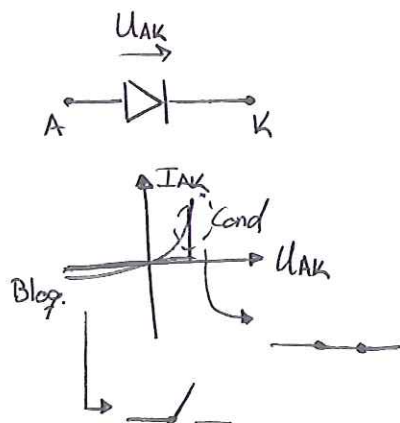
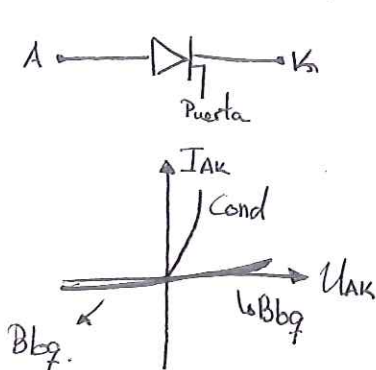


ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

Diodo

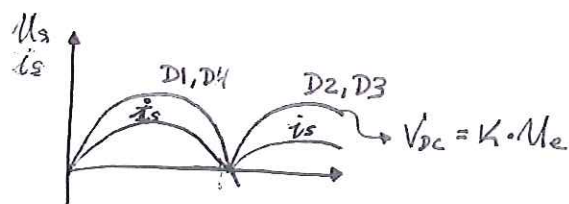
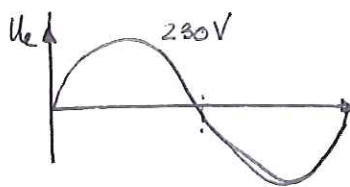
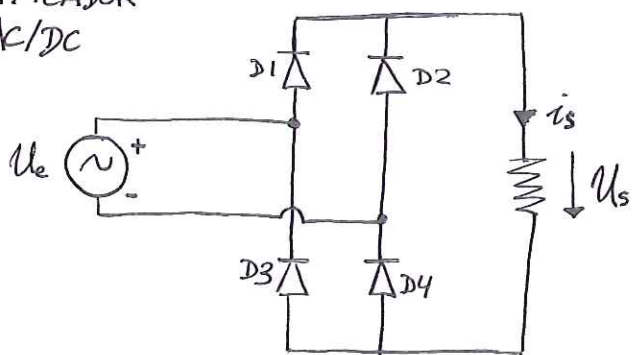


TIRISTOR

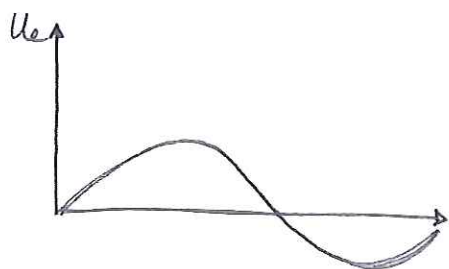


Hay que darle permiso por la puerta.

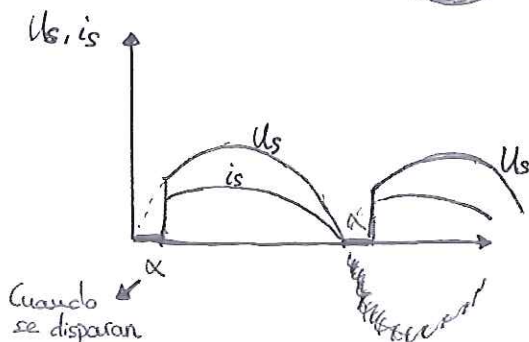
RECTIFICADOR AC/DC



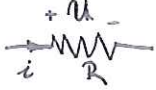
Si en vez de diodos utilizamos triodos:



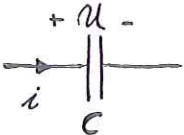
Se puede controlar α para que la U_s no fluctúe si fluctúa U_e



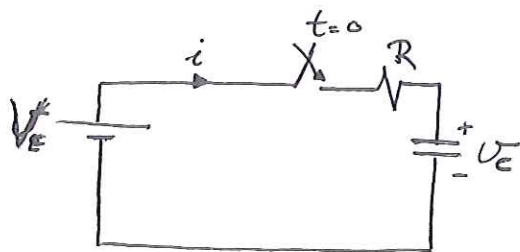
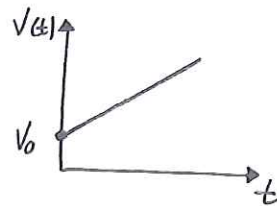
Componentes pasivos

- Resistencias  $U = R \cdot i$ $P = R \cdot I_{ef}^2 = \frac{U_{ef}^2}{R}$
- Bobinas
- Condensadores
- Transformadores.

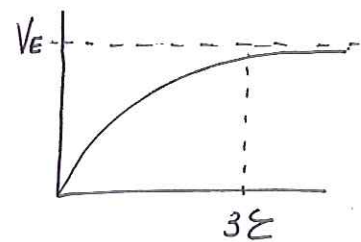
CONDENSADORES

 $i = C \frac{dU}{dt}$ $E = \frac{1}{2} C U^2$ No puede haber cambios bruscos en U .

$$\int_0^t I dt = \int_{V_0}^{V(t)} C dU \Rightarrow V(t) - V_0 = \frac{I}{C} t$$



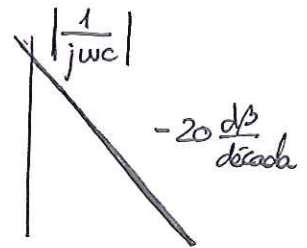
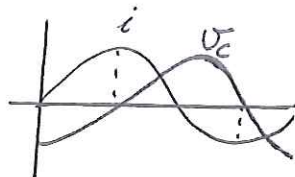
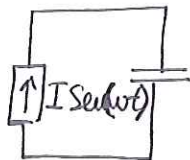
$$\begin{cases} V_E = R \cdot i + U_C \\ i = C \frac{dU_C}{dt} \end{cases} \Rightarrow$$



$$\tau = R \cdot C$$

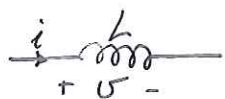
Respuesta en frecuencia:

$$\Sigma = \frac{1}{j\omega C}$$



$$U = I \cdot \frac{1}{j\omega C}$$

BOBINA

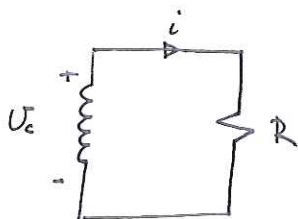


$$U = L \frac{di}{dt}$$

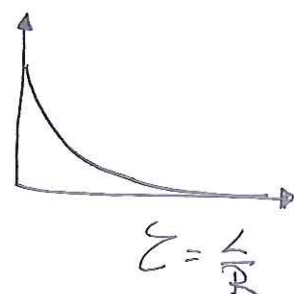
$$E = \frac{1}{2} L I^2$$



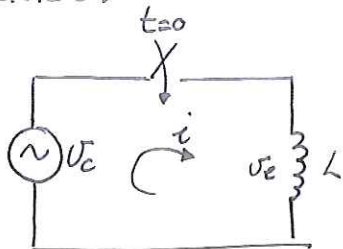
$$\Sigma = j\omega L$$



$$\begin{cases} U_C = R \cdot i \\ U_C = L \frac{di}{dt} \end{cases}$$

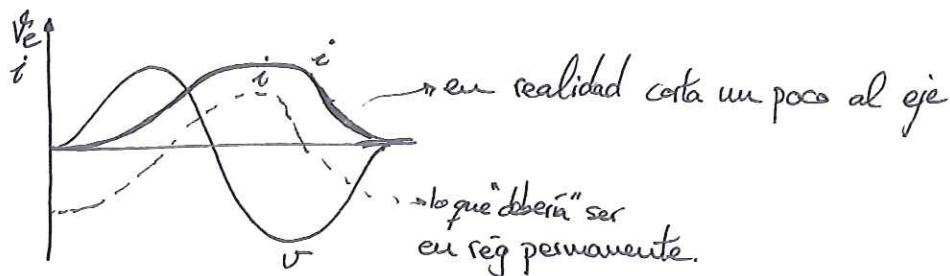


Ejercicio.

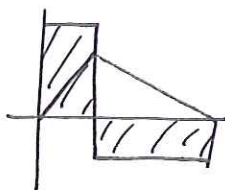
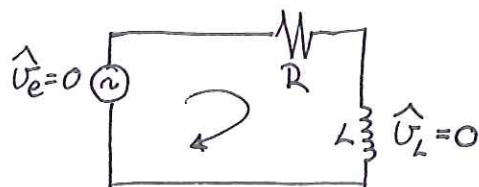


$$t \geq 0$$

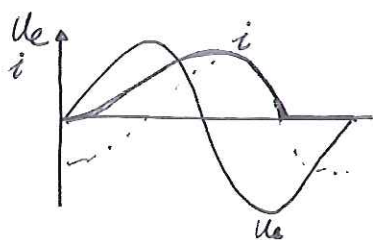
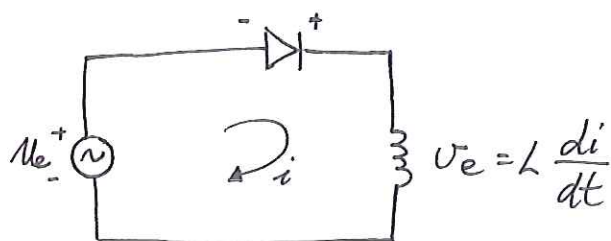
$$v_e = L \frac{di}{dt}$$



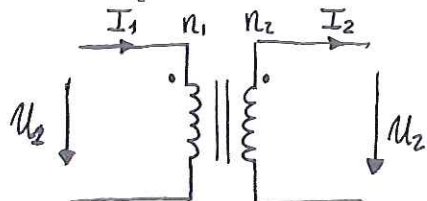
Análisis en valores medios (régimen permanente)



$$\hat{v}_e = R \hat{i} + \hat{v}_L$$



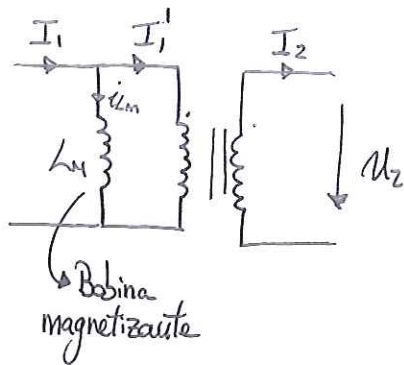
Transformadores



$$\underline{\underline{IDEAL}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{u_1}{n_1} = \frac{u_2}{n_2} \\ n_1 I_1 = n_2 I_2 \end{array} \right.$$

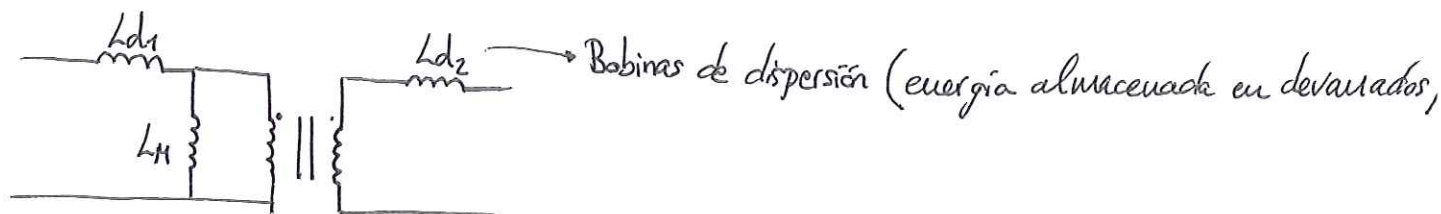
Si $I_2 = 0 \nRightarrow I_1 = 0$ porque almacena energía. $\Rightarrow$

⇒ REAL

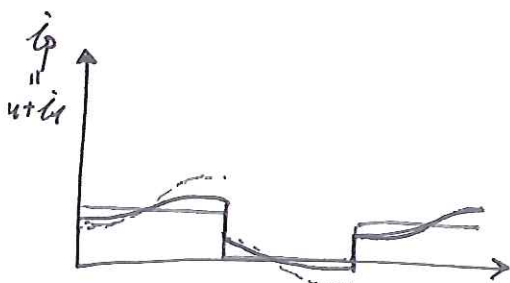
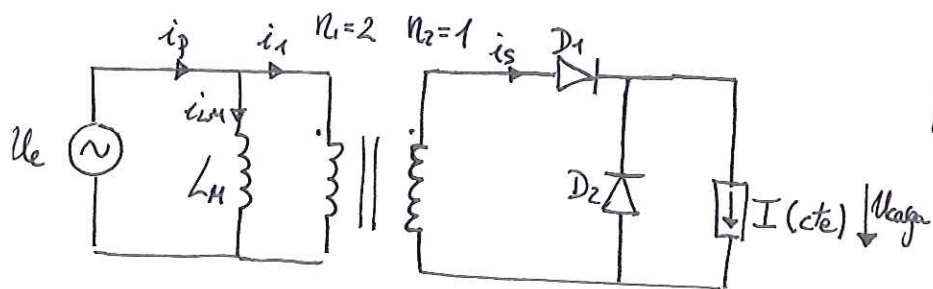


$$U_2 = U_1 \cdot \frac{n_2}{n_1}$$

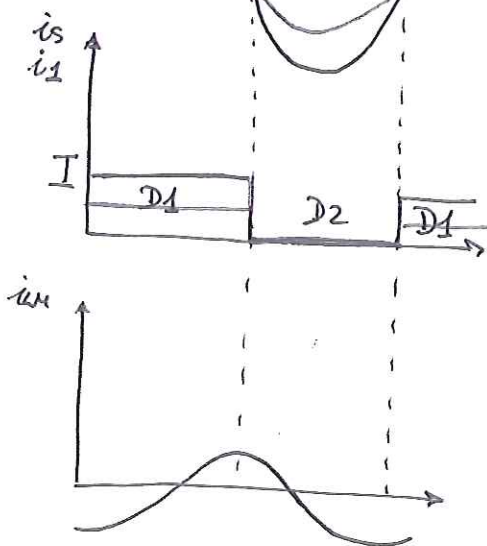
MÁS REAL



Ejemplo.



Suponemos $\uparrow L_M$



El valor medio de ^{tensión} a una bobina tiene que ser 0, porque sino la corriente crecería y no habría régimen permanente.

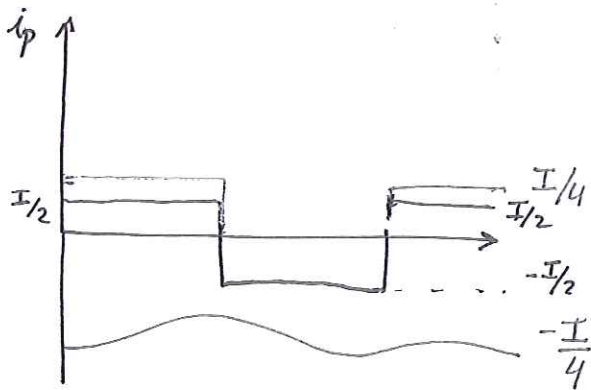
Análogamente con la corriente en los condensadores.

Si hubiese una R en i_p , su valor de $\hat{U}_R > 0$ y por tanto $\hat{U}_{LM} < 0 \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ Imposible

$$U_e(t) = U_R(t) + U_{LM}(t)$$

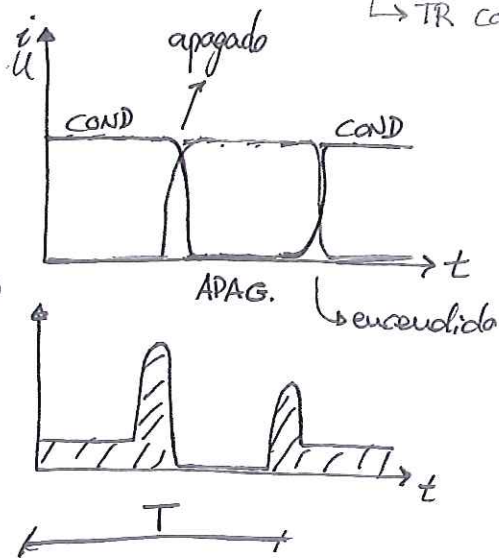
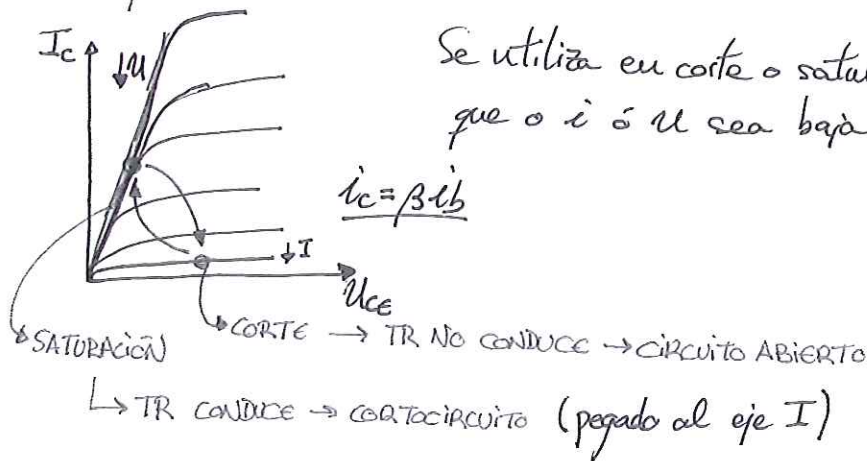
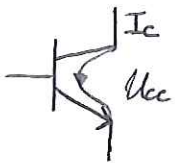
$$\overline{U_e} = \overline{U_R} + \overline{U_{LM}} \Rightarrow \overline{U_R} = 0 \Rightarrow R \overline{i_R} = 0 \Rightarrow \overline{i_R} = 0 \Rightarrow \text{La solución no es válida.}$$

$$i_p = i_{LM} + i_1(t) \Rightarrow \overline{i_p} = \overline{i_{LM}} + \overline{i_1} \Rightarrow \overline{i_{LM}} = -\frac{I}{4} \Rightarrow$$



Semiconductores de potencia.

Transistor



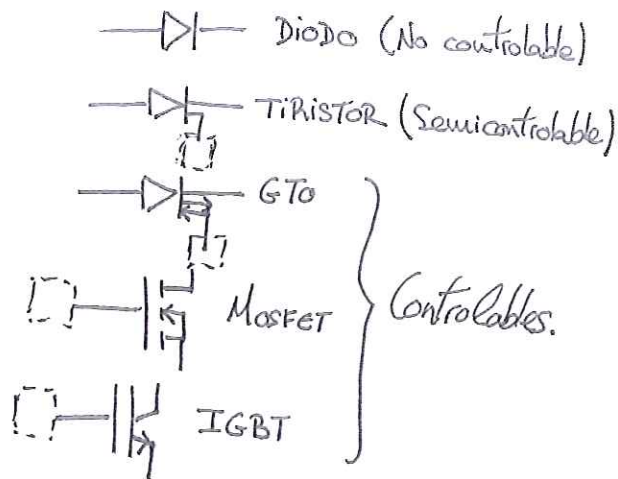
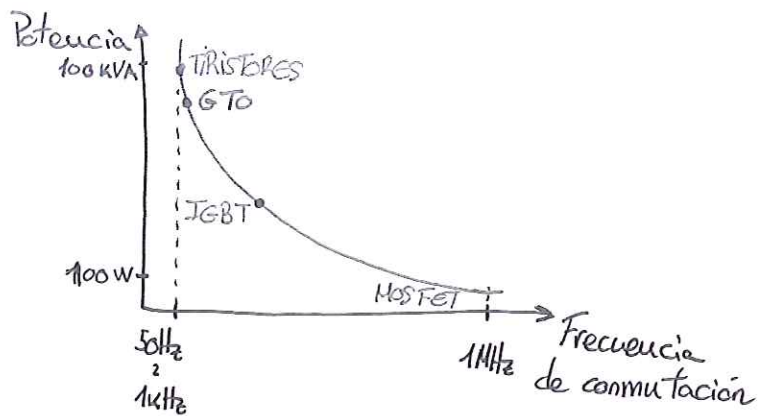
La potencia durante el apagado y encendido es mayor que cuando está apagado o encendido.

Para mejorar el rendimiento hay que trabajar a frecuencias de conmutación bajas.

Al bajar la frecuencia también hay que

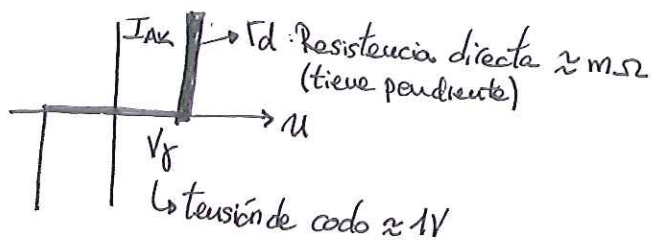
poder bobinas más grandes por el rizado, porque sino también hay más pérdidas.

$\downarrow \downarrow f_{comm} \rightarrow$ Reducir pérdidas en semicond. $\uparrow \uparrow$ $\uparrow \uparrow f_{comm} \rightarrow$ Reducir tamaño de elementos reactivos y reducir P del rizado de cor

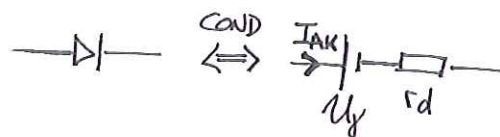


Las pérdidas de bloqueo las asumiremos nulas. Las de encendido y apagado son difíciles de calcular. Las de conducción si las calcularemos:

Diodo



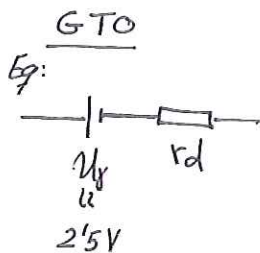
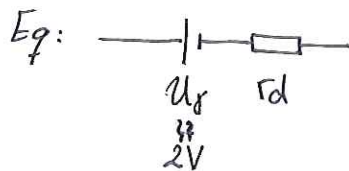
$$U_{AK} = U_f + r_d \cdot I_{AK}$$



$$P_{COND} = \frac{1}{T} \int_0^T U_{AK}(t) I_{AK}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T [U_f + r_d I_{AK}(t)] I_{AK}(t) dt =$$

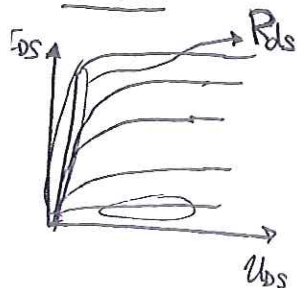
$$= \frac{1}{T} \int_0^T U_f I_{AK}(t) dt + \frac{1}{T} \int_0^T r_d I_{AK}^2(t) dt = \boxed{U_f I_{AK,med} + r_d \cdot I_{AK,EFF}^2}$$

TIRISTOR



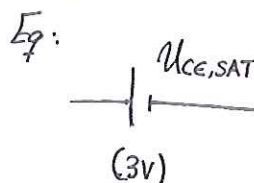
Vale la misma ecuación

MOSFET



$$P = R_{DS} \cdot I_{DJ}^2$$

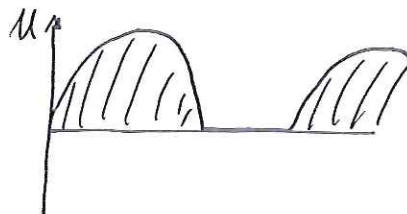
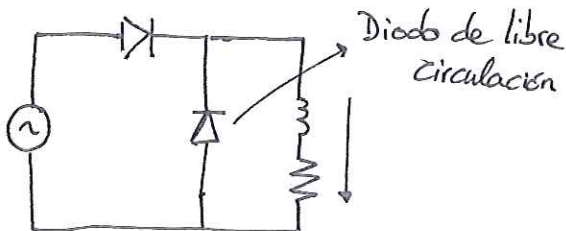
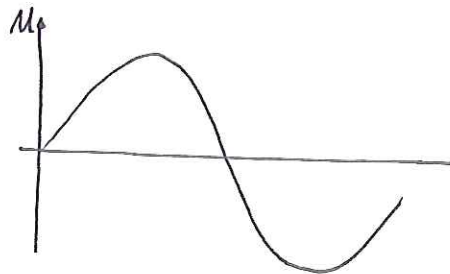
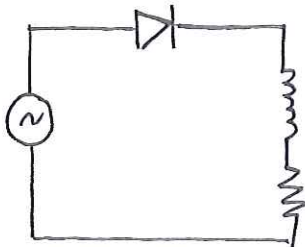
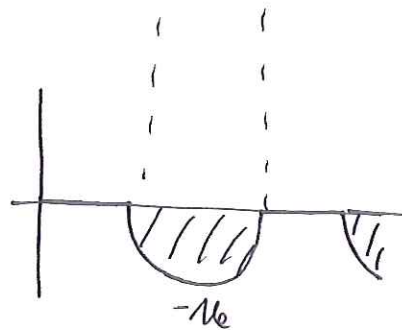
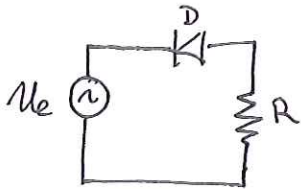
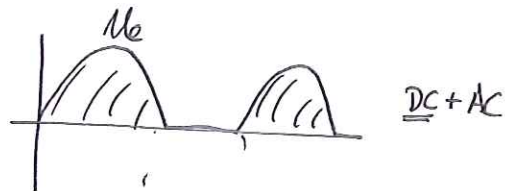
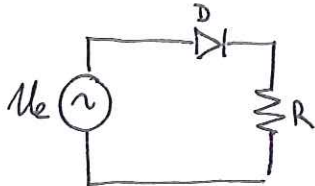
IGBT



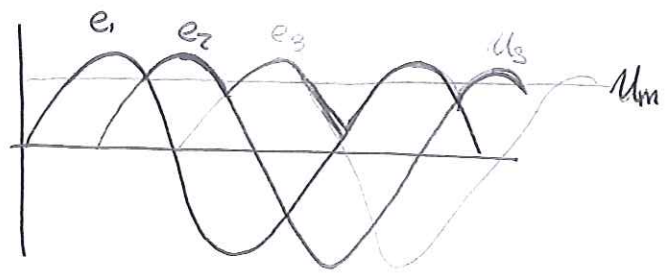
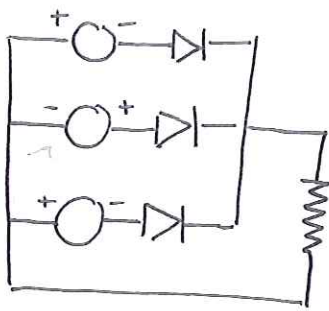
RECTIFICACIÓN. AC → DC

- No controlada. Diodo - 1 ϕ
- Totalmente controlada. Tiristor, MOSFET, IGBT - 3 ϕ
- Semicontrolada. Tiristores + Diodos - ¿?
- Media onda
- Doble onda (onda completa)

• Rectificación no controlada monofásica de media onda



- Rectificación trifásica, media onda, no controlada.

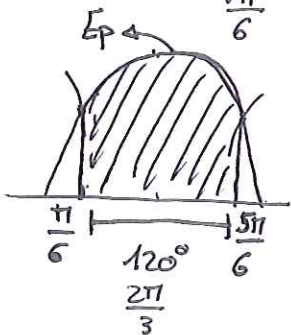


Tienen el cátodo común $\Rightarrow$ Sólo va a conducir uno (el de mayor tensión)

Para la misma tensión, da más valor medio que los casos anteriores.

Además tiene menor componente alterna y más frecuencia.

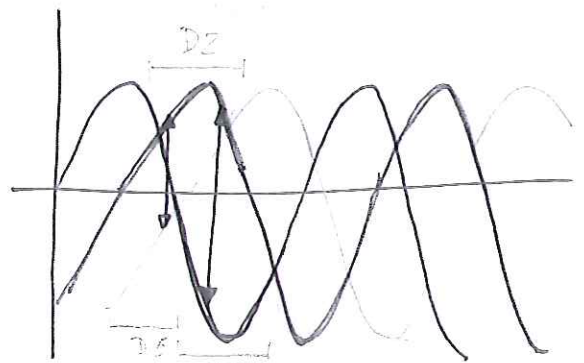
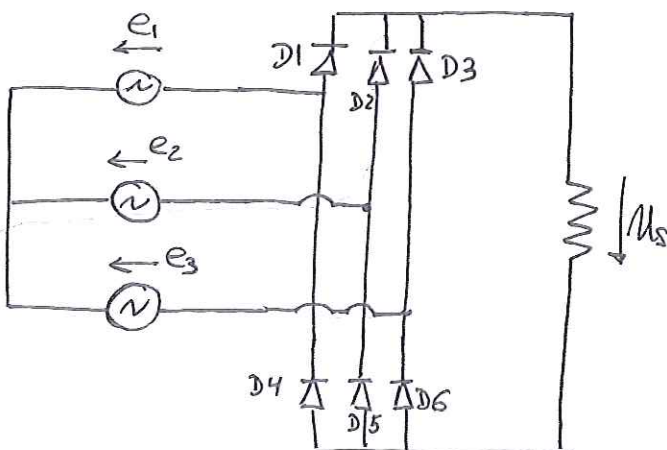
$$U_{med} = \frac{1}{\frac{2\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} E_p \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3E_p}{2\pi} \left[-\cos(\omega t) \right]_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} = \frac{3E_p}{2\pi} \left[\frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2} \right] =$$



$$= \frac{3\sqrt{3}E_p}{2\pi}$$

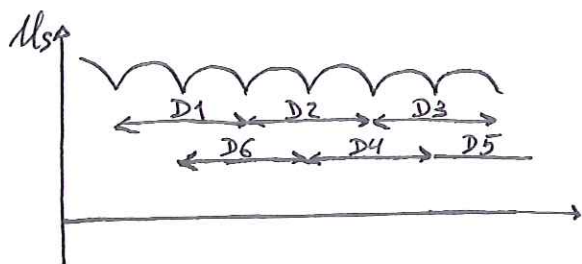
Para n fases: $U_{s,med} = \frac{n E_p}{\pi} \sin \frac{\pi}{n}$ | Para media onda (Podría ser de onda completa cambiando n y E_p)

- Rectificación trifásica, doble onda, no controlada



En los ánodos comunes a varios diodos, conducirá aquel que tenga menos tensión.

La tensión de salida es la suma de los valores absolutos del subrayado.



Cada generador conduce $\frac{4\pi}{3}$

Cada diodo conduce $\frac{2\pi}{3}$

Es mejor este que el anterior porque tiene más continua, menos alterna (el doble) y tiene mayor frecuencia (6 veces más que la onda original).

El valor de pico en media onda sería $\sqrt{2} E_p$.

El valor de pico en onda completa sería $\sqrt{2} \sqrt{3} E_p$.

Para doble onda:
$$U_{s,DC} = 2 \cdot \frac{n E_p}{\pi} \text{Sen} \frac{\pi}{n} \quad (n=3) \text{ si es trifásico.}$$

Para un rectificador controlado con triodos, llegamos a:
$$U_{s,DC} = \frac{n E_p}{\pi} \text{Sen} \frac{\pi}{n} \text{Cos} \alpha$$
 de media onda

Para controlado de doble onda sería:
$$U_s = 2 \cdot \frac{n E_p}{\pi} \text{Sen} \frac{\pi}{n} \text{Cos} \alpha$$

Para un rectificador con $\alpha > 90^\circ \Rightarrow$ Inversor no autónomo (no genera alterna pero devuelve energía).

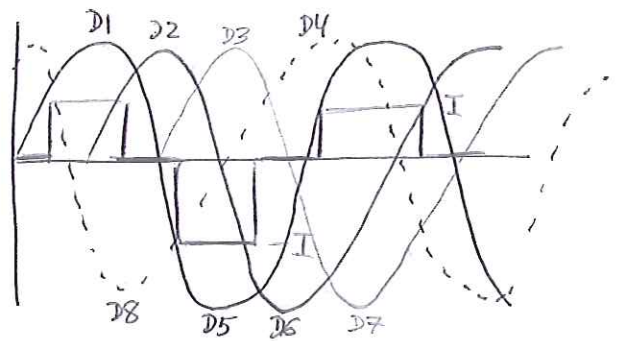
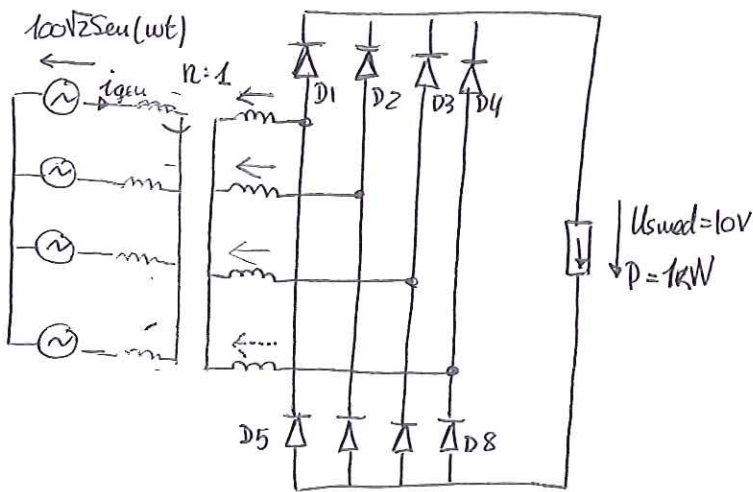
El semicontrolado es la suma de U_s

Problema

DISTRIBUCIÓN TENSION 4 ϕ (desf 90°)

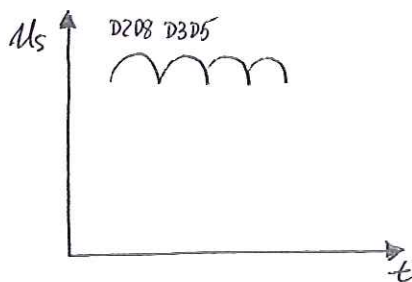
- $U_{e,fn} = 100V$ 50 Hz
- Transformador 
- Rectificador doble onda no controlado
- Carga muy inductiva $U_{med} = 10V$ $P = 1kW$

- Dibujar $U_s(t)$, $i_{gen}(t)$
- Rizado de $U_s(t)$ pico-pico
- Relación transformación trafa
- Tensión inversa diodos
- Si $V_{AK, diodos} = 1V \rightarrow \begin{cases} P_{diodos} \\ \text{Recalcular.} \end{cases}$

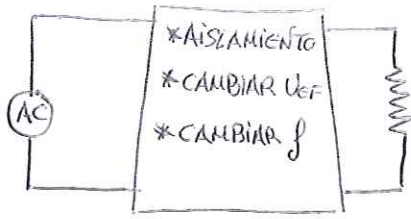


Salen 4 picos sólo al sumar porque coinciden.
Pasa en todas las pases.

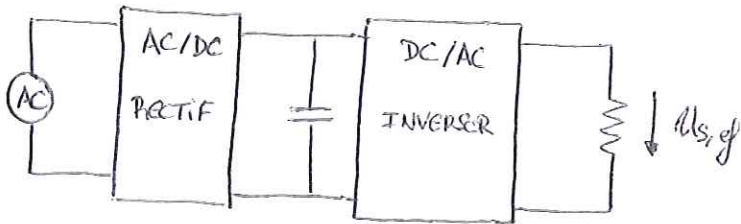
Por tanto:



4. REGULADORES DE ALTERNA

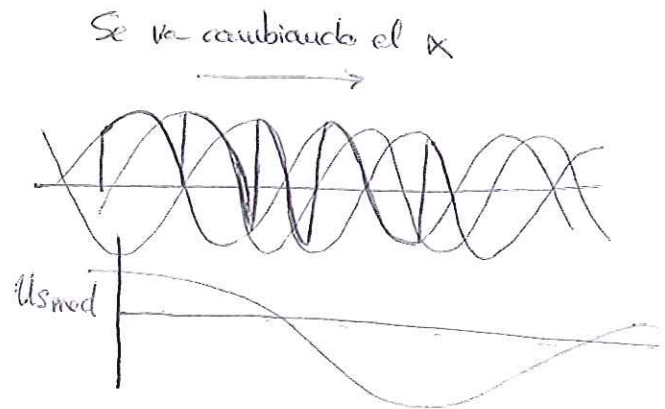
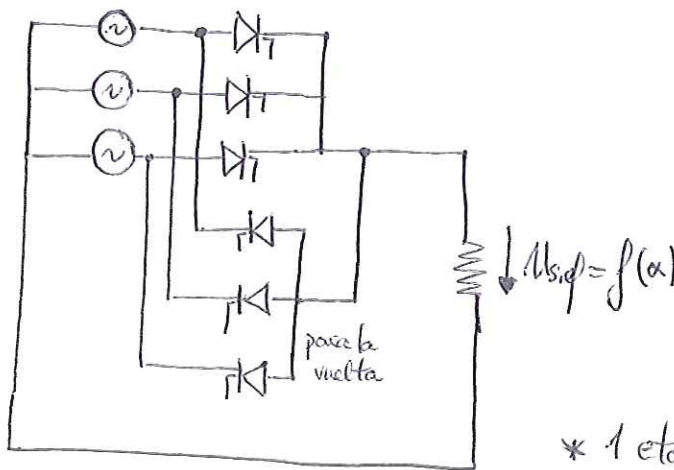


1ª opción: 2 etapas



- * Válido para cualquier U_s, f y frecuencia U
- * Realización sencilla
- * Coste

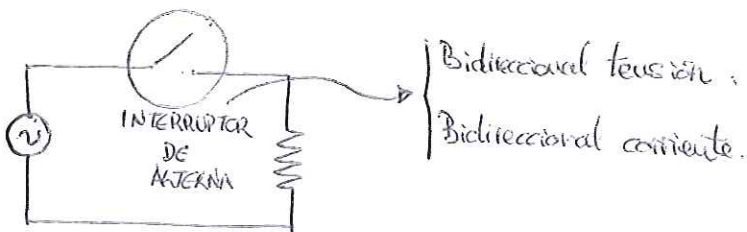
2ª opción: Cicloconvertidor



* 1 etapa de conversión

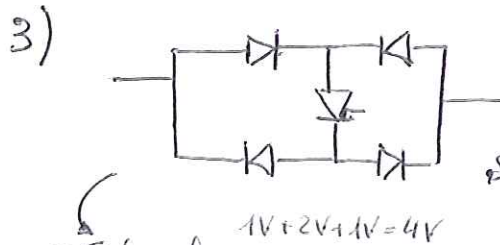
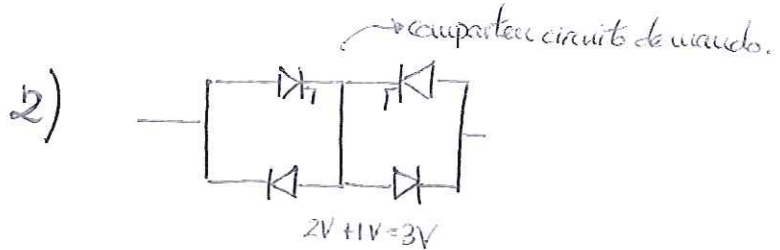
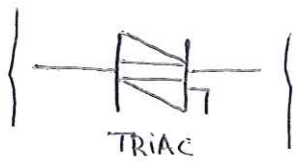
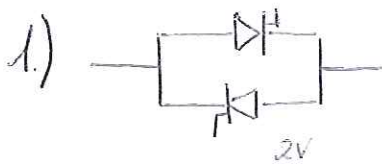
- * la frecuencia de salida menor de 15 Hz.
- * la amplitud máxima de $U_{s,med}$ está limitada ($< U_{estrada}$).

3ª opción: Regulador de alterna



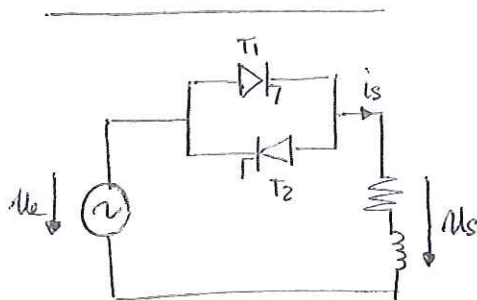
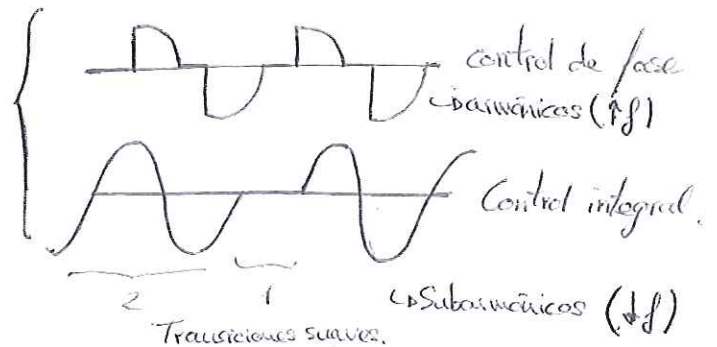
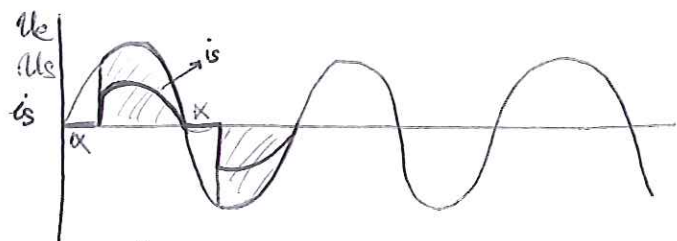
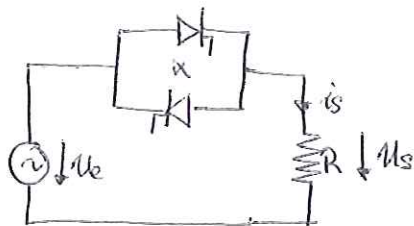
Bidireccional tensión.
Bidireccional corriente.

• INTERRUPTORES DE ALTERNA



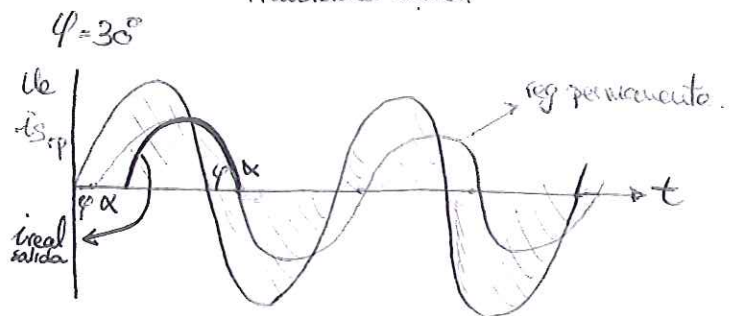
Sólo 1 circuito de disparo $\Rightarrow$
 $\Rightarrow$ Más barato.

* Sólo vale para carga resistiva
 (tensión inversa = grande)

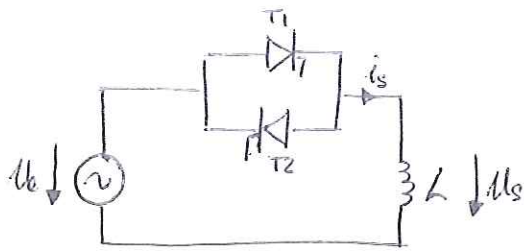


$$\varphi_{carga} = \arctg \frac{\omega L}{R}$$

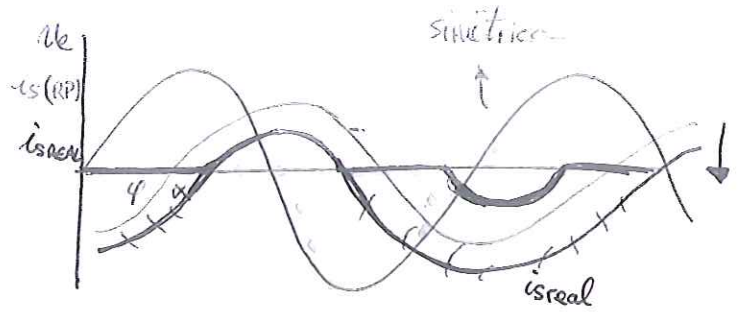
Lo normal: $\boxed{\varphi < \alpha < \pi}$



$$\alpha = \begin{cases} \alpha > \varphi \rightarrow \text{Regulado} \\ \alpha = \varphi \rightarrow U_s = U_e \text{ Sin sentido práctico.} \\ \alpha < \varphi \rightarrow \text{No regulado} \end{cases}$$

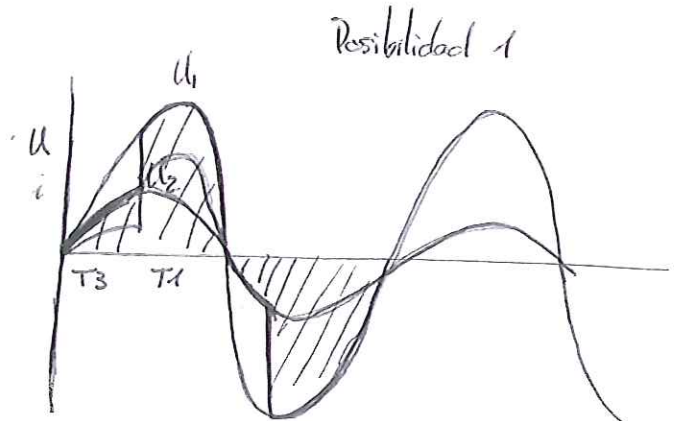
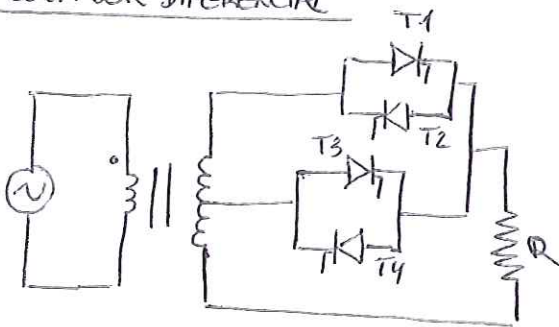


$\varphi = 90^\circ$ $X > \varphi$ para regular

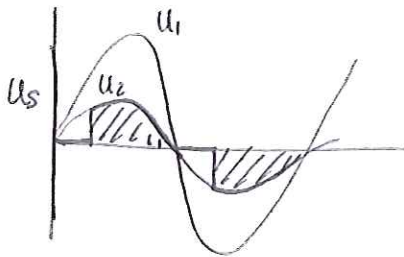


Si hay resistencia la solución i_s debe estar centrada en cero la corriente.

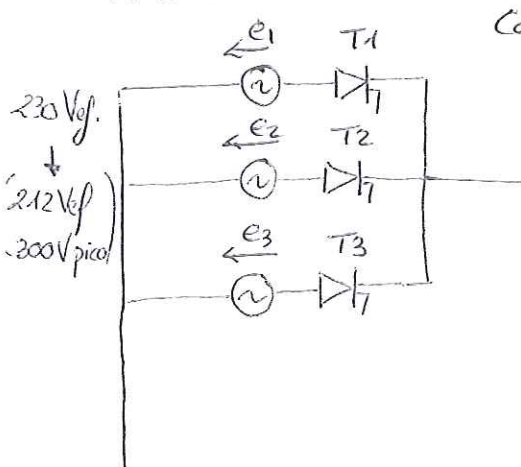
REGULADOR DIFERENCIAL



Posibilidad 2



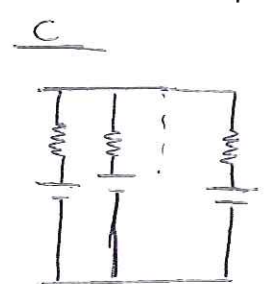
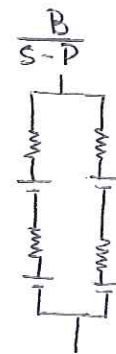
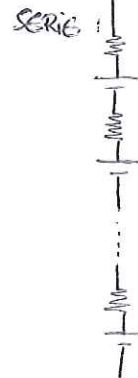
Problema



Cargador baterías

4 baterías de 10 A·h $\rightarrow$ $\begin{matrix} \text{---} 2-2 \\ \text{---} 50V \end{matrix}$

OPCIÓN A

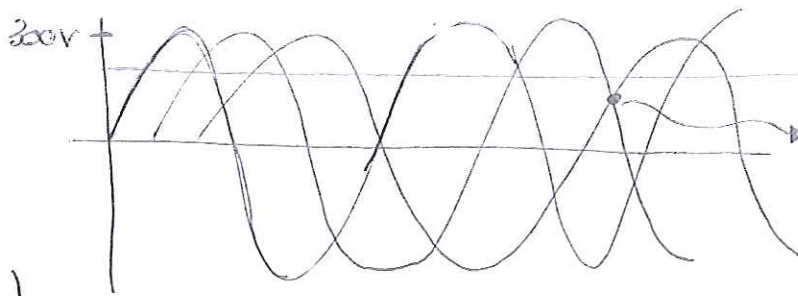


a) X para carga en mínimo
nunca $I_{BAT} > 100A$

b) u_s e I_s

c) Config B obtener t carga

d) Razones a y b si se añade L muy grande.

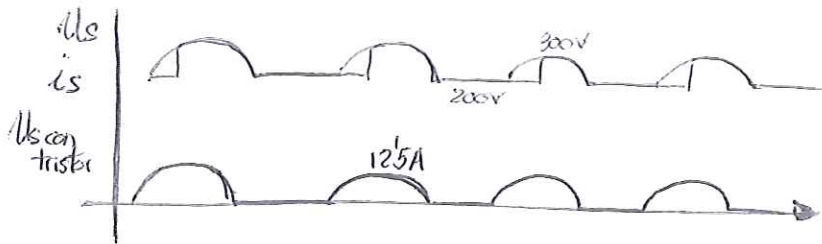


Si la $U_{ls} < 200$ no
conducen los diodos.

(Así con todos los cortos, que el
dibujo está mal)

a) b)

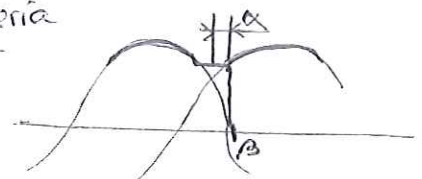
La salida entonces sería:



Es equivalente a una carga resistiva.

Para minimizar el tiempo el

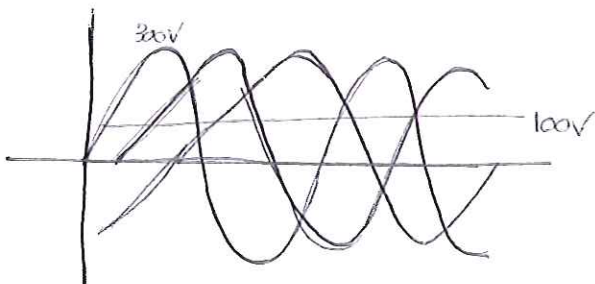
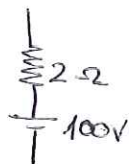
Xóptimo sería
o menor



$$\alpha = \beta - \frac{35}{30}$$

$$\beta = \arcsen \frac{200}{300}$$

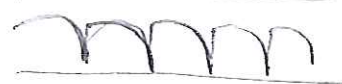
c) Equivalente caso B



$\alpha = 0$

$\alpha \neq 0$

α



Mejor caso

En el mejor caso $I_{s,max} = \frac{300 - 100}{4} = \underline{\underline{50A}}$

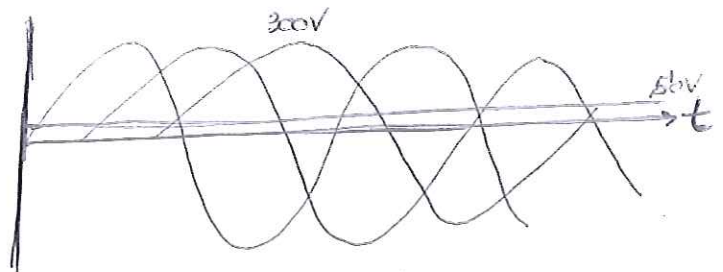
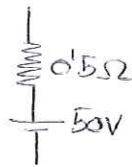
Tiempo de carga:

$$U_{s,med} = \frac{n E_p}{\pi} \text{Sen} \frac{\pi}{n} \text{Esc} \alpha = \begin{cases} \alpha = 0 \\ n = 3 \\ E_p = 300V \end{cases}$$

Ver solución.

Caso C

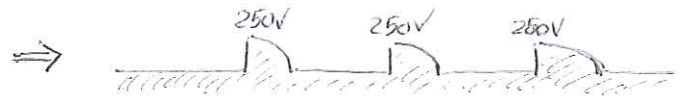
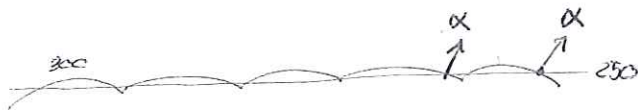
Equivalente



Ahora para $\alpha = 0$ la tensión implicará una intensidad mayor que los 100A permitidos

$$I_{s, \max} = \frac{300 - 50}{2} = 125 \text{ A} > 100$$

Hay que buscar que la tensión valga 250V de salida



d) No habría "lunas" en la tensión.

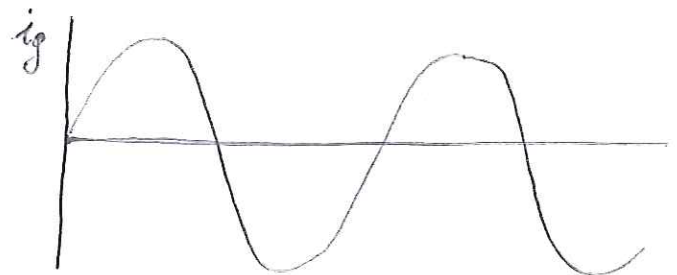
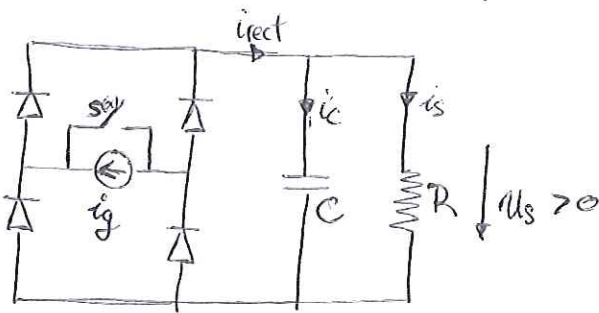
$$I_s = \frac{U_{s, \text{med}} - U_{\text{BAT, eq}}}{R_{\text{eq}}}$$

1º caso) $U_{s, \text{med}} = 250 \text{ V} \Rightarrow I = 6 \text{ A}$

2º caso) $U_{s, \text{med}} = 250 \text{ V} \Rightarrow I =$

3º caso) $U_{s, \text{med}} = 250 \text{ V} \Rightarrow I = 100 \text{ A}$

Problema (No está en la colección).



$C \uparrow \Rightarrow U_{s, \text{rect}}$

a) $U_s, i_{\text{rect}}, i_c, i_s$ para $\alpha = \frac{\pi}{2}$

b) Calcular $U_s = f(\alpha)$

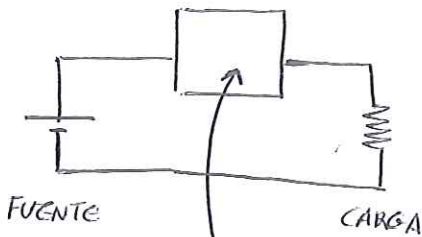
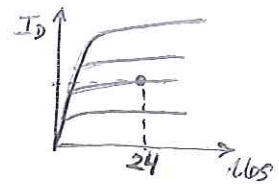
c) Calcular C para $\Delta U_{s, \text{pp}} < 100 \text{ mV}$ ($\alpha = 0$)

i_c en valor medio es

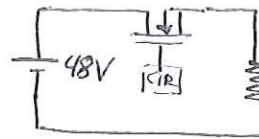
$$C_{\text{eq}} \Rightarrow \bar{i}_R = \bar{i}_{\text{rect}}$$

6. Reguladores de continua.

Cambian el valor de tensión (valor medio)



Lineares

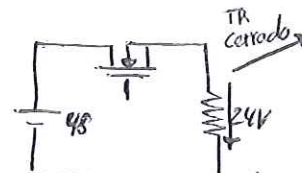


$$U_s = 24V \quad \eta = \frac{P_s}{P_c} = 0.5$$

↳ Bajo Puesta 1

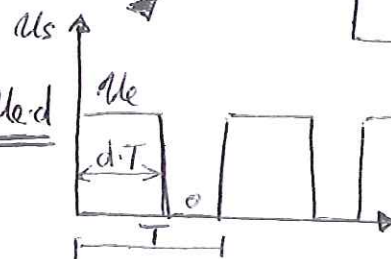


No lineares
Conmutados

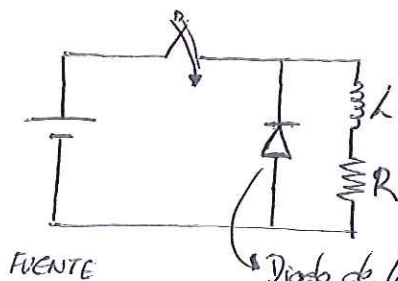


↑ η "Mala"

$$U_s = \frac{U_e \cdot d \cdot T + 0 \cdot (1-d) \cdot T}{T} = U_e \cdot d$$

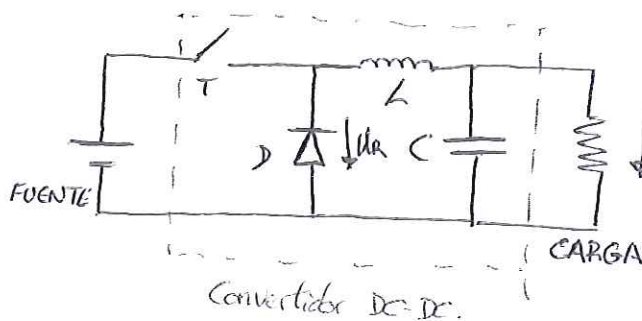


$0 \leq d \leq 1$
↳ ciclo de trabajo



Diodo de libre circulación
(No puede estar el interruptor con la bobina en serie)

REDUCTOR



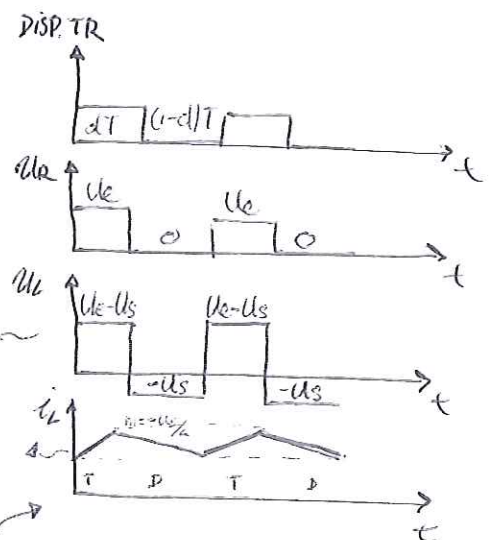
Convertidor DC-DC.

$$\overline{U_L} = 0$$

$$U_s = U_e \cdot d$$

Se llegará a áreas iguales

$$\text{pendiente} = \frac{U_e \cdot U_s}{L}$$



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

Suponemos C suficientemente grande $\Rightarrow U_s \approx U_e$

En régimen permanente se impone $\overline{U_L} = 0$

(Lo que sube i es igual a lo que baja)

$$\Delta i = \Delta i_+ + \Delta i_- = 0$$

$$U = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \rightarrow \Delta i = \frac{U}{L} \Delta t = \frac{U_e - U_s}{L} d \cdot T + \frac{-U_s}{L} (1-d) T = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_e \cdot d - U_s \cdot d - U_s + U_s \cdot d = 0 \Rightarrow \boxed{U_s = U_e \cdot d}$$

En un condensador $\bar{i}_c = 0 \Rightarrow$ El valor medio de corriente es $\frac{U_s}{R} \Rightarrow$
 $\Rightarrow$ depende de la carga. Hacer Kirchhoff siempre. $\bar{i}_e = \bar{i}_r$

TENSION SALIDA

$$U_s = U_e \cdot d$$

CORR. MEDIA BOBINA

$$U_s / R$$

TENS. MAX EN T

$$U_e$$

TENS MAX EN D

$$U_e$$

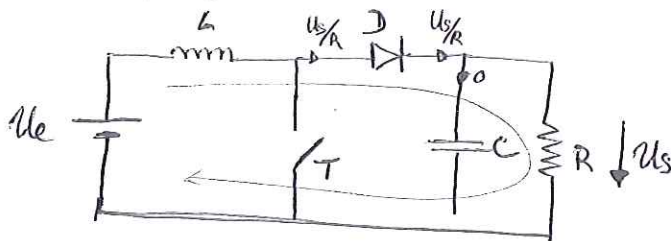
CORR. MEDIA EN T.

$$\frac{U_s}{R} \frac{d \cdot T}{T} = d \cdot \frac{U_s}{R}$$

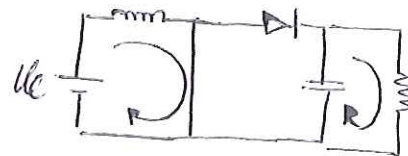
I_{med}

$$\frac{U_s}{R}$$

ELEVADOR



T cerrado



$$\text{Tension en la bobina: } U_e \cdot d \cdot T + (U_e - U_s)(1-d)T = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow U_e d + U_e - U_e d - U_s + U_s d \Rightarrow \boxed{U_s = \frac{U_e}{1-d}} \quad U_s > U_e$$

TENS MAX EN T: U_s

TENS MAX EN D: U_s

CORR. MEDIA BOBINA: $\frac{U_s}{R} \frac{1}{1-d}$

CORR MEDIA TRANSISTOR: $\frac{U_s}{R} \frac{d}{1-d}$

$$i_{Tmed} = \frac{i_{Lmed} \cdot d \cdot T + 0(1-d)T}{T} \Rightarrow$$

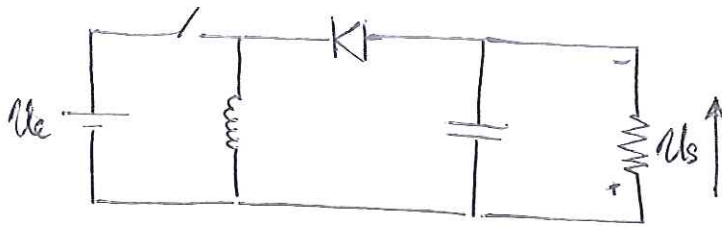
$$\Rightarrow \underline{i_{Tmed} = i_{Lmed} \cdot d}$$

Otra forma: $P_e = P_s$; $P_s = \frac{U_s^2}{R}$; $P_e = U_e \cdot I_{em} \Rightarrow$

$$\Rightarrow U_e I_{emod} = \frac{U_s^2}{R} \Rightarrow I_{emod} = \frac{U_s^2}{R \cdot U_e} = I_{Lmed} = \frac{P_s}{U_e} = \frac{U_s^2}{R U_e (1-d)} = \frac{U_s}{R} \frac{1}{1-d}$$

$$U_s = \frac{U_e}{1-d}$$

Otro circuito: Reductor - Elevador



$$U_{L,med} = 0 \Rightarrow \frac{U_e \cdot d \cdot T - U_s (1-d) \cdot T}{T} = 0 \Rightarrow \boxed{U_s = \frac{U_e \cdot d}{1-d}}$$

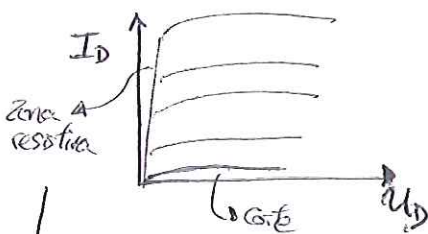
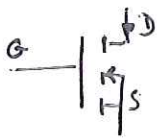
$d < 0.5 \Rightarrow U_s < U_e$
 $d > 0.5 \Rightarrow U_s > U_e$

$$U_{r,max} = U_s + U_e$$

$$i_{D,med} = \frac{U_s}{R} \Rightarrow i_{med} = \frac{U_s}{R} \cdot \frac{1}{1-d} \quad i_{T,med} = \frac{U_s/R}{1-d} \cdot d$$

Como interruptores se utilizan:

MOSFET

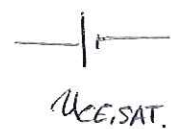


Se comporta como una resistencia en conducción $\rightarrow$

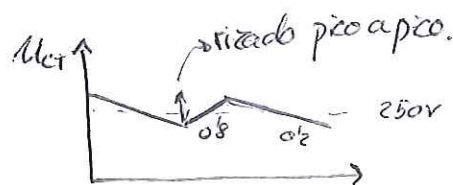
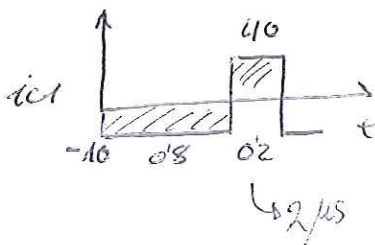
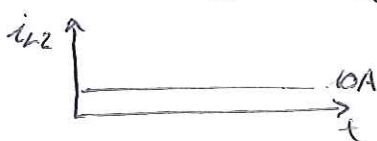
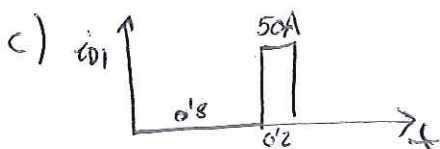
IGBT



Un IGBT en conducción se comporta como una carga de tensión constante



Ejercicio 3 Noviembre 2011.



$$i = C \frac{dU_{ce}}{dt} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I = C \frac{\Delta U}{\Delta t} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{C = \frac{I \Delta t}{\Delta U}}$$

Da igual que tramos escoger. Mejor el que sea constante.

Convertidores cc/cc.

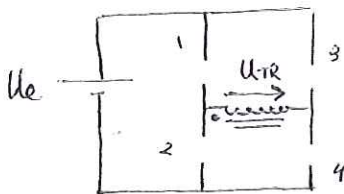
* Sin aislamiento

- Reductor
- Elevador
- Reductor elevador

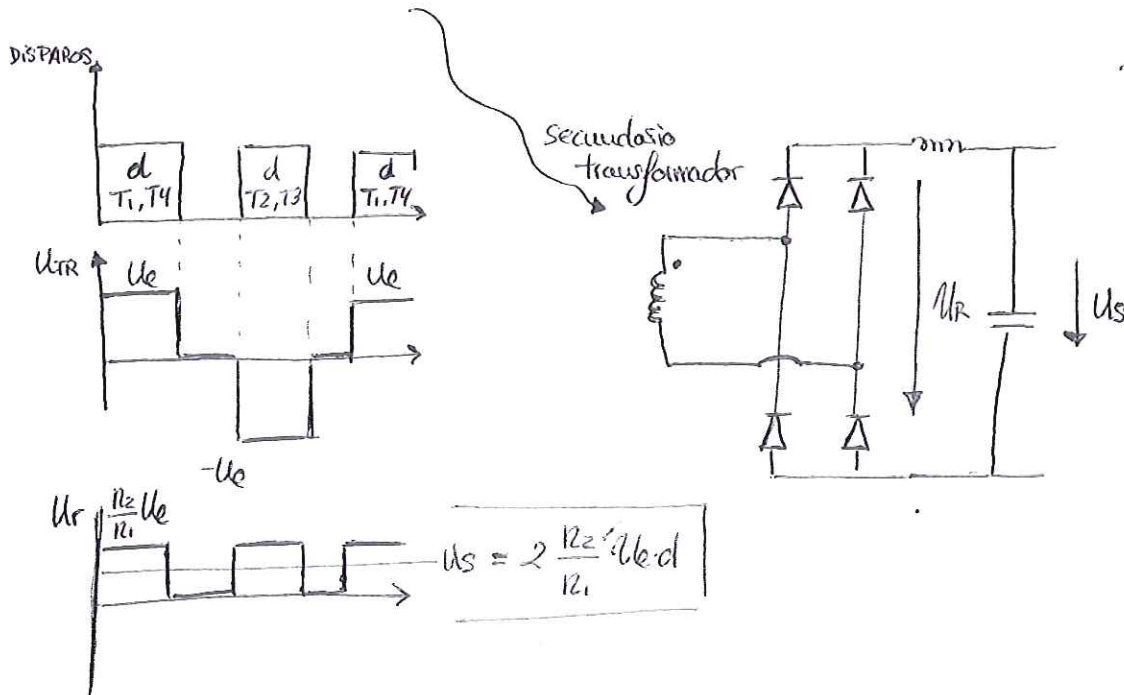
* Con aislamiento / U_e y U_s muy distintas (Hd)

- Transformador
 - DIRECTO } No - PUSH-PULL 2 interruptores
 - INDIRECTO } entran 1 salida - PUENTE COMPLETO 4 interruptores
 - MEDIO PUENTE 2 interruptores

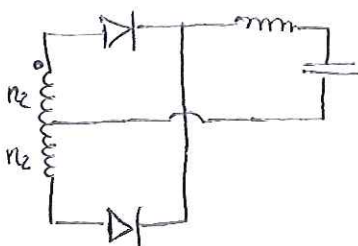
PUENTE COMPLETO



Se utiliza para altas potencias.

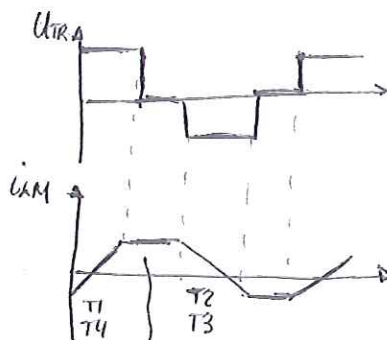
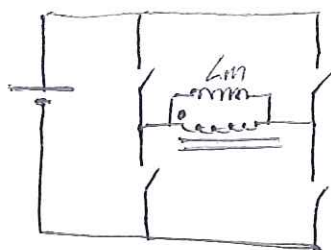


Otro secundario posible sería:



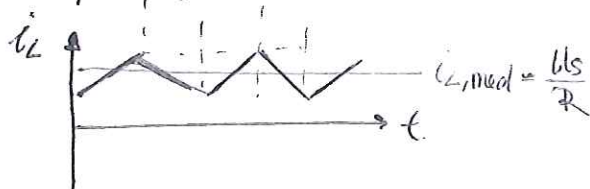
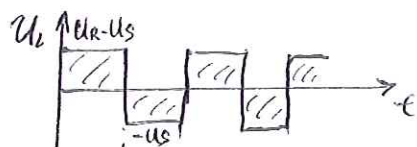
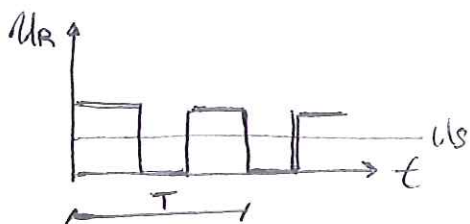
- Este es más caro (más cobre)
- pero tiene menos pérdidas (sobrepasa por un diodo).

Si en el puente completo tenemos en cuenta L_m :



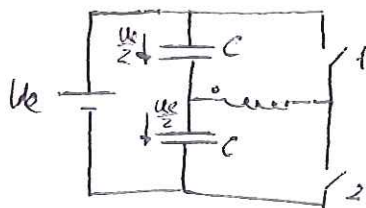
$$\begin{cases} U_{Tmax} = U_e \\ I_{T,med} = \frac{P_s}{2U_e} \end{cases}$$

(mitad I en cada rama)



La frecuencia de salida es el doble que la de entrada $\Rightarrow$ mejor rizado de corriente que en los CC/CC sin aislamiento. $\Rightarrow$ mitad de tamaño para la bobina.

MEDIO PUNTE



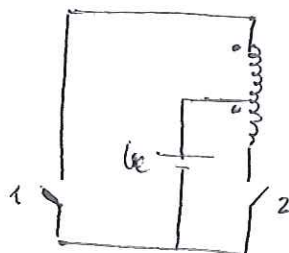
$$U_s = \frac{n_2}{n_1} U_e \cdot d$$

$$U_{Tmax} = U_e$$

$$I_{T,med} = \frac{P_s}{U_e}$$

Sólo hay 2 interruptores que soportan la misma tensión pero soportan más corriente.

PUSH-PULL



$$U_s = 2 \cdot \frac{n_2}{n_1} U_e \cdot d$$

$$U_{Tmax} = 2U_e$$

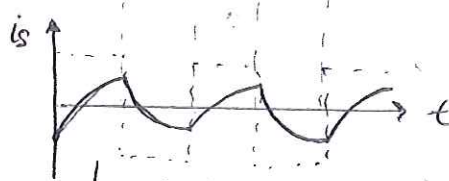
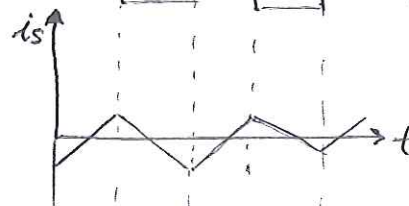
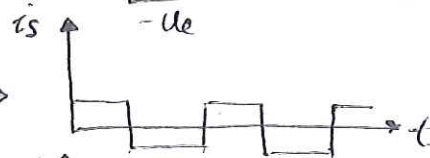
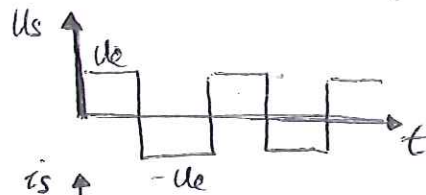
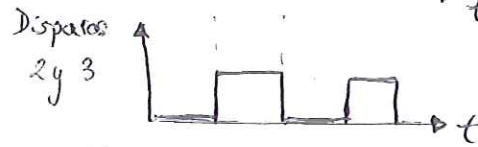
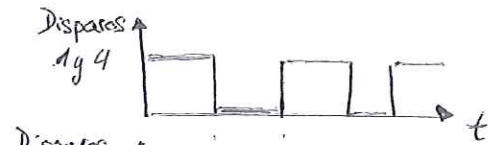
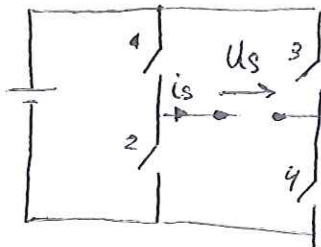
$$I_{T,med} = \frac{P_s}{2U_e}$$

Sólo hay dos interruptores que soportan la mitad de intensidad pero el doble de tensión.

INVERSORES

Son como los últimos convertidores vistos pero sin secundario (salvo el push-pull, que si necesita un secundario pero sin rectificador).

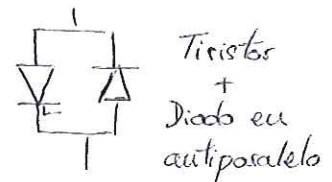
* PUENTE COMPLETO



→ Cambia de signo en un mismo tramo. ⇒

⇒ No se puede poner únicamente un tiristor. Habría que poner:

También se podría poner un MOSFET (ya lleva el diodo) es bidireccional



La tercera opción es poner un IGBT, al que hay que ponerle un diodo en antiparalelo, ya que es unidireccional.

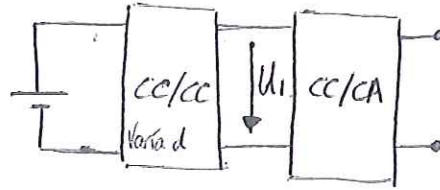


* ¿Cómo regular U_s ?

Si hubiese tramos sin ningún interruptor disparado, en ese instante SI habría tensión (conducen los diodos y la bobina) $\Rightarrow$ No se puede regular variando el ciclo de trabajo (salvo que la carga sea resistiva).

Para regular:

* Insertar un convertidor CC/CC delante

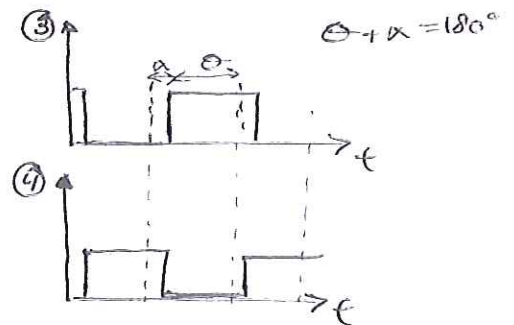
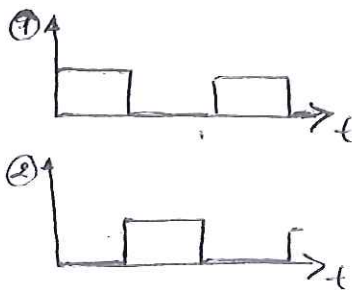
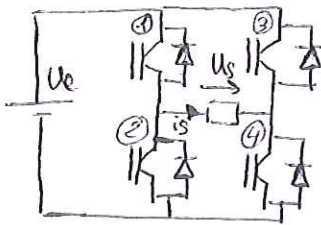


* Fase desplazada $\rightarrow$ Sólo se puede utilizar con el puente completo.

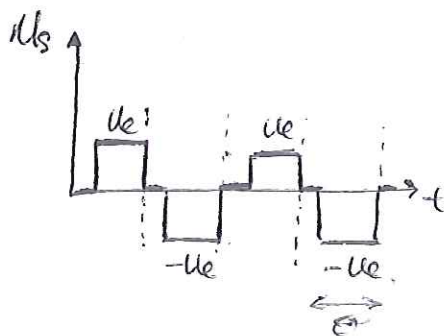
* PWM (Pulse Width Modulation) Muy alta frecuencia.

FASE DESPLAZADA

Se utiliza sólo con puente completo

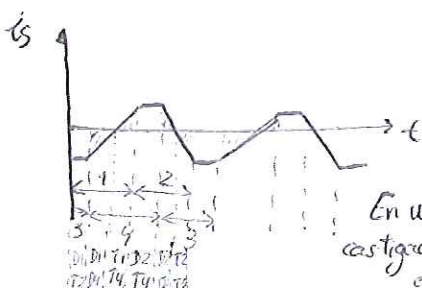


Cuando conducen 1 y 3 la tensión de salida vale U_e .
Cuando conducen 2 y 4 la tensión de salida vale $-U_e$.

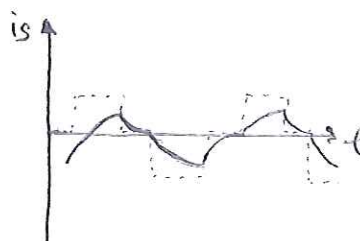


Se regula variando α .
(α = ángulo de disparo.)

Carga inductiva pura



Carga R-L

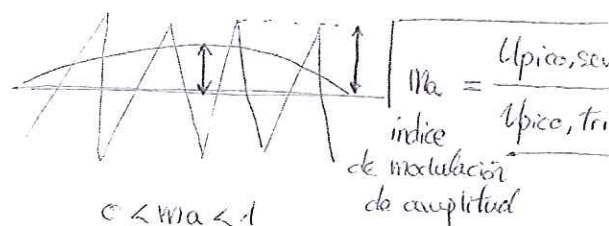
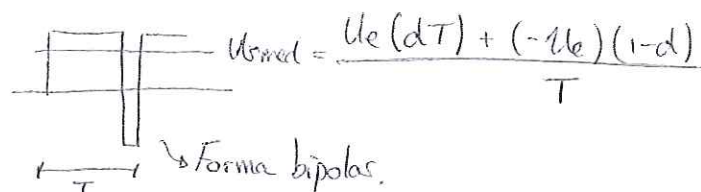
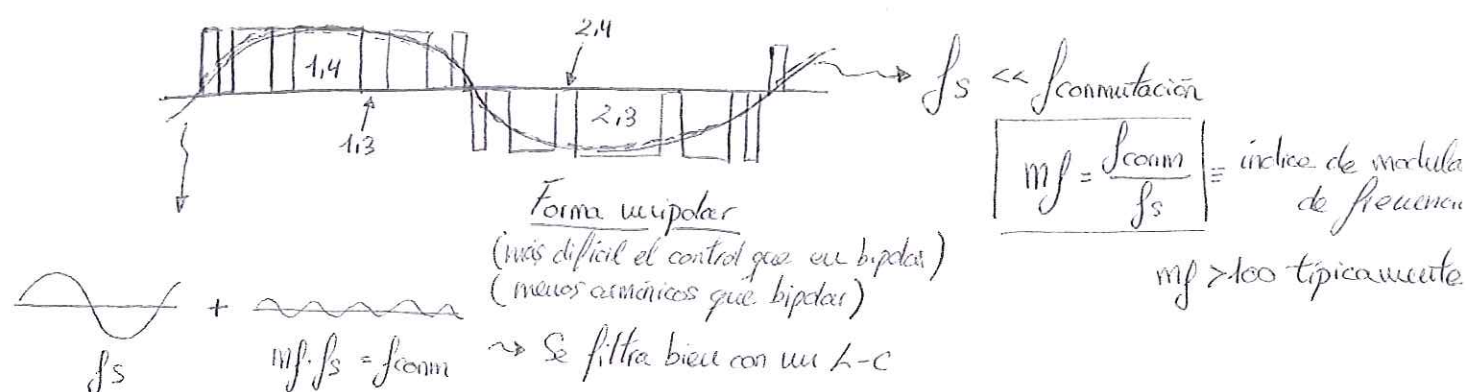


En una rama están más castigados los tiristores y en otra los diodos.

Un filtro LC en este caso no es muy útil para mejorar la alterna.
Para ello se utiliza el PWM (Pulse width Modulation)

PWM

La frecuencia de conmutación de los interruptores es mucho mayor que la de la onda de salida. $\Rightarrow \uparrow$ Pérdidas $\Rightarrow \downarrow$ Rendimiento.

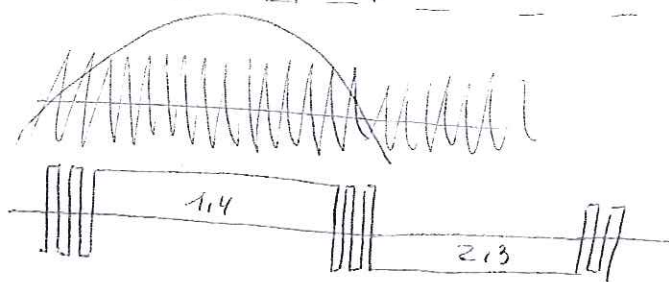


- Si $m_a > 1$, todo el tiempo que $U_{scu} > U_{tri}$ estarán dados 1 y 4 y no habrá conmutaciones durante todo ese tiempo (sobremodular)

En este caso salen armónicos múltiplos de la frecuencia de salida (malo).

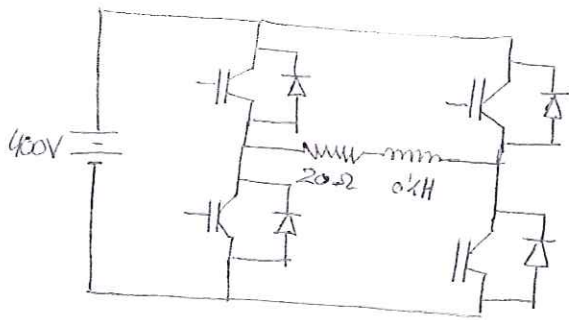
Si $m_a \leq 1$ el valor eficaz máximo ($m_a = 1$) sería $\frac{400}{\sqrt{2}}$ V (Entrada 400V)

Si $m_a \gg 1$ sobremodulando se podría llegar a dar 400V eficaces = U_e

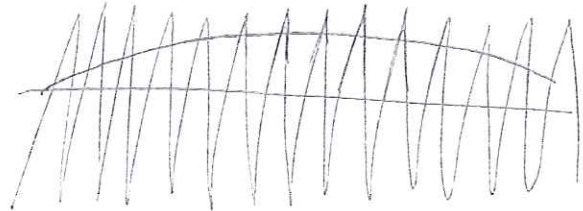


Problema 7.19.

PWM bipolar $f_s = 100 \text{ kHz}$ $m_a = 0.5$ $m_f = 200$.



$$f_s \cdot m_f = 20 \text{ kHz}$$



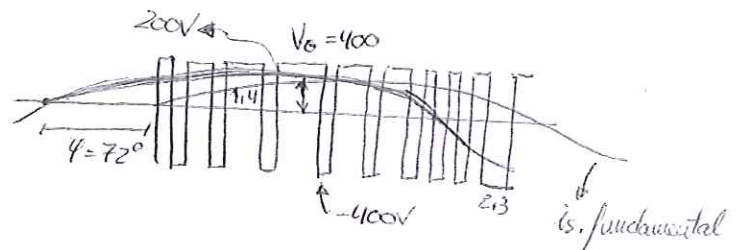
2) Pruebas armónico de la corriente por la carga?

$$Z = 66 \Omega \quad I = \frac{V}{Z} = 3 \text{ A}$$

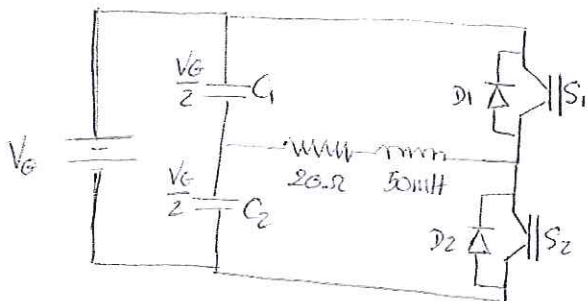
$$\phi = 72^\circ$$

$$Z_{20 \text{ kHz}} = \sqrt{20^2 + (2\pi \cdot 20000)^2 \cdot 0.4^2} \rightarrow \text{Da una } I_{20 \text{ kHz}} \text{ muy pequeña} \rightarrow \text{despreciable.}$$

1)



Problema 7.2.

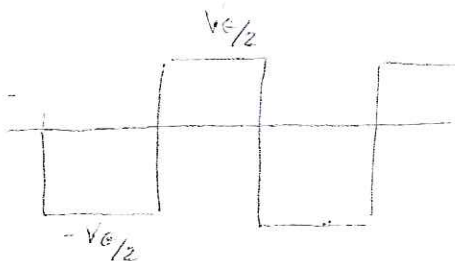


Se genera una onda cuadrada de 100Hz

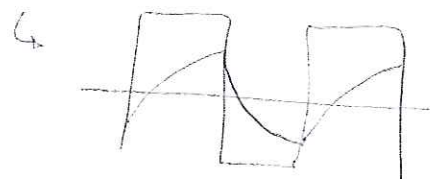
$$0 \leq t \leq T/2 \rightarrow S_1 \text{ ON } S_2 \text{ OFF}$$

$$T/2 \leq t \leq T \rightarrow S_1 \text{ OFF } S_2 \text{ ON}$$

1)



2 formas $\rightarrow$ Rég. sinusoidal. permanente (armónicos)
Ec. diferencial



GESTIÓN TÉRMICA

Temperatura máxima Silicio $\approx 150^{\circ}\text{C}$

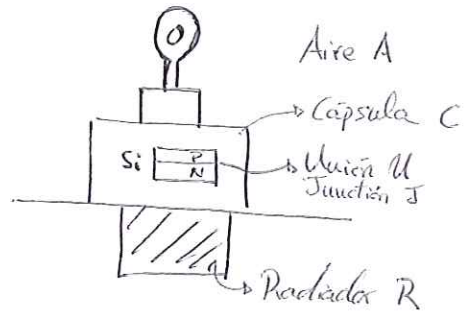
Ahora SiC $\rightarrow T_{\text{máx}} \approx 300^{\circ}\text{C}$.

* Régimen continuo

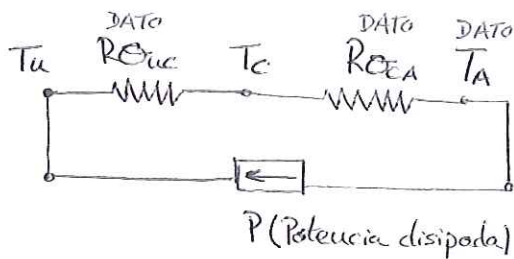
* Régimen pulsante

- Alta frecuencia
- Baja frecuencia

* Escalon único.



Circuito eléctrico equivalente.



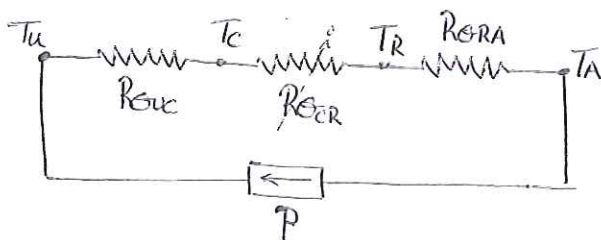
$$T_J = T_A + P R_{\theta_{JC}} + P R_{\theta_{CA}}$$

$\downarrow$ 0.5°C/W $\downarrow$ 50°C/W

Si $T_J < T_{J,\text{MAX}} \approx 150^{\circ}\text{C}$ OK

Si $T_J > T_{J,\text{MAX}} \rightarrow$ Power radiador + Ventilador
Refrigerador agua
aceite

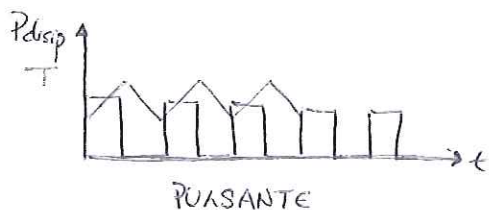
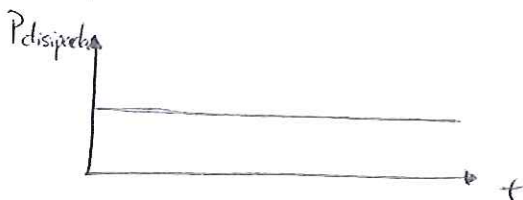
CON RADIADOR



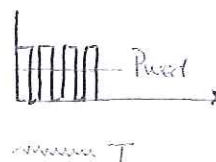
$$T_J = T_A + R_{\theta_{RA}} \cdot P + R_{\theta_{CR}} \cdot P + R_{\theta_{JC}} \cdot P$$

$\downarrow$ $\downarrow$ $\downarrow$
 DATO Incógnita Incógnita

Ejemplo.



$\rightarrow$ Si $\uparrow \uparrow \uparrow$



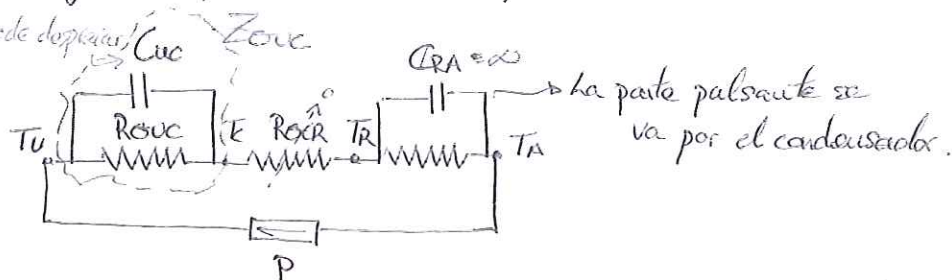
Similar a P continua

Lo que interesa es T_{MAX} , no T_{media}

HAY QUE SUSTITUIR $R_{\theta_{JC}}$ POR $Z_{\theta_{JC}}(d, t)$

En régimen pulsante habría que tener en cuenta la inercia térmica

Se puede dibujar:



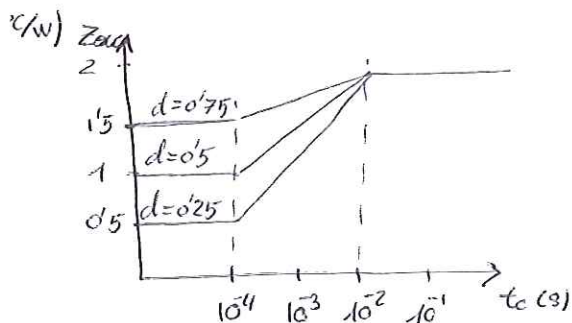
$$T_J = T_A + R_{JA} \cdot P_{MED} + R_{JC} \cdot P + Z_{thJC} \cdot P_{MAX}$$

Para régimen pulsante
de baja frecuencia
($< 100 \text{ kHz}$)

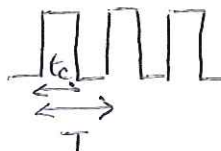
Hay una gráfica para Z_{thJC} . Para valores altos de t_i , la impedancia térmica es igual para diferentes ciclos de trabajo porque la frecuencia es baja y ya se ha alcanzado la T_{MAX} .

Para el escalón único se puede usar lo de reg pulsante si es un pulso o de frma continua si se mantiene.

Problema.



$$d = \frac{t_c}{T}$$



Calcular y razonar tamaño del radiador

- CC 5A
- Pulsos $d = 0.5$ y $f = 100 \text{ kHz}$
- " $d = 0.25$ y $f = 100 \text{ kHz}$
- " $d = 0.5$ y $f = 100 \text{ Hz}$
- " $d = 0.25$ y $f = 100 \text{ Hz}$

El peor es el a)

El mejor es el c)

El segundo peor es el d)

Entre e) y b) habría que calcular.

$$T_U = T_A + R_{\theta RA} P_{MED} + Z_{\theta UC} P_{MAX}$$

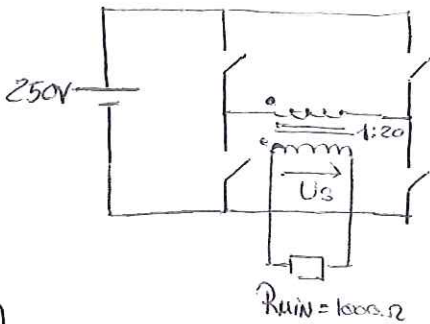
b) $Z_{\theta UC} = 1 \text{ } ^\circ\text{C/W}$; $P_{MAX} = 5 \cdot U_{AK}$; $P_{MED} = \frac{5U_{AK}}{2}$

$$\rightarrow \Delta T_U = R_{\theta RA} \cdot \frac{5U_{AK}}{2} + 1 \cdot 5 \cdot U_{AK}$$

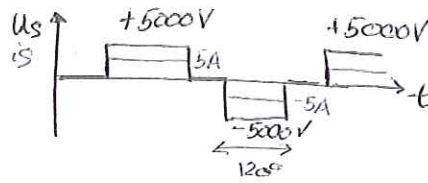
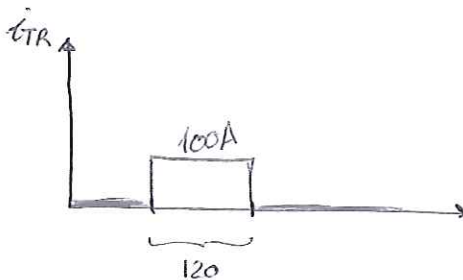
e) $Z_{\theta UC} \approx 14$

$$\rightarrow \Delta T_U = R_{\theta RA} \cdot \frac{5U_{AK}}{4} + 14 \cdot 5 \cdot U_{AK}$$

Problema. Junio 2006. Problema 1.



a)



$$R_{\theta UC} = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

$$T_{U, MAX} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_A = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

a) Elegir el mayor dispositivo (menores pérdidas)

- MOSFET $R_{ds} = 100 \text{ m}\Omega \rightarrow P = R \cdot I_{eff}^2$

- IGBT $U_{CE/SAT} = 3V \rightarrow U \cdot I_m = P$

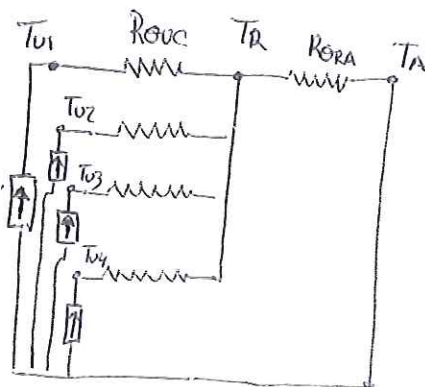
b) Calcular $R_{\theta RA}$ si todos los semiconductores se montan en el mismo

$$\left. \begin{array}{l} R_{\theta UC} = 0.2 \text{ } ^\circ\text{C/W} \\ T_{U, MAX} = 150^\circ \\ T_A = 30^\circ \end{array} \right\}$$

$$P_{MOSFET} = 333 \text{ W}$$

$$P_{IGBT} = 100 \text{ W} \rightarrow \underline{\underline{MEJOR}}$$

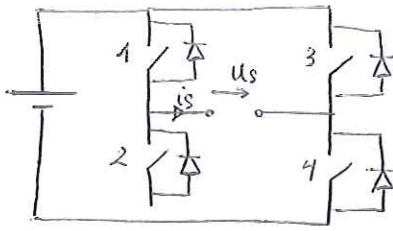
b)



$$T_U = T_A + R_{\theta RA} \cdot 4 \cdot P + R_{\theta UC} \cdot P$$

Depende de la frecuencia si se pone P_{MAX} o P_{MED} .

* *Guabarrus inversos*.



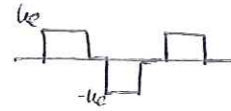
/*DISPAROS Fijos

*FASE DESPLAZADA

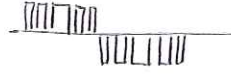
* PWM



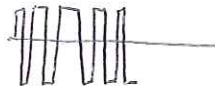
Ab se puede regular
la us



Als regulable



As regulable
Unipolar



Uls reg.
Bipolar.

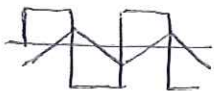
Disparos Libres

- Cargo R



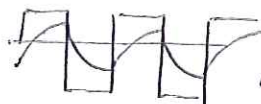
No hanian
falte los
dibos

- carga L



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

- Cargo R+L



EDC

$\xi = \frac{L}{R}$ se compara con el
semiperíodo para ver a
que curva se parece a

Fase desplazada

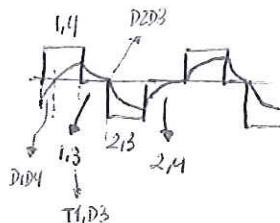
- Carga R



- Carga L

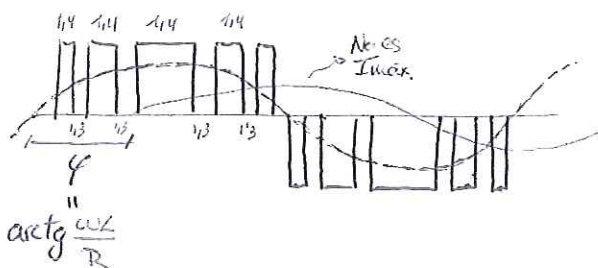


- Carga R + L



En fase desplazada no
están equilibradas las pérdidas en
los tiristres.

PWM



No resolver como las anteriores (muchos ciclos)

Es mejor descomponer en armónicos.

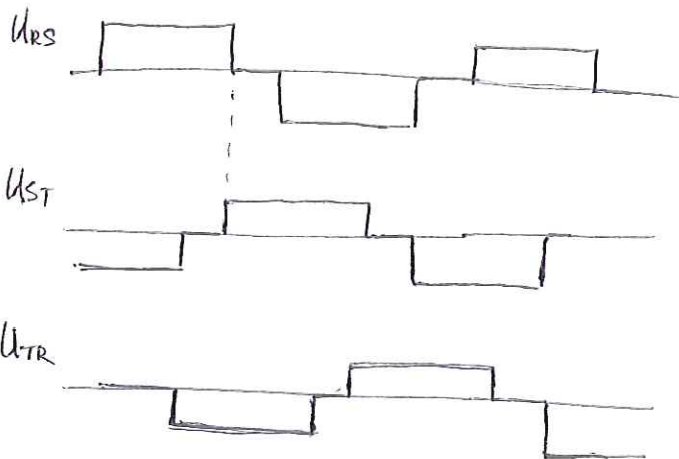
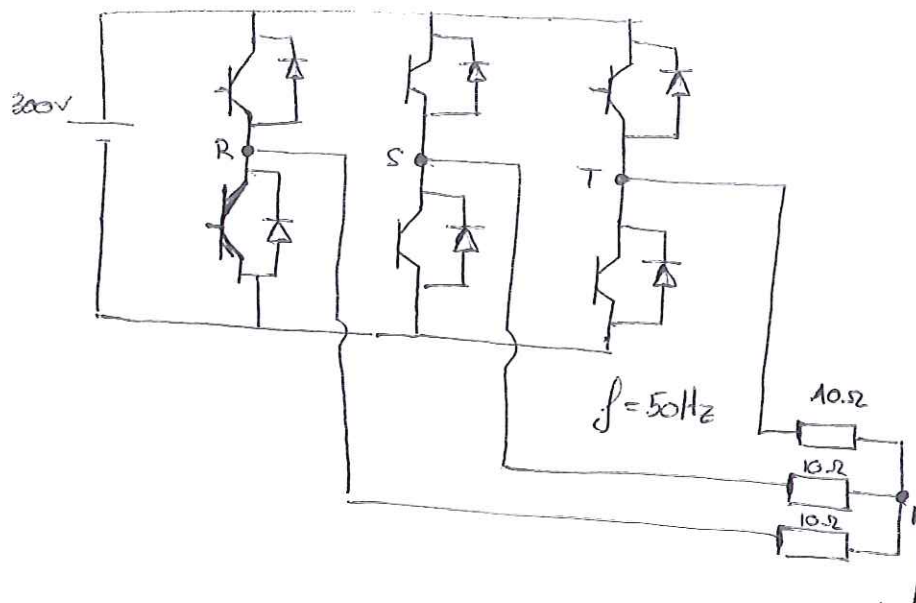
Se aplica ese armónico a la carga que toque, con su ℓ como siempre.

Lo difícil es calcular la $I_{\max}$, que no es el máximo del primer armónico de I .

El Isf por T_3 es fácil (el de la I) El Isf por 4 no es fácil $\rightarrow$ Para hacerlo

Se supone , pero no es exacto, es el de un periodo.

Problema Sept 2006.



U_N
(se saca por superposición)

