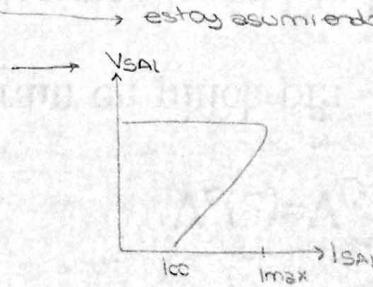
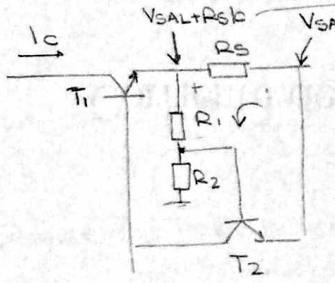
Realizar serie //

## CIRCUITO LIMITADOR DE CORRIENTE



$$I_{MAX} = \frac{V_{BE}}{R_S}$$

## LIMITADOR DE CORRIENTE POR FOLDBACK



Resolución

Recorriendo la malla:

- ① Si desprecio I\_B2, tengo una caída de tensión sobre R1:

$$V_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot (V_{SAL} + I_c R_S)$$

$$\Rightarrow V_{BE} - I_c R_S + \frac{R_1}{R_1 + R_2} (V_{SAL} + I_c R_S) = 0 \rightarrow V_{BE} + V_{SAL} \frac{R_1}{R_1 + R_2} - I_c R_S + \frac{I_c R_S R_1}{R_1 + R_2} = 0$$

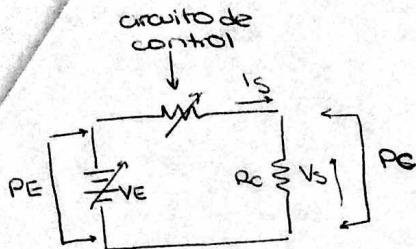
$$\Rightarrow I_c = \frac{V_{BE} (R_1 + R_2) + V_{SAL} R_1}{R_S (R_1 + R_2)}$$

→ La situación que me interesa es cuando hay un cortocircuito y la corriente aumenta mucho

$$\Rightarrow \text{Si } V_{SAL} = 0$$

$$I_{CC} = \frac{V_{BE}}{R_S} \left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right)$$

## CIA EN EL REG LINEAL



$$\eta = \frac{P_C}{P_E} = \frac{V_o \cdot I_S}{V_E \cdot I_S} = \frac{V_o}{V_E} \rightarrow \text{Puede verse que si } V_S \ll V_E \Rightarrow \eta \approx 1$$

PRO: no tiene ruido de conmutación en HF

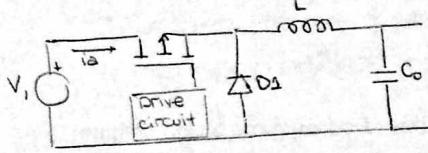
## Problemas de una fuente lineal

- Menor eficiencia
- Solo pueden hacer un "step down"

## FUENTES SWITCHING

### FORWARD-MODE converter

Buck → step down  
Non-isolated → la entrada y la salida comparten una tierra común.

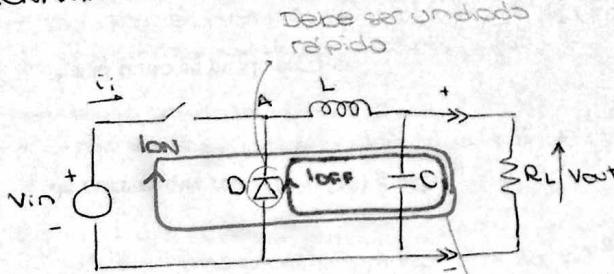


Q: Opera en conmutación, controlado por el circuito de control.

⇒ Se genera un trío de pulsos PWM que es filtrado por el filtro LC para producir una tensión continua de salida V\_o

Ventajas de usar un NMOS → Tiene menor R<sub>DS(on)</sub> ⇒ menores pérdidas por conducción  
contraria: requiere un circuito de control complejo (flotante)

### • FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO



Llave cerrada.

⇒ La tensión de entrada se conecta directamente al filtro LC (Nodo A)

Se tiene para el inductor

$$V = L \frac{di}{dt}$$

$$i_{L1} = \frac{(V_L - V_o)}{L} \cdot t + i_{L0} \quad 0 \leq t \leq t_{on}$$

### Llave abierta

(cuando la llave se abre, el inductor contiene suficiente energía almacenada como para entregarla a la carga)

→ si la llave se abre ⇒  $i_L = 0$  → el inductor trata de mantener la corriente.

como  $i_L$  bajó a 0 ⇒ se produjo un escalón negativo de corriente en A ⇒ la tensión de ese nodo va a bajar mucho, por debajo de 0V

↓ El diodo impide esto, poniéndose en directa.

La energía almacenada en el inductor fluye a la carga por medio del diodo y el inductor.

$$i_{Loff} = \frac{I_{PK}}{I_{MAX}} - \frac{V_{out}}{L} \cdot t \quad 0 \leq t \leq t_{off} \quad (2)$$

se tiene.

$$\frac{V_i - V_o}{\downarrow} \cdot t_{on} = \frac{V_o}{\downarrow} t_{off}$$

$$V_{iton} = V_o \cdot (t_{on} + t_{off})$$

$$\Rightarrow V_o = V_i \cdot \frac{\frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}}}{\text{DUTY CYCLE}}$$

De (2):

$$I_{min} = I_{max} - \frac{V_o}{L} \cdot t_{off} \rightarrow \text{De acá despejol:}$$

$$L = \frac{1}{2f} \frac{(1-D) V_s}{I_{max} - I_o} \rightarrow \frac{I_{max} + I_{min}}{2}$$

### ● Criterio de selección de componentes

C: → Se debe elegir buscando minimizar el ripple de tensión a la salida.

↳ Deben tenerse en cuenta la Resistencia e Inductancia del modelo del componente.

↳ R del modelo → la corriente de ripple que fluye por ésta, causa una disipación que debe evitarse.

↳ ELEGIR C con baja Req. (tantalio)

↳ L del modelo → ringing → ↓ L, acortar los terminales.

D → Diodo schottky → commutación rápida, baja tensión caída de tensión ondulante (se minimiza la disipación), tensión de ruptura de al menos el doble de Vin.

↳ perfiles o polvo de hierro

↳ corriente de ripple → α a la tensión aplicada y al tiempo que ésta es aplicada ↳  $\frac{1}{\alpha}$  a la inductancia.

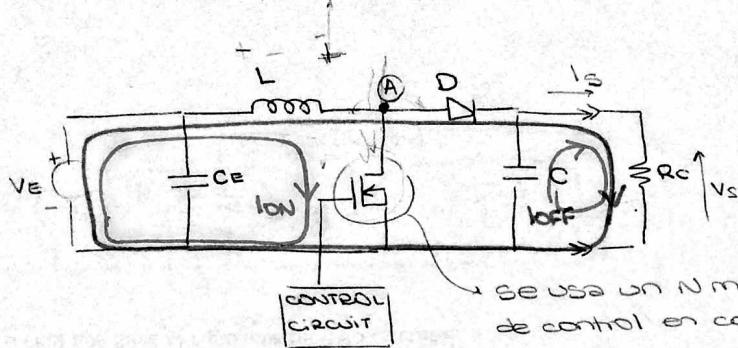
↳ Rampa de IL ↳  
1) Corriente pico → importante a tener en cuenta para no saturar al inductor.  
o dc

2) Corriente máxima → se busca disminuir las pérdidas del núcleo de operación

Q → Mosfet de canal P → su circuito de control es más sencillo.

$$P_{(\text{mosfet})} = I_o^2 \times R_{DS(on)} \times D + \frac{1}{2} V_i \cdot I_o \cdot (t_f + t_r) \times f_s + Q_G \times V_{GS} \times f_s$$

→ step-up: la tensión de salida es mayor que la de entrada.



→ se usa un N mos por su baja RDS ON y su facilidad de control en configuración boost

MODO CONTINUO → La corriente fluye continuamente en el inductor durante todo el ciclo

✓ DISCONTINO → la corriente del inductor escena para una parte del ciclo

### Q1 encendido (llave cerrada)

→ El diodo está en inversa y no conduce,  $V_L \approx V_E$  y la corriente fluye desde la fuente, atraviesa el inductor y va por Q1 a tierra.

$$\forall t, I_L = I_{\text{MIN}} + \frac{V_i}{L} \cdot t$$

→ La corriente a la carga es proporcionada por el capacitor

$$\text{con } I_{\text{MAX}} = I_{\text{MIN}} + \frac{V_i}{L} \cdot t_{\text{on}}$$

### Q1 apagado (llave abierta) → Carga.

→ Q1 presenta alta impedancia ⇒ la corriente disminuye.

⇒ L intenta mantener el flujo de corriente ⇒ la tensión en el nodo A se eleva mucho, por encima de V\_i;

⇒ el diodo se pone endirecta, conduciendo la corriente a la carga

$$I_L = I_{\text{MAX}} - \frac{V_o - V_i}{L} \cdot t$$

$$\rightarrow I_{\text{LMIN}} = I_{\text{MAX}} - \frac{V_o - V_i}{L} \cdot t_{\text{off}}$$

⇒

$$\frac{V_i}{L} \cdot t_{\text{on}} = \frac{V_o - V_i}{L} \cdot t_{\text{off}}$$

$$V_i(t_{\text{on}} + t_{\text{off}}) = V_o \cdot t_{\text{off}}$$

$$V_o = \frac{V_i}{\frac{t_{\text{off}}}{t_{\text{on}} + t_{\text{off}}}} = \frac{V_i}{(1-D)}$$

Cuando Q1 está encendido, el inductor "chupa" energía. Cuando Q1 está apagado el inductor y la fuente V\_E le entregan energía a C y a la carga.

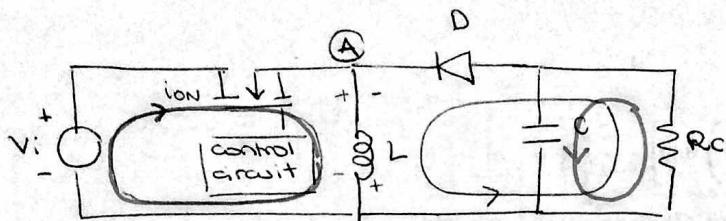
Si aumenta t<sub>off</sub> ⇒ el inductor tiene más tiempo para acumular energía ⇒ se le entrega más energía a la carga durante el tiempo en que Q1 está apagado ⇒ ↑V<sub>o</sub>

Se puede calcular, al igual que para el caso de la fuente Buck, el valor de L:

$$L = \frac{1}{2f} \cdot \frac{(1-D)(V_s - V_E)}{(I_{\text{MAX}} - I_{\text{PRON}})}$$

-BOOST INVERSORA

La salida tiene polaridad inversa a la entrada.



Q1 encendido (llave cerrada)

La tensión sobre L es:  $V_L \geq V_{in}$

D está en inversa

C se descarga sobre  $R_C$

$$\frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} = D$$

$$t_{on}(1-D) = t_{off} \cdot D$$

$$I_{L_{on}} = I_{min} + \frac{V_i}{L} t \quad 0 \leq t \leq t_{on}$$

$$\Rightarrow I_{L_{MAX}} = I_{min} + \frac{V_i}{L} t_{on}$$

Q1 apagado (llave abierta)

el nodo A se hace muy negativo

Q1 presenta alta impedancia y el inductor debe revertir su polaridad  $\Rightarrow$  el diodo se pone recto en directa y conduce la corriente del inductor.  
(Por el sentido de circulación de la corriente, puede verse que  $V_o < 0$ )

$$I_{L_{off}} = I_{max} + \frac{V_o}{L} t_{off} \Rightarrow V_i t_{on} = -V_o t_{off}$$

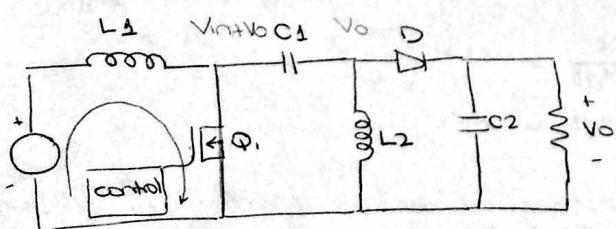
$$V_o = -V_i \cdot \frac{t_{on}}{t_{off}} = -\frac{D}{1-D} \cdot V_i$$

$$\rightarrow V_o = -\frac{D}{1-D} V_i$$

Puede elegirse D tal que la tensión de salida sea mayor o menor que la tensión de entrada.

SEPIC

Buck-Boost No inversora

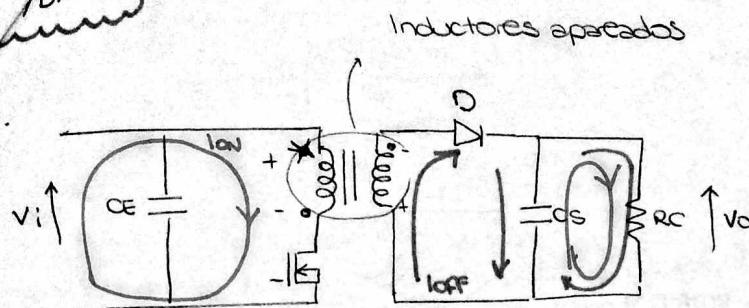


C1 está cargado con  $V_{in}$

Q1 apagado  $\rightarrow V_{L2} = V_o$

DIAS AISLADAS

BACK



Se asume que en  $t=0$   $V_{CS} = V_0$

Cuando la llave se cierra ( $Q_1$  encendido), la corriente fluye por el primario y induce una tensión sobre el secundario. Como el diodo está en inversa, no va a fluir corriente por el secundario

corriente en el primario

$$\rightarrow I = \frac{L_2}{L_1} \cdot t$$

tensión inducida en el sec

$$V_{SEC} = N \cdot V_{IN}$$

Cuando la llave se abre ( $Q_1$  apagado), el trago busca mantener el flujo magnético como el primario está abierto, lo que puede hacer es forzar en el secundario una tensión mayor a  $V_{OUT}$ , para poner el diodo en inversa.

$\Rightarrow$  The dot voltage of the primary goes more +, making the dot voltage of the secondary positive too.

$$\rightarrow I_{\text{initial}} = \frac{I_{\text{pico}}}{N} \quad \text{corriente en el primario antes de abrir la llave}$$

Puede verse que la tensión en el primario es  $\frac{V_{OUT}}{N}$

→

$$V_O = \frac{N_S}{N_P} \left( \frac{D}{1-D} \right) V_{IN}$$

Ventajas de la Flyback sobre la buck boost

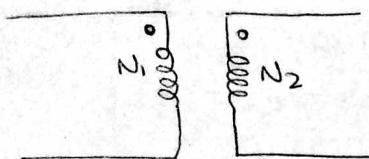
→ en la boost, el MOSFET tiene que entregar una corriente alta durante ton y bancarse una tensión alta durante toff.

Flyback → la tensión que se banco el MOS está dividida por  $N$  ( $\frac{V_{OUT}}{N}$ )

→ boost, el diodo tiene que soportar una corriente alta y tensión inversa alta.

Flyback → el diodo soporta una tensión alta pero con poca corriente ( $\frac{I_{\text{pico}}}{N}$ )

## o. Transformadores



### Relación de transformación

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} = \alpha$$

bordes homólogos: son aquellas por los cuales corrientes simultáneamente entrantes (o salientes) producen flujos magnéticos aditivos en el interior de cada bobina. Si ocurre lo contrario los flujos resultan sustractivos.

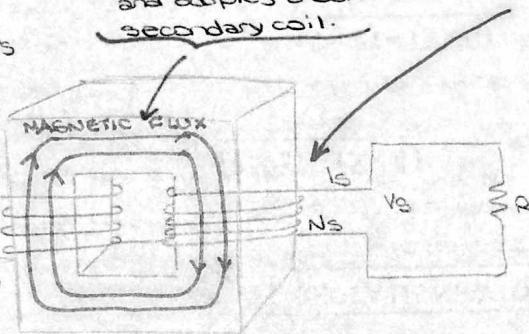
When a changing voltage is applied to the primary coil, the back emf generated by the primary is given by Faraday's law:

$$V_p = \text{Emf} = -N_p A \frac{dB}{dt}$$



A current in the primary coil produces a magnetic field, like a solenoid

Though there is a slight loss to fringe fields, the magnetic field is almost totally contained in the iron core, and couples around the secondary coil.



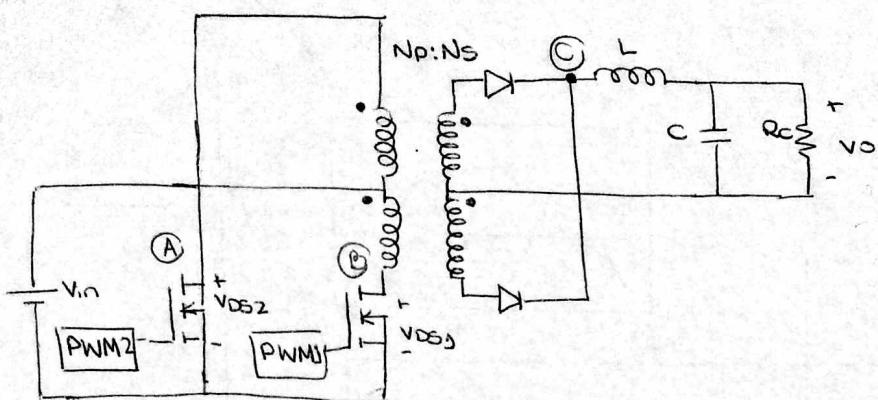
The induced voltage in the secondary coil is also given by Faraday's law

$$V_s = -N_s A \frac{dB}{dt}$$

The rate of change of flux is essentially the same as that in the primary coil - so the number of turns determines  $V_s$ .

$$L_2 = \left( \frac{N_2}{N_1} \right)^2 \cdot L_1$$

Un transformador no "suma" potencia, por lo cual la potencia ( $VxI$ ) en cada lado del trío debe ser = .  $\Rightarrow$  El bobinado con más vueltas tiene una mayor tensión pero menor corriente, mientras que el bobinado con menos vueltas tiene menor tensión y mayor corriente.



El conversor actúa encendiendo a cada transistor durante ciclos alternados.

**TRANSISTOR A ENCENDIDO:** se fuerza una tensión  $V_{in}$  sobre el primario superior, con una polaridad "dot negative"  $\Rightarrow$  en el secundario se induce una tensión dot-negative, que enciende el diodo inferior.  
 $\Rightarrow$  La corriente fluye al inductor, y éste carga el capacitor y le entrega corriente a la carga.

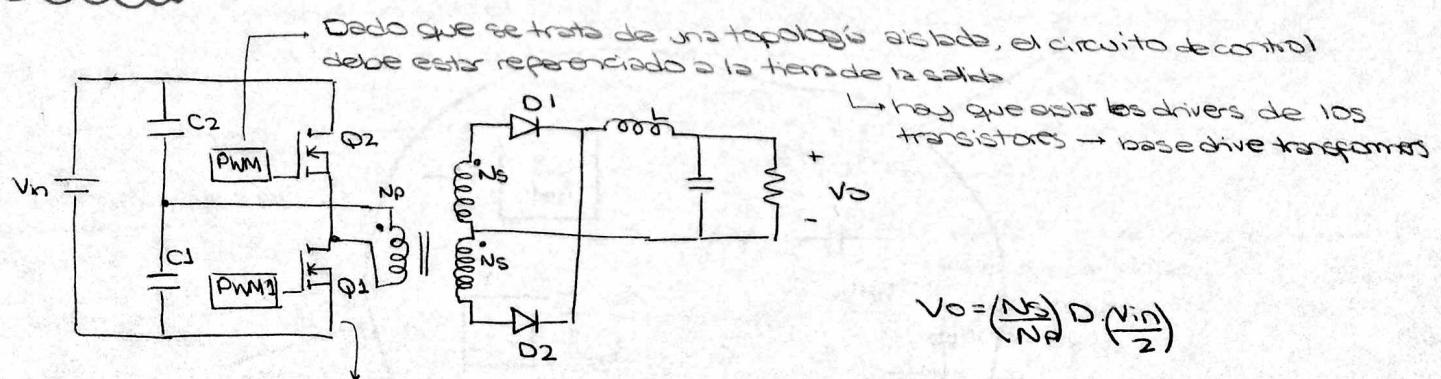
**TRANSISTOR B ENCENDIDO:** En el primario inferior se tiene  $V_i$ , dot-positivo  $\rightarrow$  se enciende el diodo superior del secundario, y la corriente fluye a C y  $R_C$

$$V_O = 2 \cdot \left( \frac{N_S}{N_P} \right) D \cdot V_{in}$$

**DESVENTAJA**  $\rightarrow$  cuando uno de los transistores está encendido, el otro tiene que bancarse 2 veces la tensión  $V_i$

Los transistores deben ser lo más parecidos posibles para tener un tono idéntico  $\rightarrow$  si no se saturan el nódulo

(HALF BRIDGE) step down  $\rightarrow$  500W A 1500W



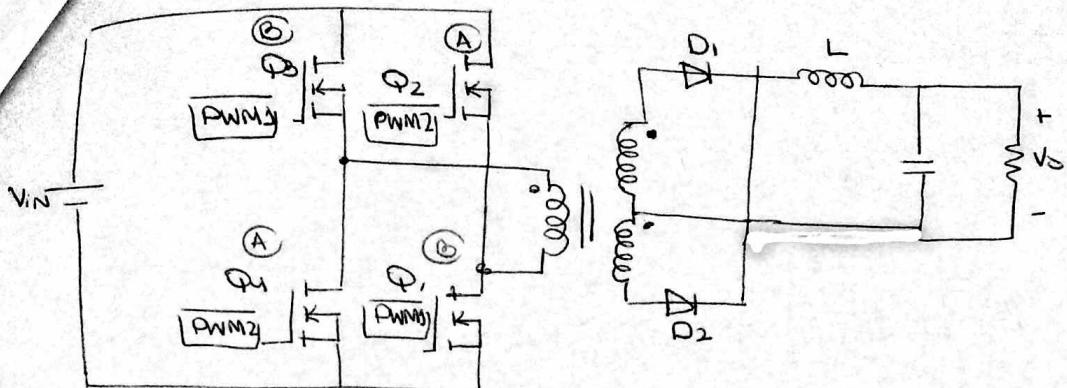
Cuidado con el dead time

$Q_1$  encendido  $\rightarrow$  dot-positive voltage en el primario  $\rightarrow$  se refleja en el secundario y se prende  $D_1$   $\rightarrow$  se carga el capa y le va corriente a la carga

$Q_2$  encendido  $\rightarrow$  dot G voltage en el prim  $\rightarrow$  se enciende  $D_2$  en el secundario

CUANDO  $Q_1$  Y  $Q_2$  ESTÁN APAGADOS  $\rightarrow$  C LE ENTREGA CORRIENTE A LA CARGA

VA DENTRO DE UNA...

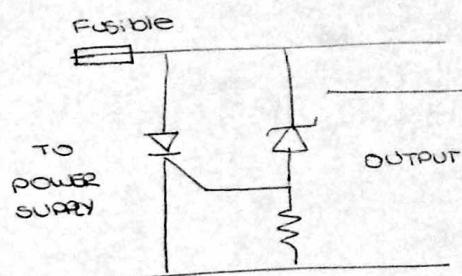


$$V_0 = \frac{N_S}{N_P} D V_{IN}$$

→ El primario tiene una tensión  $V_{IN}$  cuando cualquiera de los sets de transistores se encienden. (A o B).  
 ↓  
 Puede entregar la mayor potencia ala carga.

### CIRCUITOS DE PROTECCIÓN para fuentes comutadas.

#### CROWBAR



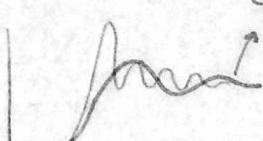
Si la tensión de salida excede la tensión de ruptura del zener, fluye corriente por el resistor y se enciende el transistor → este pone en corto la salida  
 ⇒ salta el fusible.

#### SNUBBER

→ reduce el pico de tensión, disminuyendo las pérdidas.

RC // al diodo o al transistor.  
 inductor

El snubber le da un camino alternativo para que circule la corriente del inductor cuando el transistor se apaga.



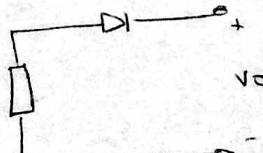
con SNUBB

#### CLAMP

en vez de amortiguar el pico, lo recorta (diodo en // al transistor)

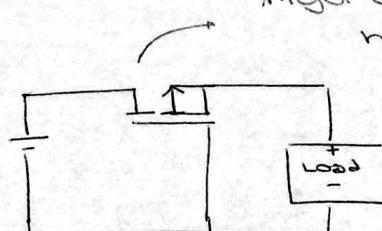
#### POLARIDAD INVERTIDA

2 opciones:



cuando la bat se conecta correctamente, la corriente circula por el diodo → problema; se pierde tensión que debería ir a la carga.

Bat. al revés → diodo en inverso, no circula corriente.



Mejor opción → se aprovecha el hecho que la Rds on es pequeña  
 ⇒ se pierden menos tensiones a la carga

con la bat. invertida, el transistor no se prende