

MEMORANDUM  
PRACTICO

ELECTRONICA  
DE POTENCIA



ELOY BELTRAN BELTRAN



## INDICE

Practica 1

1) Circuito lineal

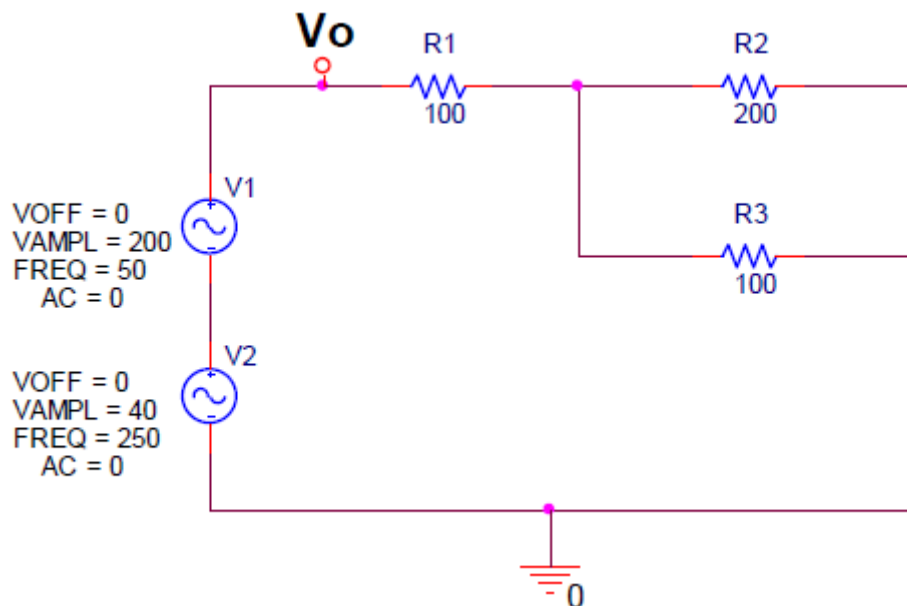
2) Circuito no lineal en conmutacion



# PRACTICA 1



1.1) Se representa el esquema de un circuito eléctrico formado por dos fuentes de tensión senoidales ( $V_{sin}$ ) y una carga resistiva formada por una asociación de tres resistencias.



Practicar la visualización de formas de onda. Para ello visualizar las siguientes formas de onda (emplear varias ventanas de visualización simultáneamente si es necesario):

- a) Tensión aplicada por la fuente V(V1).
- b) Tensión aplicada por la fuente V(V2).
- c) Tensión aplicada a la carga V( $V_o$ ).
- d) Tensión en la resistencia R1.
- e) Tensión en las resistencias R2 y R3.
- f) Corriente por las resistencias R1, R2 y R3.
- g) Ver la forma de onda de la tensión eficaz aplicada a la carga:  $RMS(V(V_o))$ .
- h) **Determinar el valor eficaz de la tensión aplicada a la carga ( $V_o_{RMS}$ )** midiendo su valor en el instante final de un periodo (a los 20ms ó 40ms).
- i) Ver la forma de onda de la corriente eficaz consumida por la carga:  $RMS(I(R1))$ .
- j) **Determinar el valor eficaz de la corriente por la carga ( $I_o_{RMS}$ )** midiendo su valor en el instante final de un periodo (a los 20ms ó 40ms).
- k) **Calcular teóricamente la potencia aparente (S)** como  $V_o_{RMS} * I_o_{RMS}$
- l) Ver la forma de onda de la potencia instantánea consumida por la carga:  $V(V_o) * I(R1)$ .
- m) Representar la potencia activa mediante la Macro AVG.  $AVG(V(V_o) * I(R1))$ .
- m) **Calcular el valor correcto de la potencia activa consumida por la carga ( $P_o$ )** midiendo su valor en el instante final de un periodo (20ms ó 40ms).
- n) Utilizando el comando (botón) FFT, **determinar la frecuencia y amplitud de las componentes de la corriente absorbida por la carga** (con la corriente de carga I(R1) en pantalla aplicar la función FFT).

\*Protocolo: Windows 7

1) Barra Inicio, 2) Todos los programas, 3) Carpeta Cadence, 4) Orcad Capture CIS Lite, (no utilizar Version Lite en los ordenadores del Politecnico, la version Lite no dispone de todos los componentes).

\*Protocolo: OrCAD Capture CIS- Lite 16.6

1) File, 2) New, 3) Project, 4) Poner Nombre y seleccionar Analog or Mixed A/D y OK, 5) Seleccionar Create a blank project y OK, 6) Iconos a la derecha, Place Part:

-Fuente senoidal: VSIN/SOURCE

-Resistencia: R/ANALOG

7) Place Ground 0/CAPSYM y OK, 8) Place wire, 9) Sustituir los valores.

11) Pspice, 12) New Simulation profile, 13) Poner Nombre y OK, si no aparece luego la ventana mirar en la barra de inicio, en los ordenadores de la UPV pasa eso, 14) Run to time o tiempo de la simulacion poner 40 ms, y en Maximum step size o tasa de muestreo poner 20us y OK, 15) Run Pspice.

\*Protocolo SHEMATIC1:

1) Boton derecho Add trace, antes de nada, fijarse en los valores de magnitud, por ello separamos en 2 o tres plots, los valores de la tension y corriente con el comando Add Plot, y para ello hay que fijarse en el eje de ordenadas a la izquierda y ver que aparece SEL>> como plot seleccionado para interactuar con el.

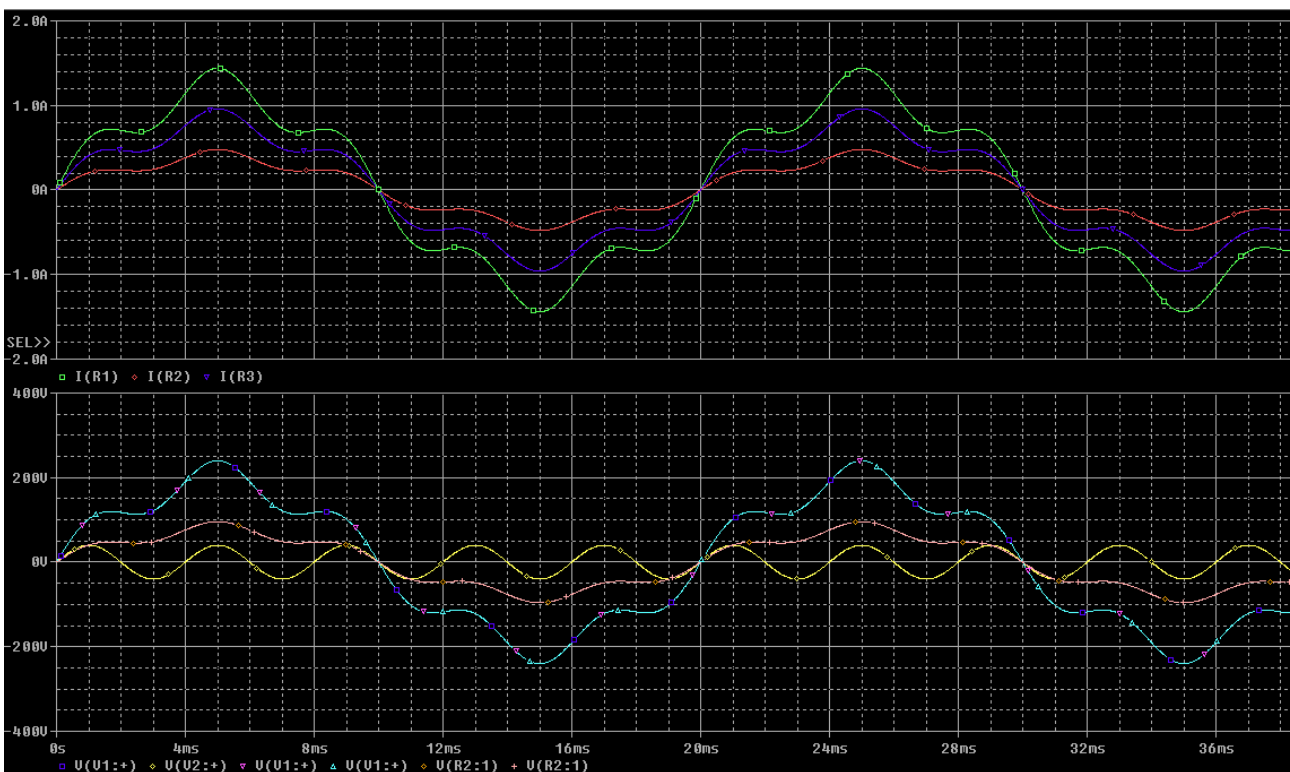
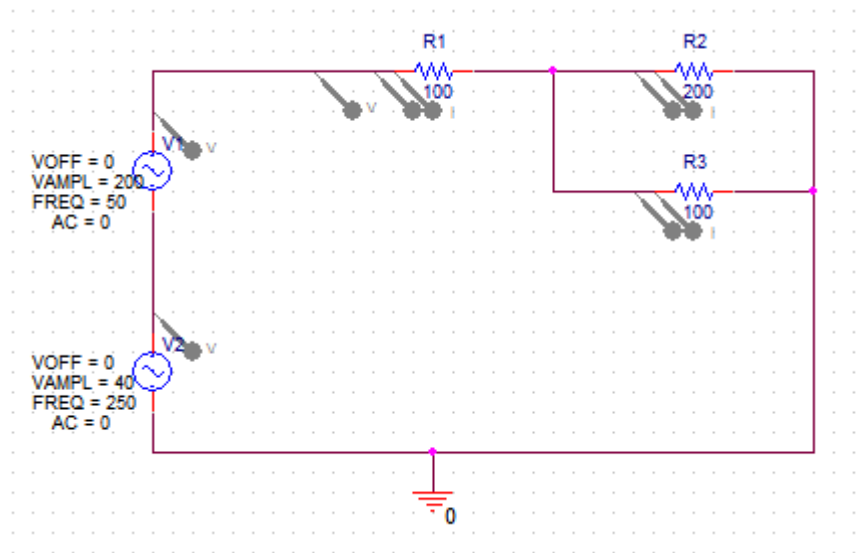
Protocolo: OrCAD Capture CIS Lite :

1) Voltage level marker and current marker.

- a) Tensión aplicada por la fuente V(V1).
- b) Tensión aplicada por la fuente V(V2).
- c) Tensión aplicada a la carga V(Vo).
- d) Tensión en la resistencia R1.
- e) Tensión en la resistencias R2 y R3.
- f) Corriente por las resistencias R1, R2 y R3.

Con el comando Add trace:

- a) V(V1:+) Azul Oscuro
- b) V(V2:+) Amarillo
- c) V(V1:+) Rosa
- d) V(V1:+) Cian
- e) V(R2:1) y V(R2:1) Naranja y rosa claro
- f) I(R1), I(R2) y I(R3) Verde claro, Rojo rosa, y azul claro pastel.

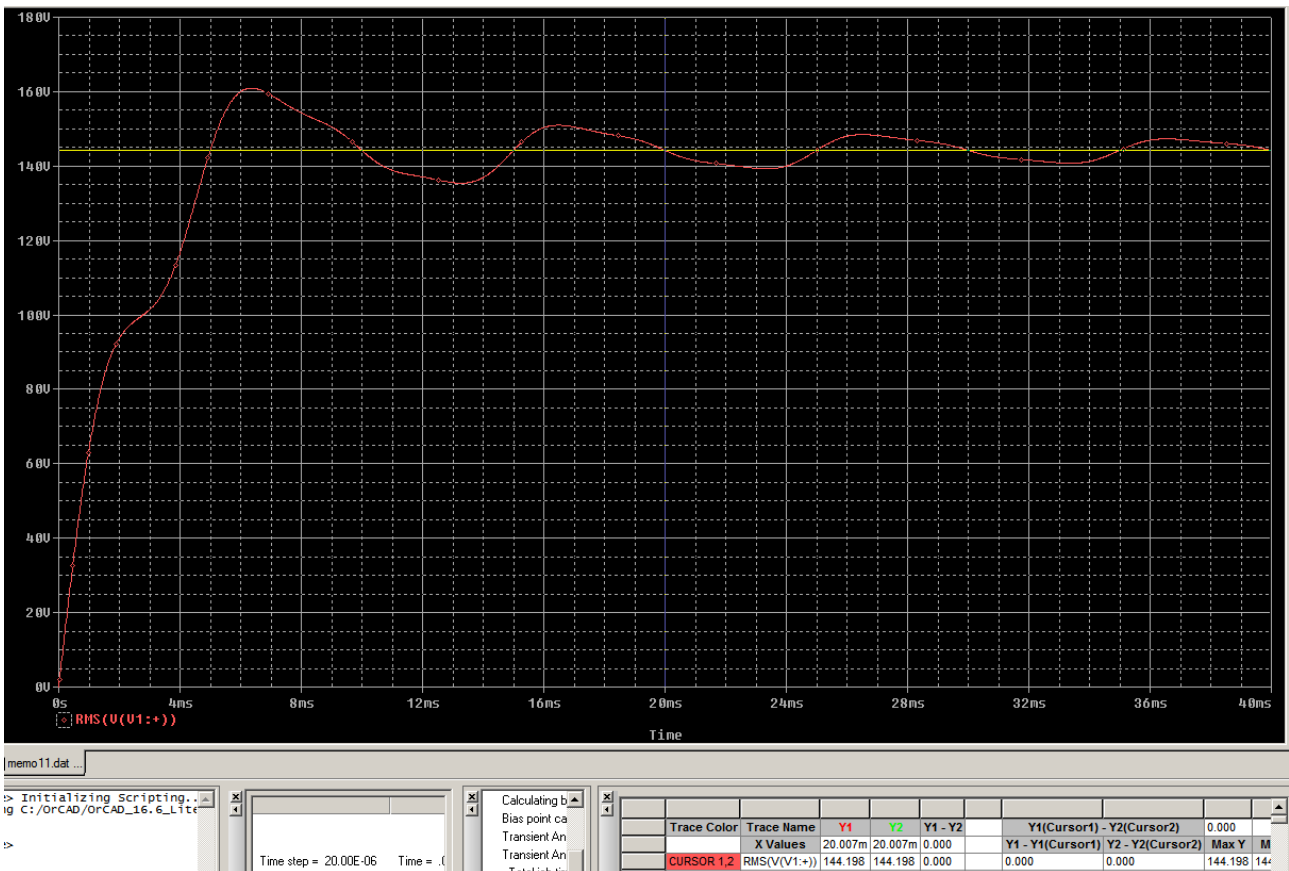


g) Ver la forma de onda de la tensión eficaz aplicada a la carga:  $RMS(V(Vo))$ .

Para ello en Add trace , la tensión en la carga era  $V(V1: +)$ , a mano derecha en funciones Ponemos la tensión dentro de los parentesis de la función RMS.



h) Determinar el valor eficaz de la tensión aplicada a la carga ( $V_{o\_RMS}$ ) midiendo su valor en el instante final de un periodo (a los 20ms ó 40ms).

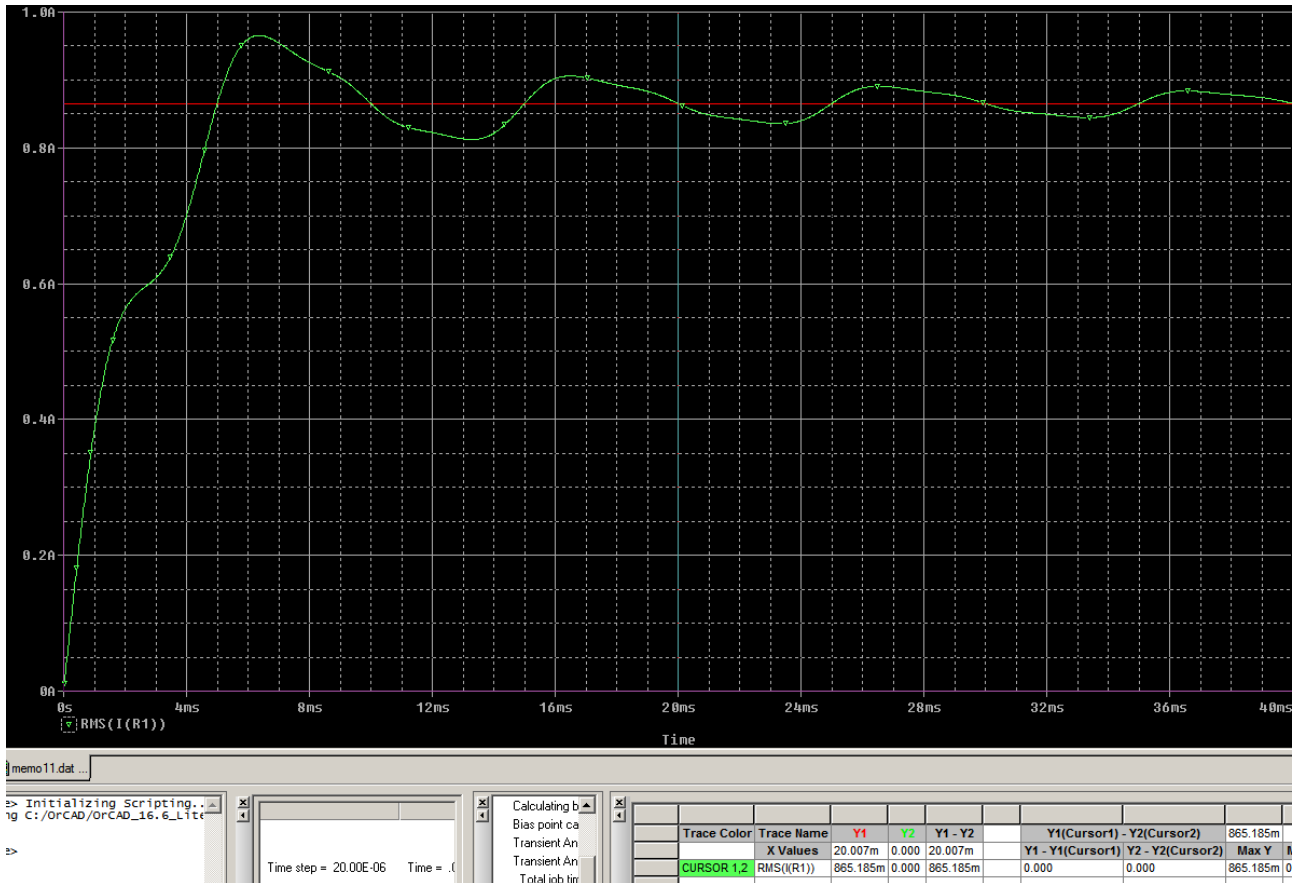


Para calcular su valor a los 20ms, se utiliza un icono donde hay una flecha blanca que pone toggle cursor, y con los botones izquierdo y derecho del mraton se fija una a 20ms, y se observa la medida en el recuadro inferior derecho donde en X values tienes

el tiempo y abajo la magnitud para dicho tiempo.

Donde para 20ms son 144,198V.

i) Ver la forma de onda de la corriente eficaz consumida por la carga:  $RMS(I(R1))$ .



j) Determinar el valor eficaz de la corriente por la carga ( $I_{o\_RMS}$ ) midiendo su valor en el instante final de un periodo (a los 20ms ó 40ms).

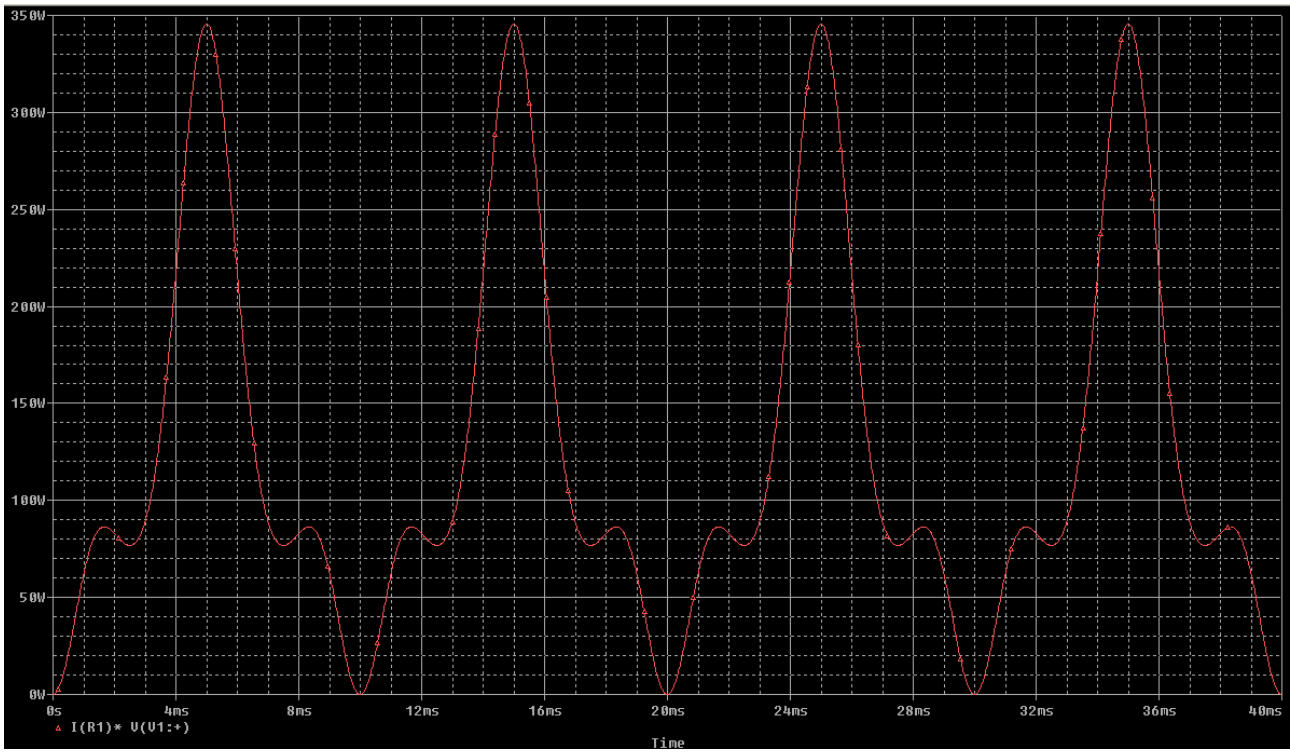
20ms su valor es 865,185mA

k) Calcular teóricamente la potencia aparente (S) como  $V_{o\_RMS} * I_{o\_RMS}$

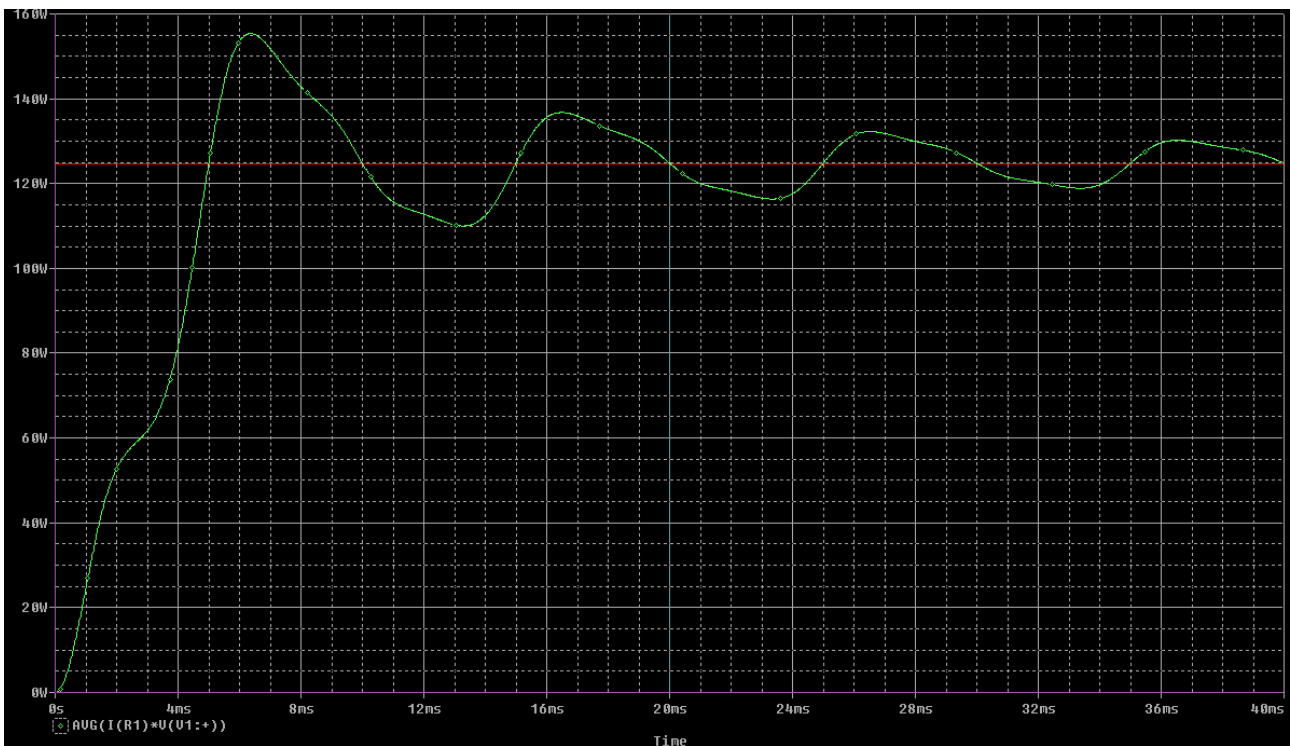
$$S = I * V = 144,198 * 0,865 = 124,758VA$$

l) Ver la forma de onda de la potencia instantánea consumida por la carga:  $V(V_0) * I(R1)$ .

La tensión que pasa por la carga, al igual que la corriente, son cogidas a la entrada de R1. Por tanto la instantánea es  $V(V1:+) * I(R1)$



m) Representar la potencia activa mediante la Macro AVG.  $AVG(V(Vo)*I(R1))$ .



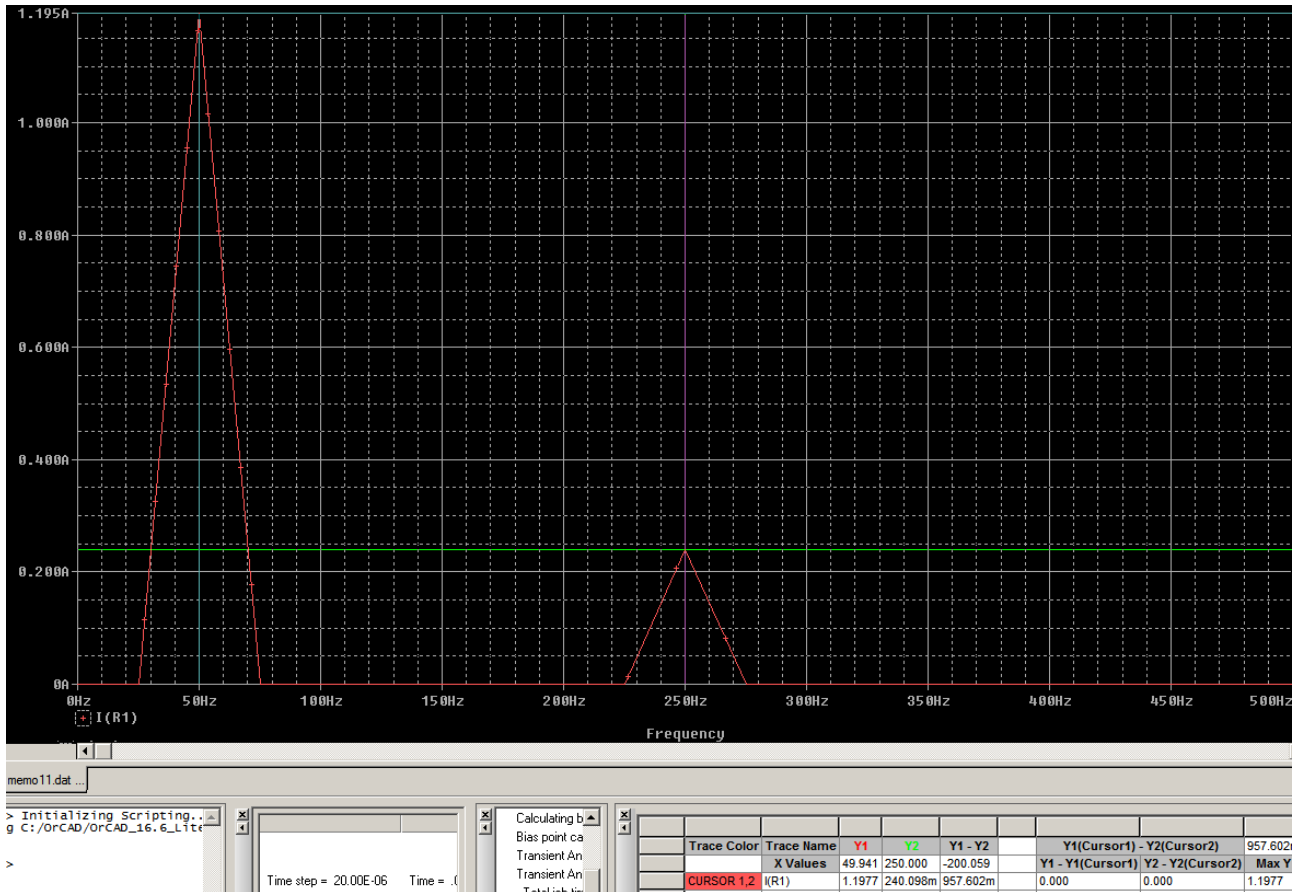
Trace Color	Trace Name	Y1	Y2	Y1 - Y2	Y1(Cursor1) - Y2(Cursor2)	124.758	
	X Values	20.007m	0.000	20.007m	Y1 - Y1(Cursor1)	Y2 - Y2(Cursor2)	Max Y
CURSOR 1.2	AVG(I(R1)*U(U1:+))	124.758	0.000	124.758	0.000	0.000	124.758

m) Calcular el valor correcto de la potencia activa consumida por la carga ( $P_o$ ) midiendo su valor en el instante final de un periodo (20ms ó 40ms).

$AVG(I(R1) * V(V1:))$  para 20ms son 124,758W según grafica

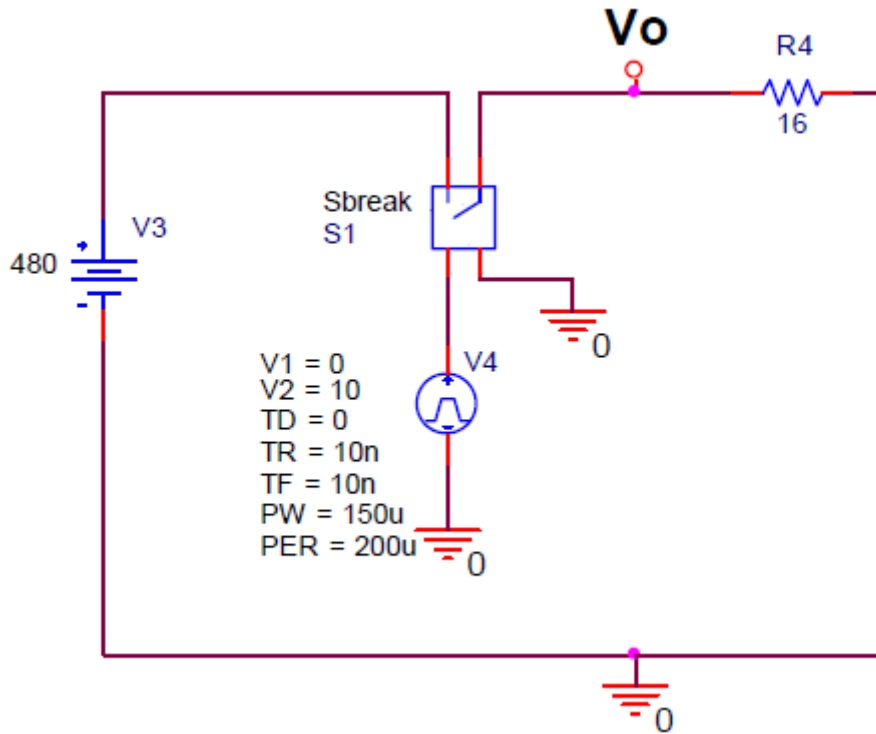
n) Utilizando el comando (botón) FFT, **determinar la frecuencia y amplitud de las componentes de la corriente absorbida por la carga** (con la corriente de carga I(R1) en pantalla aplicar la función FFT).

Add trace I(R1) y luego apretamos el boton FFT.



En el Dominio de la frecuencia se observan 50 Hz una componente fundamental de amplitud 1,2Amperios aproximadamente, y el tercer armónico a 250Hz con una amplitud de 240,091mA.

1.2) Se representa el esquema de un circuito eléctrico formado por una fuente de tensión continua (VDC), un interruptor ideal controlado (SBREAK) y una carga resistiva (R). El control del interruptor se implementa mediante una fuente de pulsos (VPULSE). La fuente de pulsos se va a configurar para que el interruptor conmute a una frecuencia de 5 KHZ ( $T=200\mu s$ ) y tenga un ciclo de trabajo del 75%. Por lo tanto, el tiempo de ON del interruptor ó ancho de pulso, PW (pulse with), será de  $T*0.75 = 150 \mu s$ .



Realizar una simulación transitoria (Transient Analysis) del circuito, con las siguientes características:

- Tiempo final (Run to time): 800  $\mu s$ .
- Máximo escalón (Maximum step size): 1  $\mu s$

**\*Realizar las siguientes medidas:**

- a) Ver la forma de onda de la tensión en la carga  $V(V_o)$ . Mediante la función FFT observar el espectro armónico de  $V_o$ . Determinar la amplitud y frecuencia de las tres primeras componentes de  $V_o$ .
- b) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la tensión de carga  $AVG(V(V_o))$ . Medir el valor en el instante final de un periodo (200  $\mu s$  ó 400  $\mu s$  ó...),  $V_o(AV)$ . Comprobar que el valor obtenido es igual a la amplitud de la primera componente de  $V_o$  que se ha medido en el punto anterior. ¿Por qué?
- c) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la corriente de carga  $AVG(I(R4))$ . Medir el valor en el instante final de un periodo,  $I_o(AV)$ .

d) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor eficaz de la corriente de carga  $RMS(I(R4))$ . Medir el valor en el instante final de un periodo,  $I_o(RMS)$ .

e) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la potencia en la carga  $P_o$   $AVG(V(Vo)*I(R4))$  y de la potencia entregada por la fuente de entrada ( $P_i$ ).  $AVG(-V(V3+)*I(V3))$ .

f) Medir el valor al final de un periodo,  $P_o$

g) Medir el valor al final de un periodo,  $P_i$

h) Calcular el rendimiento del convertidor,  $\eta = P_o / P_i$

i) Calcular teóricamente las pérdidas como,  $P_p = P_i - P_o$

¿Dónde se disipa la potencia  $P_p$ ?

j) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda de la potencia aparente de entrada,  $RMS(V(V3:))*RMS(I(V3))$ .

k) Medir su valor al final de un periodo,  $S_i$ .

l) Calcular de forma teórica el factor de potencia de entrada,  $F_{Pi} = P_i/S_i$ .

## Protocolo Orcad Capture CIS Lite:

### 1)Place Part

- Interruptor ideal controlado (semiconductor)= Sbreak/BREAKOUT.
- Fuente de pulsos = VPULSE/SOURCE.
- Fuente de tension continua VDC.

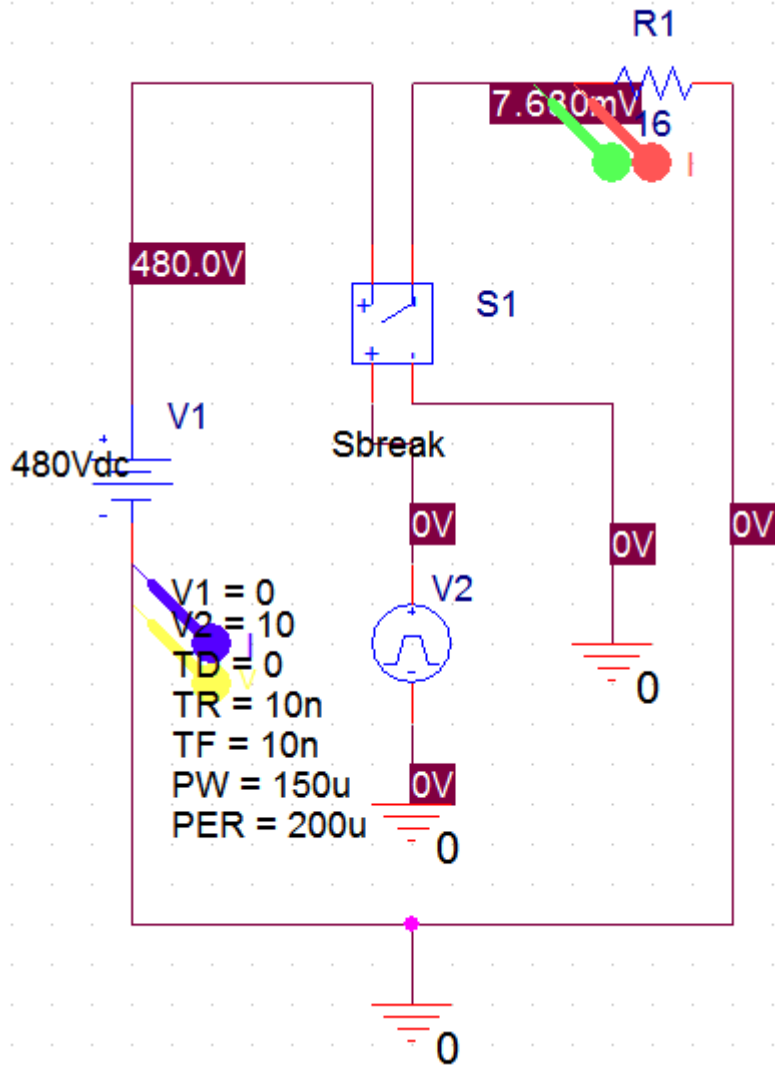
2)Con el boton derecho del raton al pulsar sobre el elemento se puede rotar pulsando Rotate.

3)Una vez todo interconectado decir que en los valores de la fuente de pulsos, TR es Time Rise, tiempo de subida , y TF, Time Fall, Tiempo de bajada. Como el ciclo de trabajo esta al 75% PW= 150us de 200us.

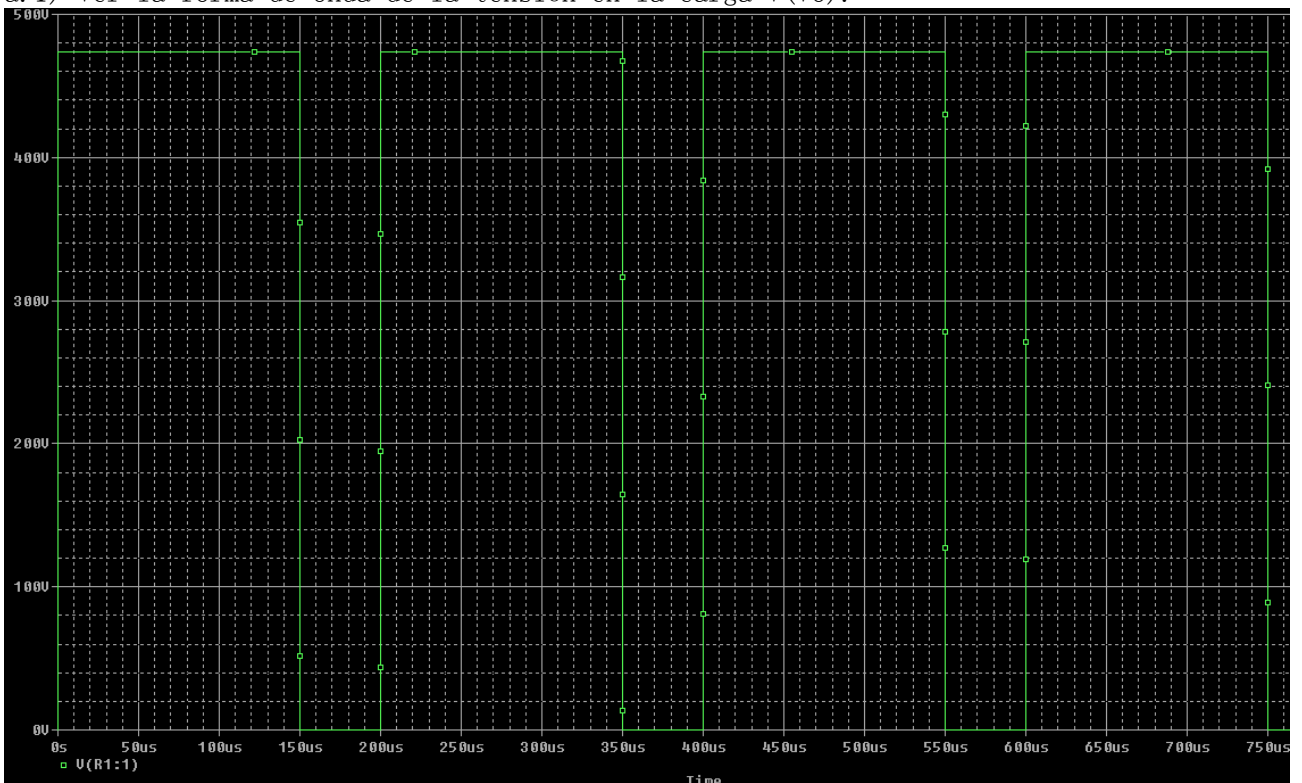
4)Para cambiar los valores al semiconductor Sbreak, se tiene que seleccionar con el boton izquierdo del raton, una vez tornado rosa, se vuelve a hacer click con el boton, pero esta vez derecho, y aparece Edit Pspice Model. Y en las variables se sustituyen Ron=0.2. Y se pulsa el icono del diskete pa guardar y se cierra la ventanita con la x.

5) Pspice New profile simulation, le pones el nombre, Ok, y ponemos tiempo de la simulacion 800us y la tasa de muestreo 1us. Le damos a Run Pspice, es decir, asimilar, y ahora ponemos los medidores marcadores.

Segun los apartados que nos piden , medimos tension y corriente a la entrada de la resistencia o la carga, y tension y corriente a la salida de la fuente para saber la potencia de entrada, pero , para medir la corriente y la tension se hace en el lado negativo de la fuente, puesto que la representacion seria negativa, ademas , despues del simbolo de la fuente nos aparece en rojo, despues es donde se puede medir, porque en el otro lado no aparece, y por tanto indica que por el otro lado los valores van a ser negativos.

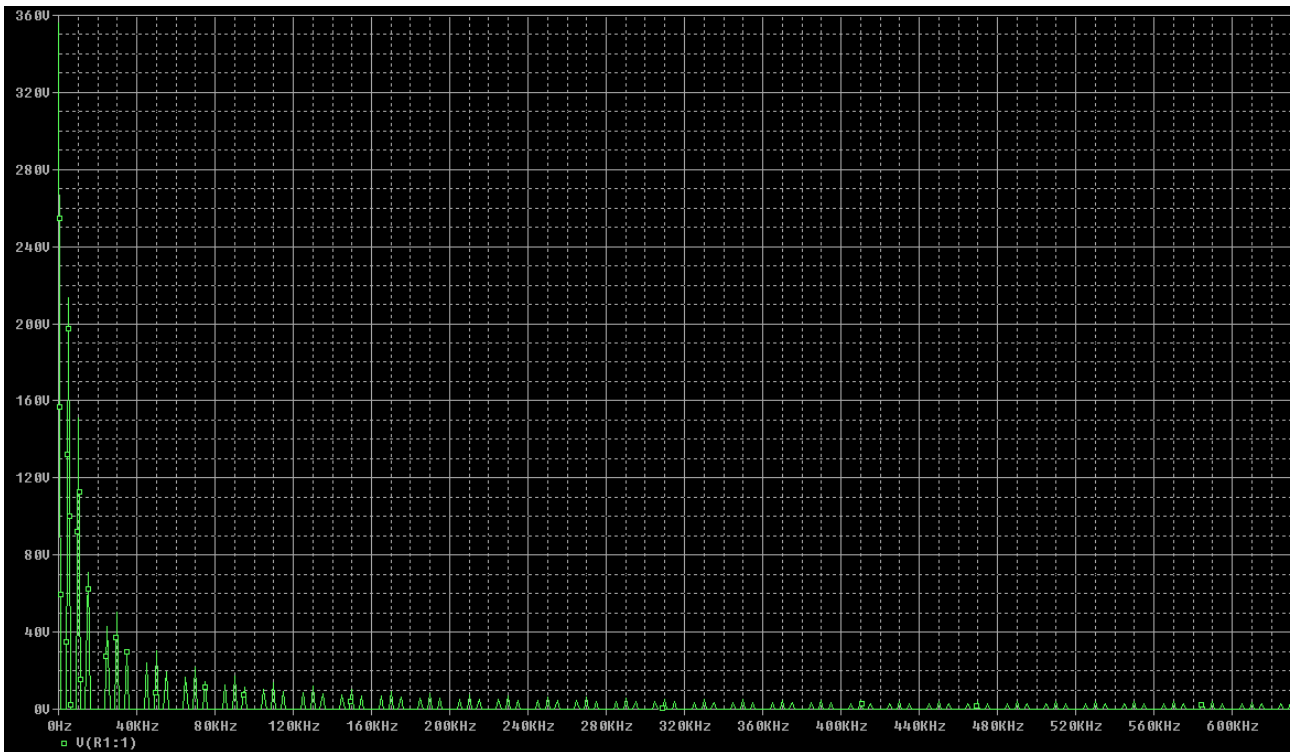


a.1) Ver la forma de onda de la tensión en la carga V(Vo).

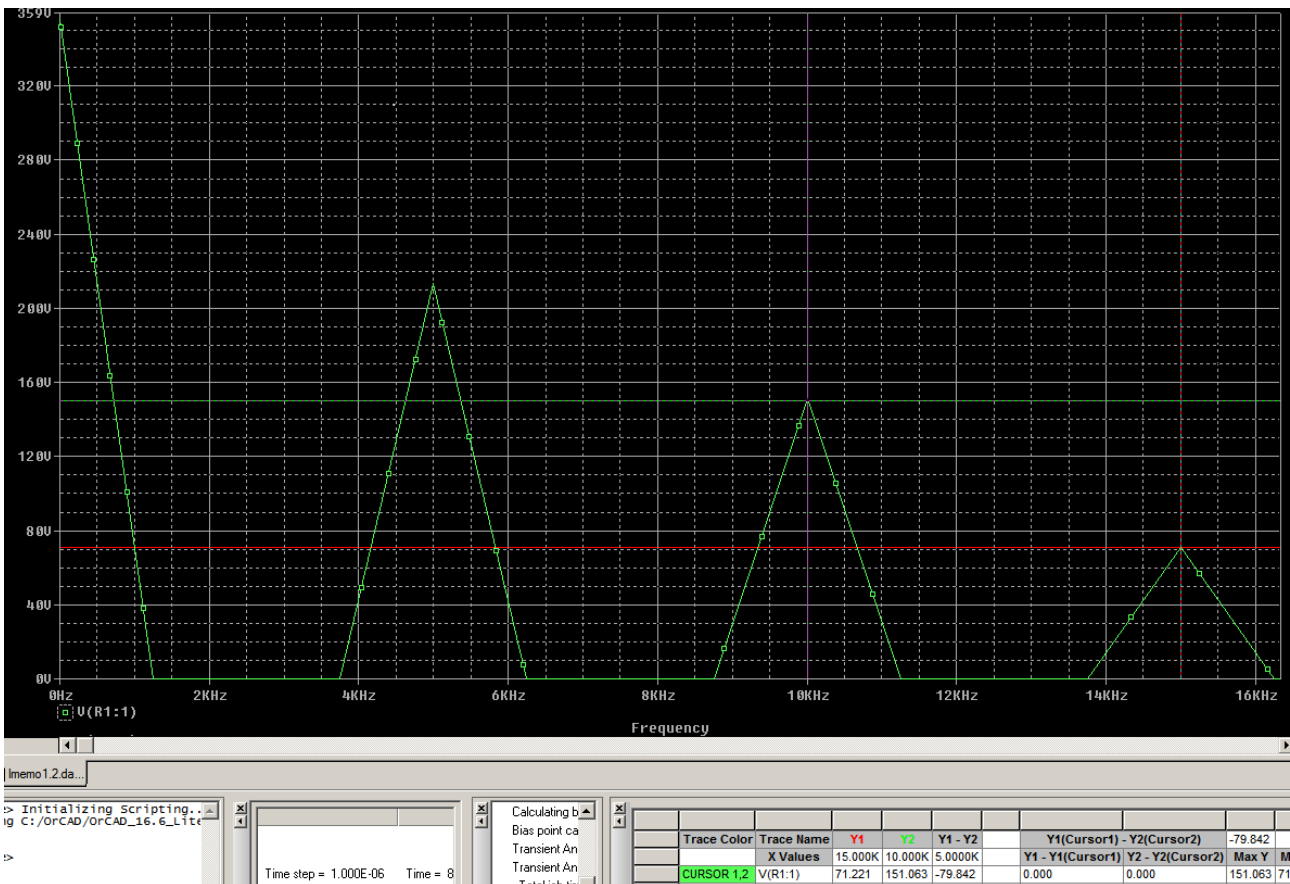


Add trace V(R1:1)

a.2) Mediante la función FFT observar el espectro armónico de Vo.

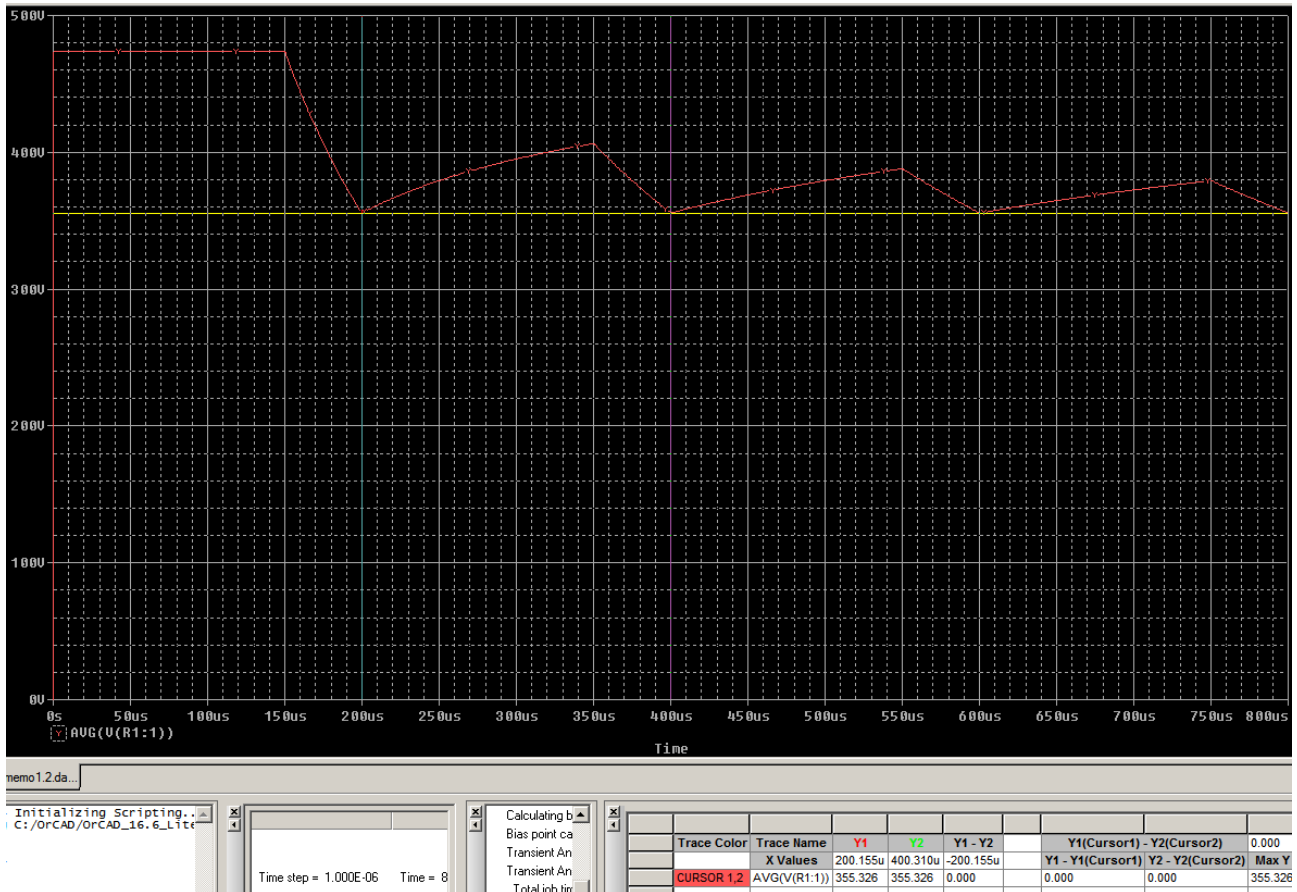


a.3) Determinar la amplitud y frecuencia de las tres primeras componentes de Vo.



la primera de 50Hz tiene una amplitud de 355,905V  
 la segunda de 5kHz tiene una amplitud de 212,84V  
 la tercera de 10kHz tiene una amplitud de 151,063V  
 la cuarta de 15kHz tiene una amplitud de 71,221V

b.1) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la tensión de carga  $AVG(V(V_o))$ .



b.2) Medir el valor en el instante final de un periodo (200u ó 400u ó...),  $V_o(AV)$ .  
 Comprobar que el valor obtenido es igual a la amplitud de la primera componente de  $V_o$  que se ha medido en el punto anterior. ¿Por qué?

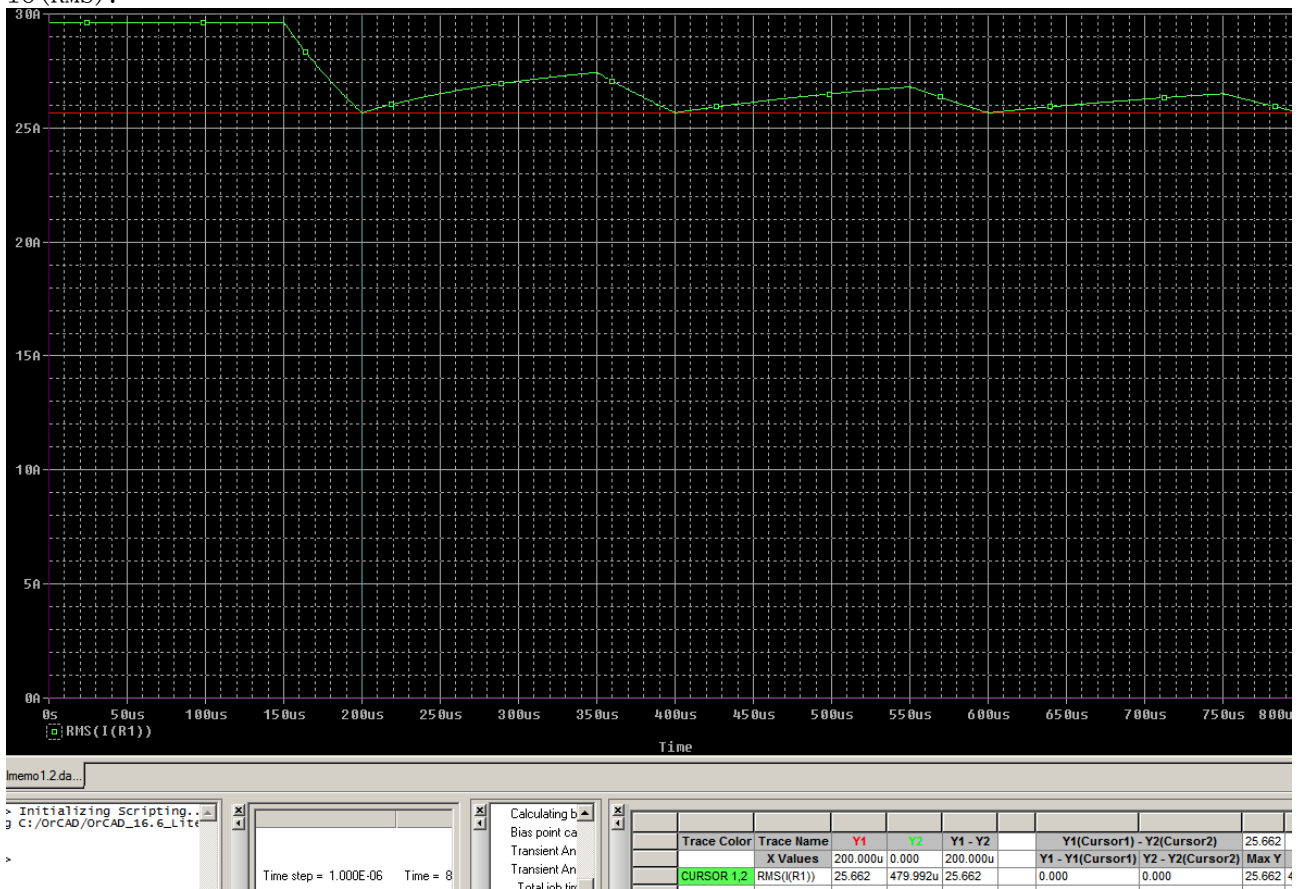
El valor es 355,326V, y es igual porque ...

c) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la corriente de carga  $AVG(I(R4))$ . Medir el valor en el instante final de un periodo,  $I_o(AV)$ .



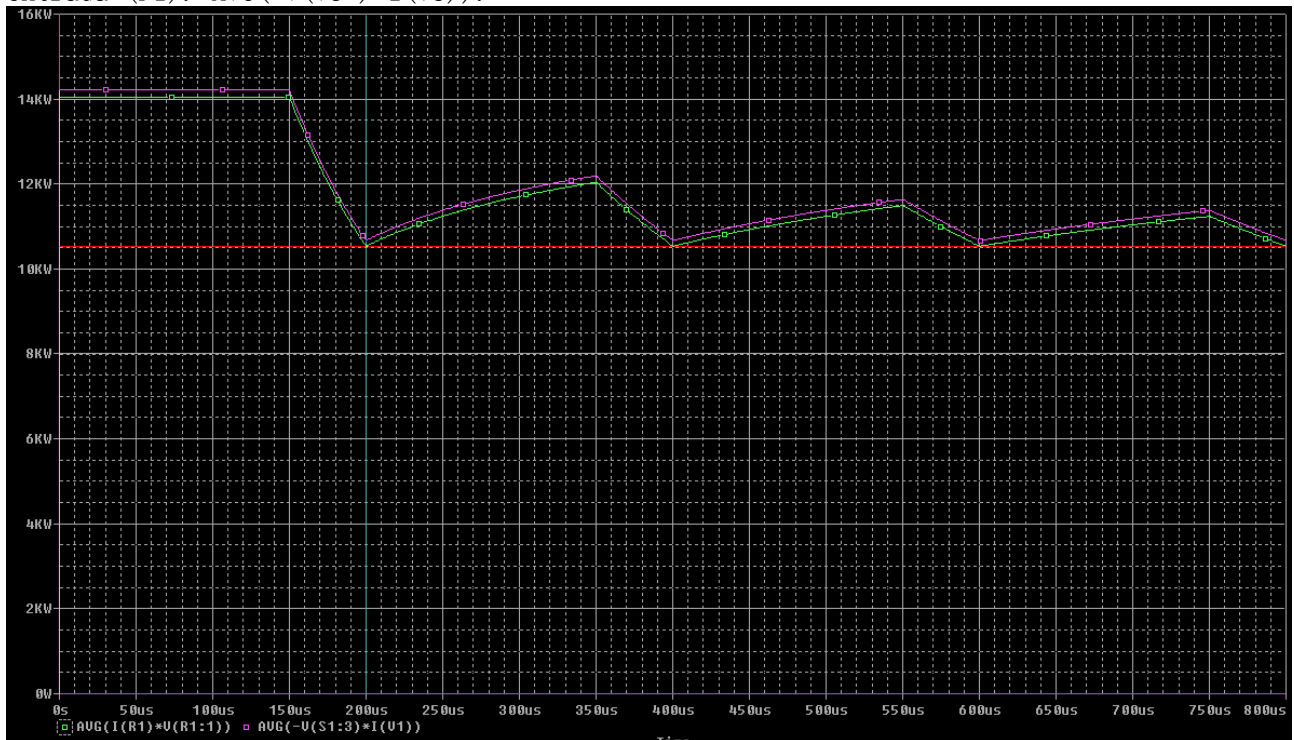
Se ha medido en 200us , y el valor es 22,225A

d) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor eficaz de la corriente de carga  $RMS(I(R4))$ . Medir el valor en el instante final de un periodo,  $I_o(RMS)$ .



Para 200us son 25,662A

e) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda del valor medio de la potencia en la carga  $P_o$   $AVG(V(Vo)*I(R4))$  y de la potencia entregada por la fuente de entrada  $(P_i)$ .  $AVG(-V(V3+)*I(V3))$ .



f) Medir el valor al final de un periodo,  $P_o$

Para 200us la potencia de la carga en valor medio es : 10,531kW

g) Medir el valor al final de un periodo,  $P_i$

Para 200us la potencia de entrada en valor medio es : 10,658kW.

h) Calcular el rendimiento del convertidor,  $\eta = P_o / P_i$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{10,531}{10,658} = 0,988$$

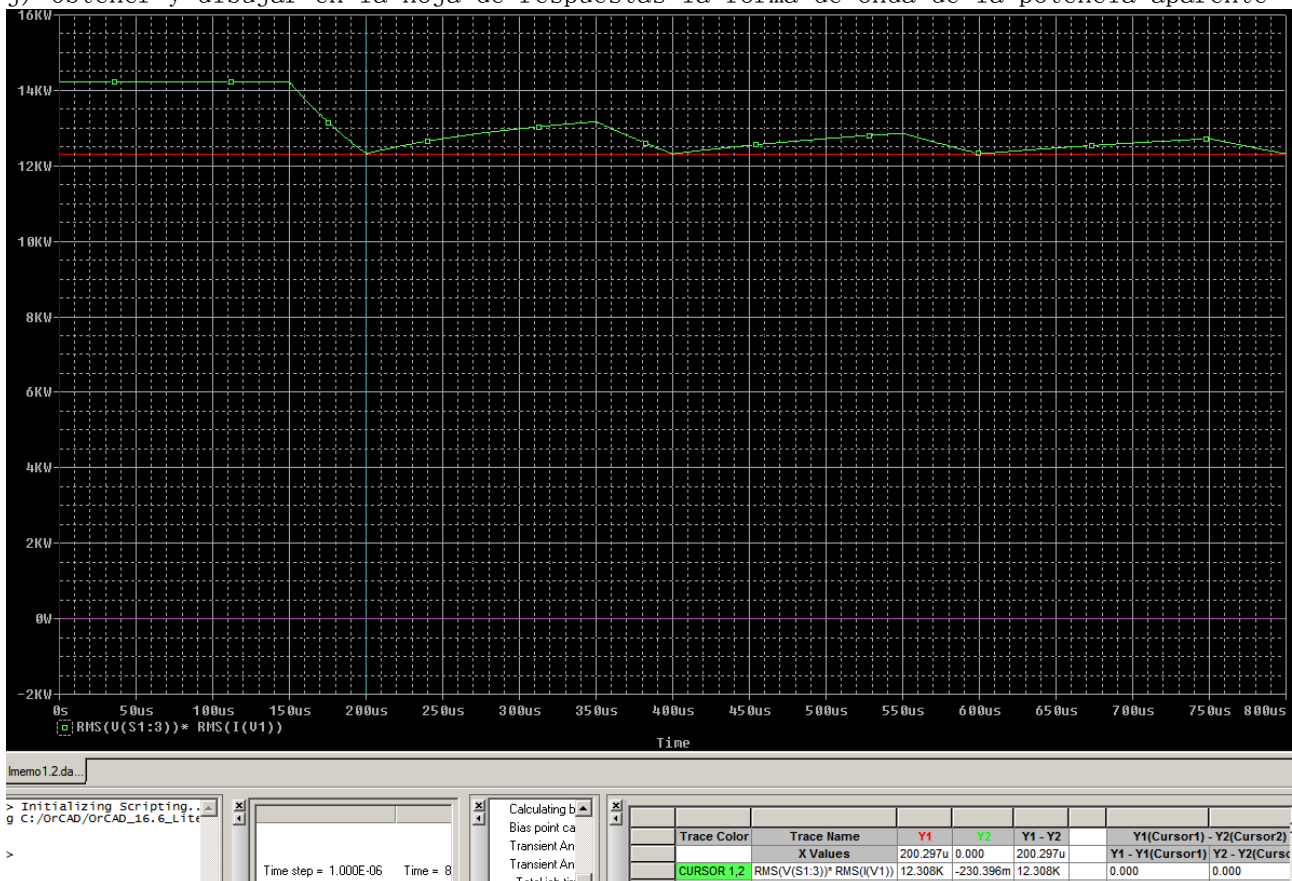
i) Calcular teóricamente las pérdidas como,  $P_p = P_i - P_o$

$$10,658 - 10,531 = 127W$$

¿Dónde se disipa la potencia  $P_p$ ?

En la carga y en el semiconductor. En forma de calor.

j) Obtener y dibujar en la hoja de respuestas la forma de onda de la potencia aparente



de entrada,  $RMS(V(V3:))*RMS(I(V3))$ .

k) Medir su valor al final de un periodo,  $S_i$ .

Para 200us da 12,308KVA

1) Calcular de forma teórica el factor de potencia de entrada,  $F_{Pi} = P_i/S_i$ .

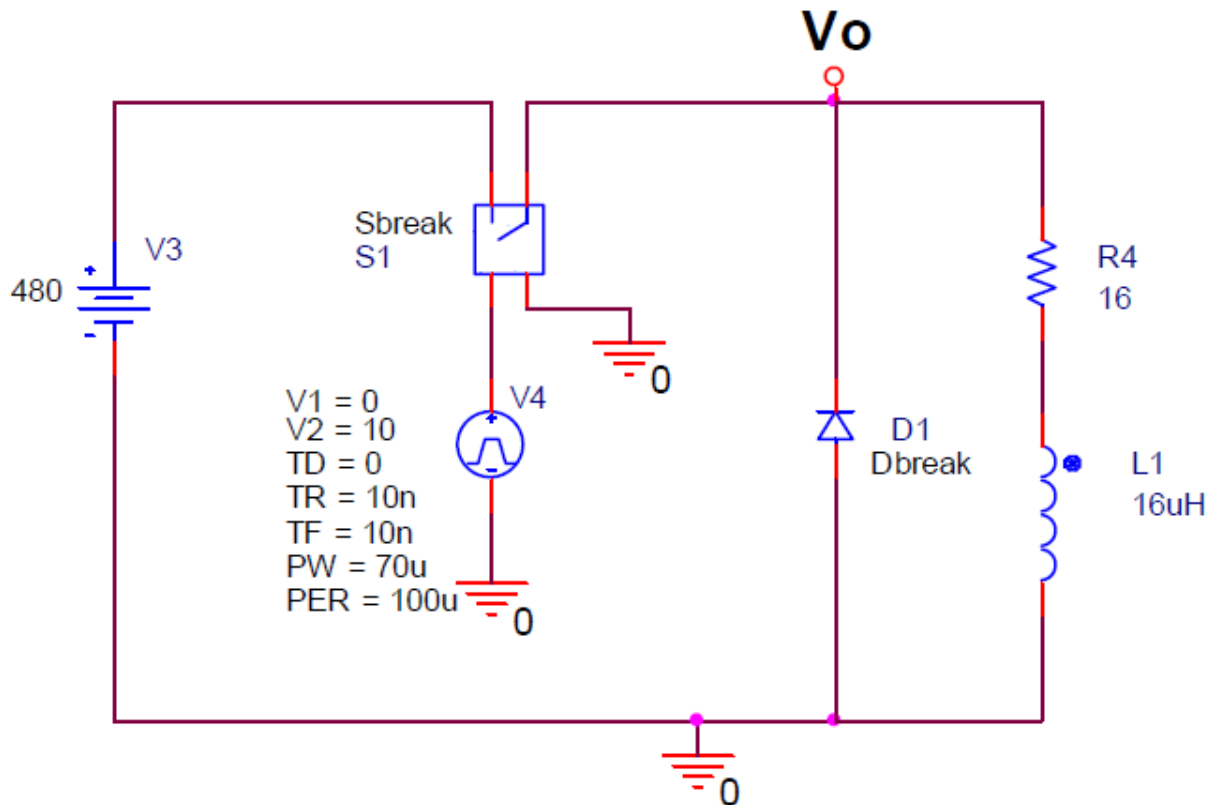
$$FP = \frac{P_i}{S_i} = \frac{10,658}{12,308} = 0,866 \quad \text{Angulo de } 30^\circ.$$



# PRACTICA 2



2) En la figura 2 se representa el esquema de un convertidor DC/DC, con una tensión de entrada VDC, carga R-L y diodo de libre circulación.



2.1) Carga poco inductiva  $R=16$  Ohmios y  $L= 16$  micro-Henrios.

Realizar una simulación transitoria del circuito, con un tiempo final de 200 us y un step time de lus.

Ver las siguientes formas de onda (emplear varios Plot simultáneamente):

a) Tensión de carga.

b) Corriente de carga.

c) Medir el valor de la corriente de carga en régimen permanente con el interruptor cerrado,  $I_{op}(ON)$

d) Medir el valor de la corriente por la carga con el interruptor cerrado en los instantes  $t = 3\tau$  y  $t = 5\tau$ . ( $i_o(3\tau)$ ,  $i_o(5\tau)$ )

e) Calcular el porcentaje que supone la corriente en los instantes  $t = 3\tau$  y  $t = 5\tau$  con respecto a la corriente en régimen permanente:

$$- 100 \cdot i_o(3\tau) / I_{op}(ON)$$

$$- 100 \cdot i_o(5\tau) / I_{op}(ON)$$

Protocolo Orcad:

1) En la elaboracion del esquema:

- Diodo = Dbreak
- Bobina= INDUCTOR/EVAALA
- Para la masa , se pone Place Ground 0/Design Cache.

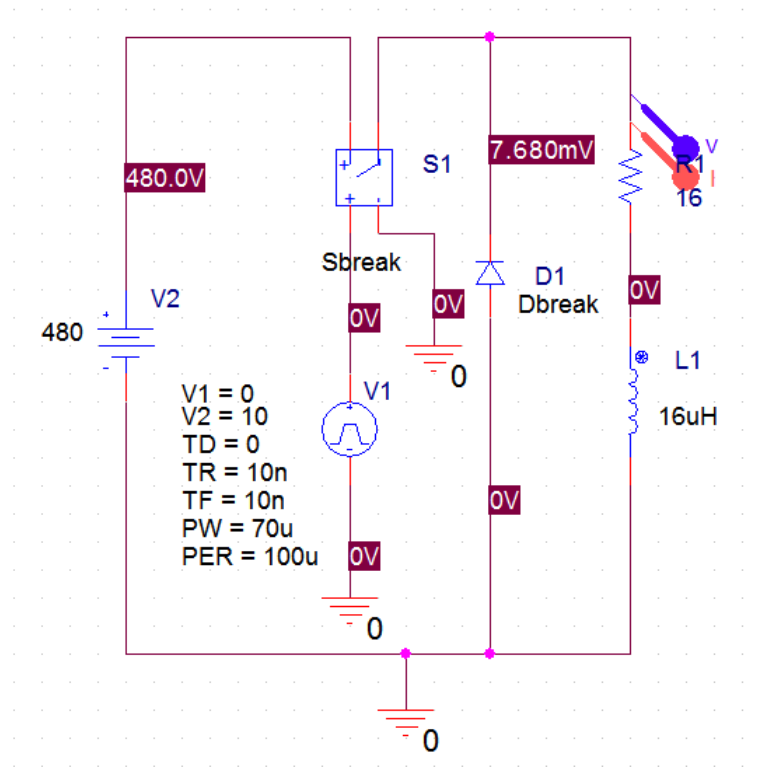
2) En el semiconductor Sbreak, boton derecho del raton, Edit Pspice Model en la  $R_{on} = 1e-3$ .

3) En el diodo boton derecho, Edit Pspice Model y nos aparece en la barra de tareas o de inicio, recuperamos y en la barra Menu de arriba click en view, y luego en extract model, despues nos sale una ventana, y le decimos que continuar o que si. Luego nos vamos a la tabla de abajo y en la columna Values aparece en la fila izquierda BV, hay le ponemos 500V. Y despues en  $R_S=1e-3$  se guarda y se cierra..

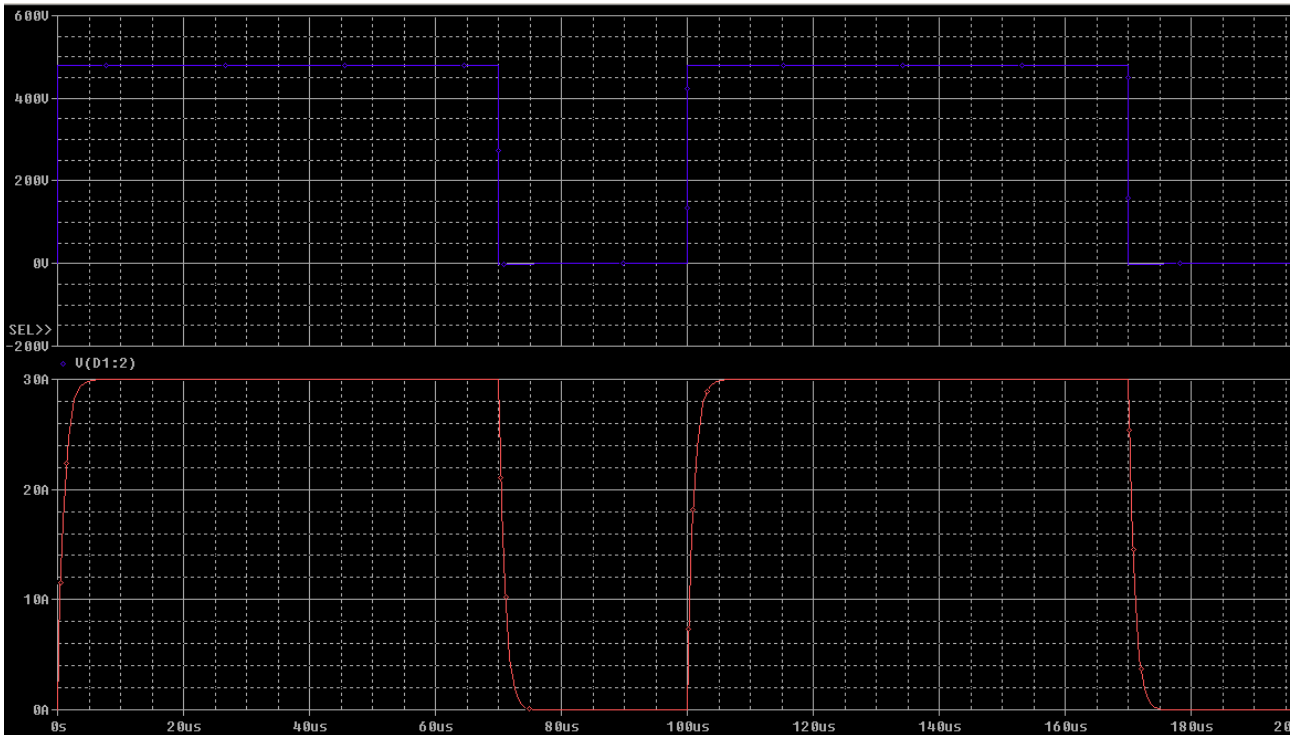
4)Una vez puestos todos los valores de la fuente de pulsos y de otros componentes, se simula en Pspice New Simulation Profile, con un tiempo de simulacion de 200us y una tasa de muestreo de lus.

Ver las siguientes formas de onda (emplear varios Plot simultáneamente):

Para ello empleamos el level voltage marker y el current marker, la tension la mide el azul y la corriente el rojo.



a) Tensión de carga y b) Corriente de carga.



c) Medir el valor de la corriente de carga en régimen permanente con el interruptor cerrado,  $I_{op}(ON)$

Valor medido 30 Amperios

Valor teórico:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{16 \cdot 10^{-6}}{16} = 1 \mu s, \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10000} = 100 \mu s, \quad 70\% \text{ ciclo de trabajo } t = 70 \mu s$$

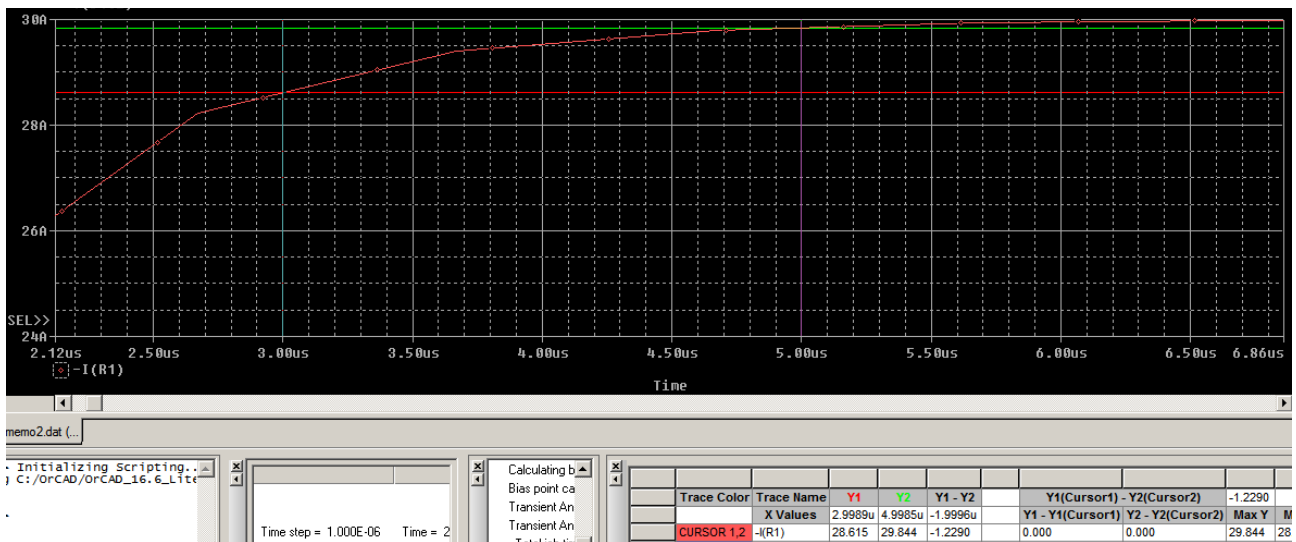
$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(t) = \frac{480 V}{16 \Omega} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{70+0}{1}} \right) = 30 A$$

d) Medir el valor de la corriente por la carga con el interruptor cerrado en los instantes  $t = 3\tau$  y  $t = 5\tau$ . ( $i_o(3\tau)$ ,  $i_o(5\tau)$ )

$$t = 3\tau = 3 \mu s, \quad t = 5\tau = 5 \mu s.$$

El valor medido es para 3 microsegundos 28,615A, y para 5 microsegundos 29,844A.

Segun la figura siguiente:



El valor teórico para  $3\tau$  es :

$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(3\tau) = \frac{480 \text{ V}}{16 \Omega} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-3+0}{1}} \right) = 28,5 \text{ A}$$

El valor para  $5\tau$   $i(5\tau) = \frac{480 \text{ V}}{16 \Omega} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-5+0}{1}} \right) = 29,798 \text{ A}$

e) Calcular el porcentaje que supone la corriente en los instantes  $t = 3\tau$  y  $t = 5\tau$  con respecto a la corriente en régimen permanente:

$$100 \cdot \frac{i(3\tau)}{I_{op(ON)}} = 100 \cdot \frac{28,5}{30} = 95 \%$$

$$100 \cdot \frac{i(5\tau)}{I_{op(ON)}} = 100 \cdot \frac{29,798}{30} = 99,33 \%$$

## 2.2) Carga inductiva $R = 16 \text{ Ohmios}$ , $L = 16 \text{ mH}$ .

### 2.2.1) Transitorio de conexión:

Modificar la inductancia de la carga a un valor  $L = 16 \text{ mH}$  y repetir la simulación.

Ver las siguientes formas de onda (emplear varios Plot simultáneamente):

- a) Tensión en la carga.
- b) Corriente de carga.
- c) Medir el valor de la corriente de carga al final del intervalo de conducción del interruptor ( $i(t_{ON})$ ) y al final del periodo ( $i(T)$ ) en los dos primeros ciclos de conmutación del interruptor.

-  $i_o(\delta T)$ ,  $i_o(T)$

-  $i_o(T + \delta T)$ ,  $i_o(2 T)$

### 2.2.3) Régimen estacionario:

2.2.3.1) Realizar una nueva simulación transitoria con **tiempo final de 10ms**.

d) Ver la evolución de la corriente de carga pasando por el régimen transitorio y llegando hasta el régimen estacionario.

e) Anotar los valores entre los que varía la corriente de carga al alcanzarse al régimen estacionario, haciendo un zoom entre 9.5 ms y 10 ms. ( $I_o \text{ MAX}$ ,  $I_o \text{ MIN}$ )

f) Calcular de forma teórica el valor medio de la corriente de carga.

$$I_o \text{ AV} = (I_o \text{ MAX} + I_o \text{ MIN})/2$$

2.2.3.2) Para evitar que el programa tarde mucho tiempo en realizar la simulación, es posible evitar el transitorio inicial dando a la bobina un valor inicial de corriente (el correspondiente a ( $I_o \text{ MIN}$ ) en régimen estacionario). Para ello, asignar un valor de 20.67 al parámetro IC (Initial Condition) de la bobina (**considerar el signo**).

Realizar de nuevo una simulación transitoria con **tiempo final de 200us**.

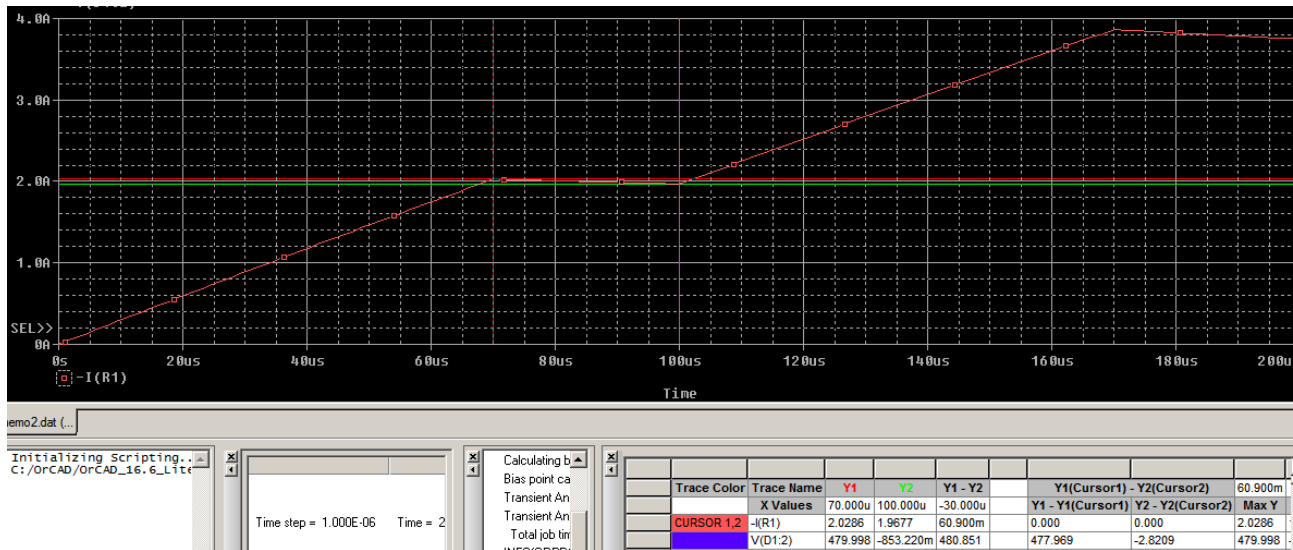
Ver las siguientes formas de onda (emplear varios Plot simultáneamente):

- g) Tensión en la carga.
- h) Corriente de carga.
- i) Valor de la corriente de carga al final del intervalo de conducción del interruptor ( $i(t_{ON})$ ) y al final del periodo ( $i(T)$ ) en un ciclo de conmutación del interruptor.
- j) Valor medio de la corriente de carga,  $I_o(\text{AV})$



c) Medir el valor de la corriente de carga al final del intervalo de conducción del interruptor ( $i(t_{ON})$ ) y al final del periodo ( $i(T)$ ) en los dos primeros ciclos de conmutación del interruptor.

-  $i_o(\delta T)$ ,  $i_o(T)$ :



El valor de la corriente medido en carga en  $i_o(\delta T) = i_o(70\mu s) = 2,0286A$

Valor teorico:  $\tau = \frac{L}{R} = \frac{16 \cdot 10^{-3}}{16} = 1000 \mu s$

$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(\delta T) = \frac{480 V}{16 \Omega} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-70+0}{1000}} \right) = 2,028 A$$

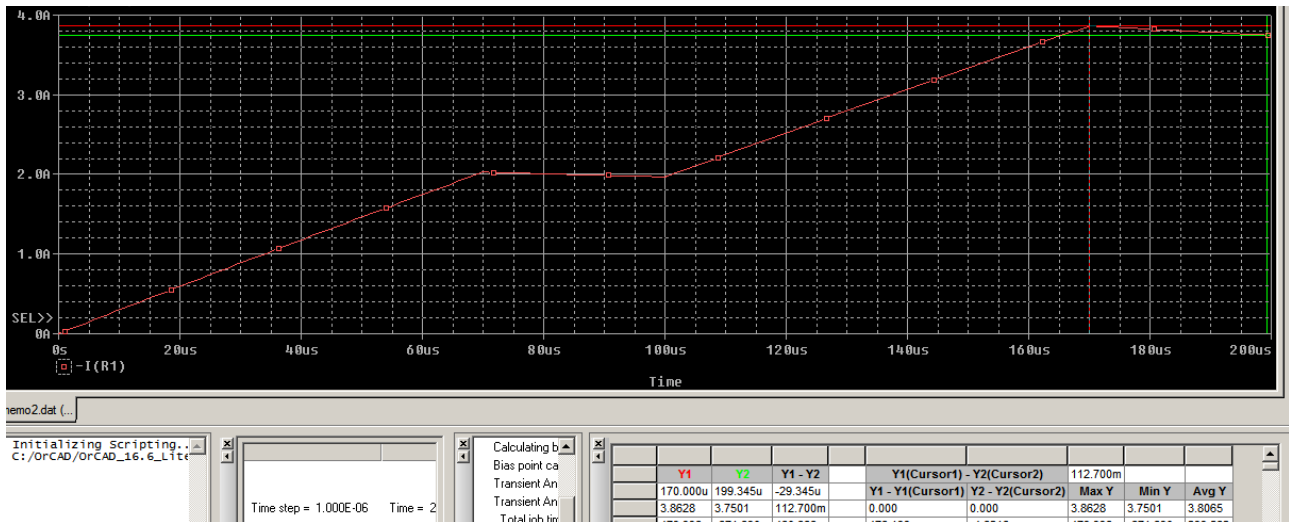
El valor de la corriente medido en carga en  $i_o(T) = i_o(100\mu s) = 1,9677A$

Valor teorico

$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(T) = i(\delta T) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-t_r + t_{\delta T}}{\tau}} \right)$$

$$i(T) = 2,028 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-100+70}{1000}} \right) = 1,968 A$$

-  $i_o(T + \delta T)$ ,  $i_o(2T)$



El valor de la corriente medido en carga en  $i_o(T+\delta T) = i_o(170\mu s) = 3,8628A$

Valor teorico:  $\tau = \frac{L}{R} = \frac{16 \cdot 10^{-3}}{16} = 1000 \mu s$

$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(T+\delta T) = i(T) \cdot e^{-\frac{-t_T+t_{\delta T}}{\tau}} + \frac{V}{R} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-t_T+\delta T+t_T}{\tau}} \right)$$

$$i(T+\delta T) = 1,968 \cdot e^{-\frac{-100+700}{1000}} + \frac{480V}{16\Omega} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-170+100}{1000}} \right) = 3,863A$$

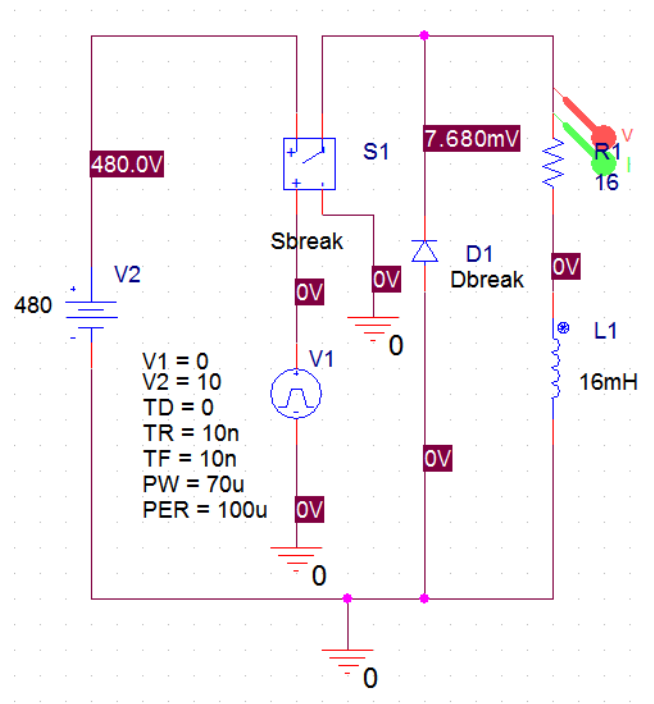
El valor de la corriente medido en carga en  $i_o(T) = i_o(200\mu s) = 3,75A$

Valor teorico

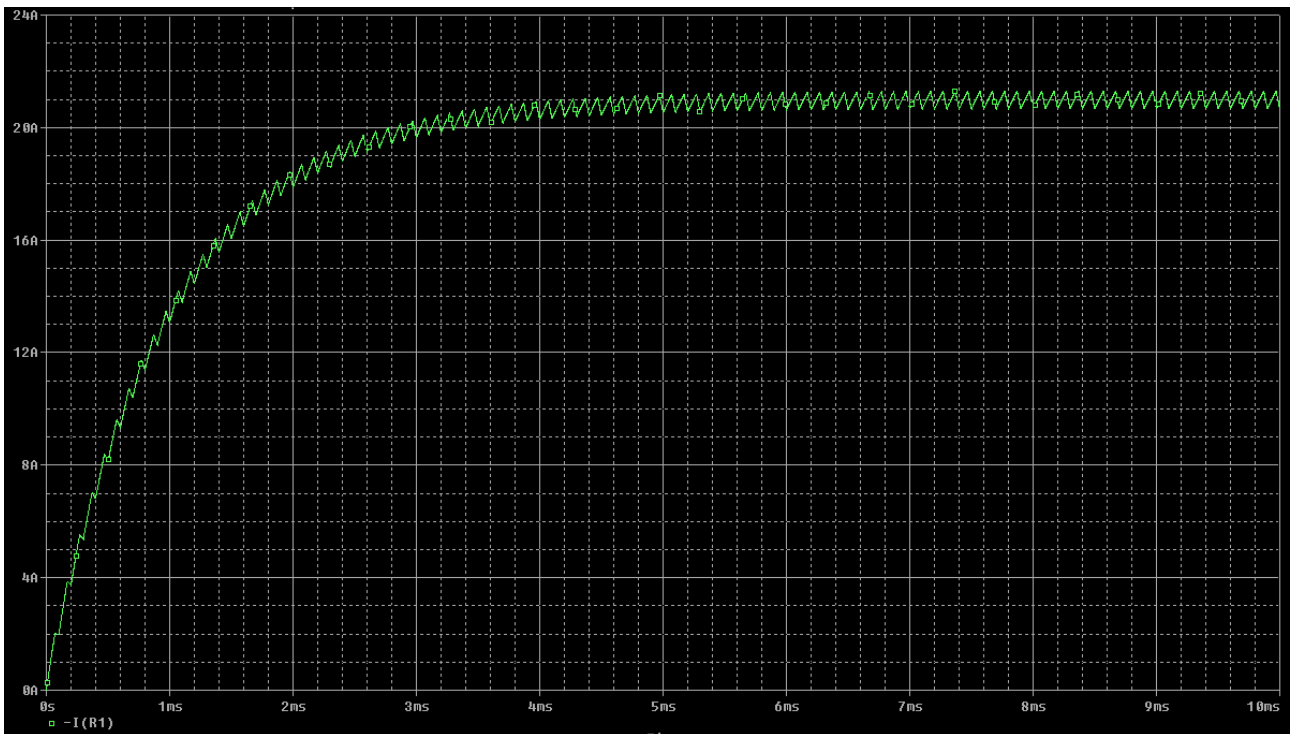
$$i(t) = I_i e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} + I_p \left( 1 - e^{-\frac{t-t_i}{\tau}} \right) \quad i(2T) = i(T+\delta T) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-t_{2T}+t_{T+\delta T}}{\tau}} \right)$$

$$i(T) = 3,863 \cdot \left( 1 - e^{-\frac{-200+170}{1000}} \right) = 3,749A$$

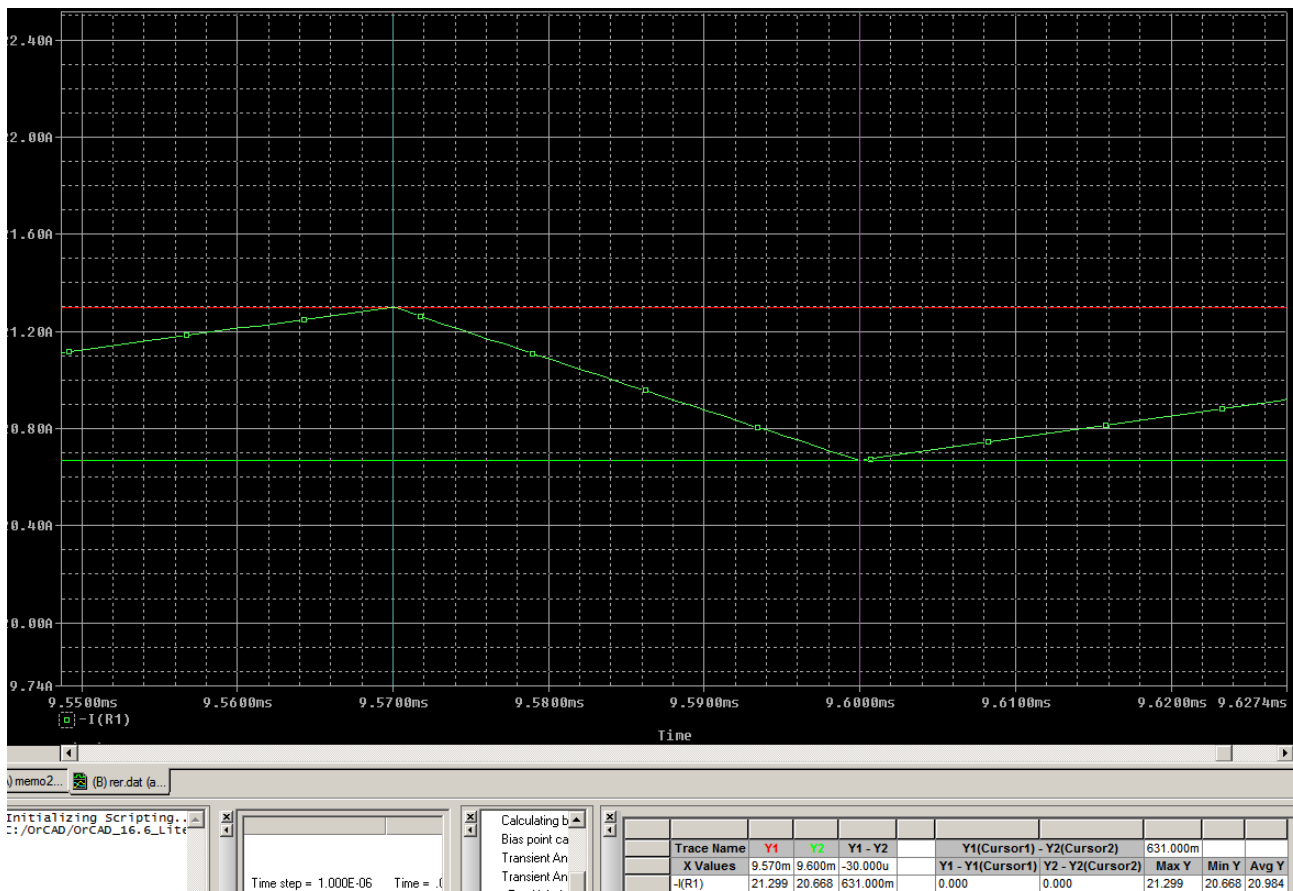
Ahora realizamos una nueva simulación con tiempo final 10ms: y obtenemos el siguiente esquema:



d) Ver la evolución de la corriente de carga pasando por el régimen transitorio y llegando hasta el régimen estacionario.



e) Anotar los valores entre los que varía la corriente de carga al alcanzarse al régimen estacionario, haciendo un zoom entre 9.5 ms y 10 ms. (Io MAX, Io MIN)



para un tiempo de 9,57ms Iomax = 21,299A

para un tiempo de 9,60ms Iomin = 20,668A

f) Calcular de forma teórica el valor medio de la corriente de carga.

$$I_{o\text{ AV}} = (I_{o\text{ MAX}} + I_{o\text{ MIN}}) / 2 = \frac{21,299 + 20,668}{2} = 20,9835\text{ A}$$

Ahora asignamos un valor de 20.67 al parámetro IC (Initial Condition) de la bobina (considerar el signo).

Realizamos de nuevo una simulación transitoria con tiempo final de 200us.

Ver las siguientes formas de onda (emplear varios Plot simultáneamente):

g) Tensión en la carga.

h) Corriente de carga.

i) Valor de la corriente de carga al final del intervalo de conducción del interruptor (i(tON)) y al final del periodo (i(T)) en un ciclo de conmutación del interruptor.

j) Valor medio de la corriente de carga, Io(AV)

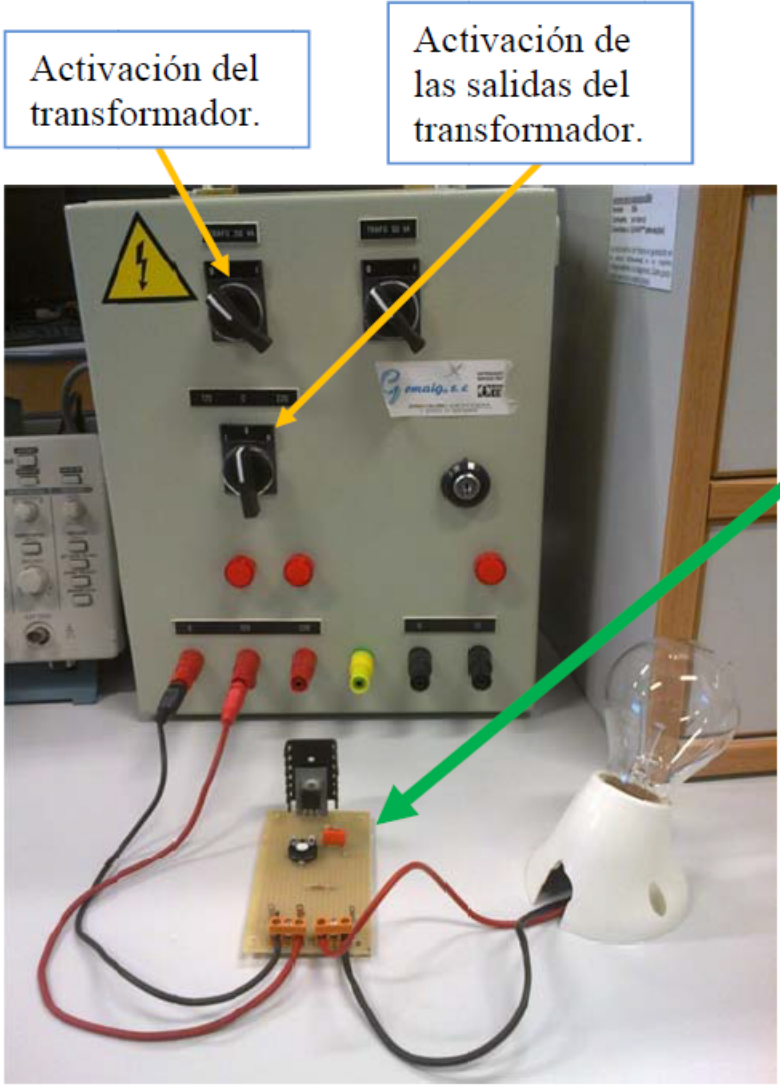
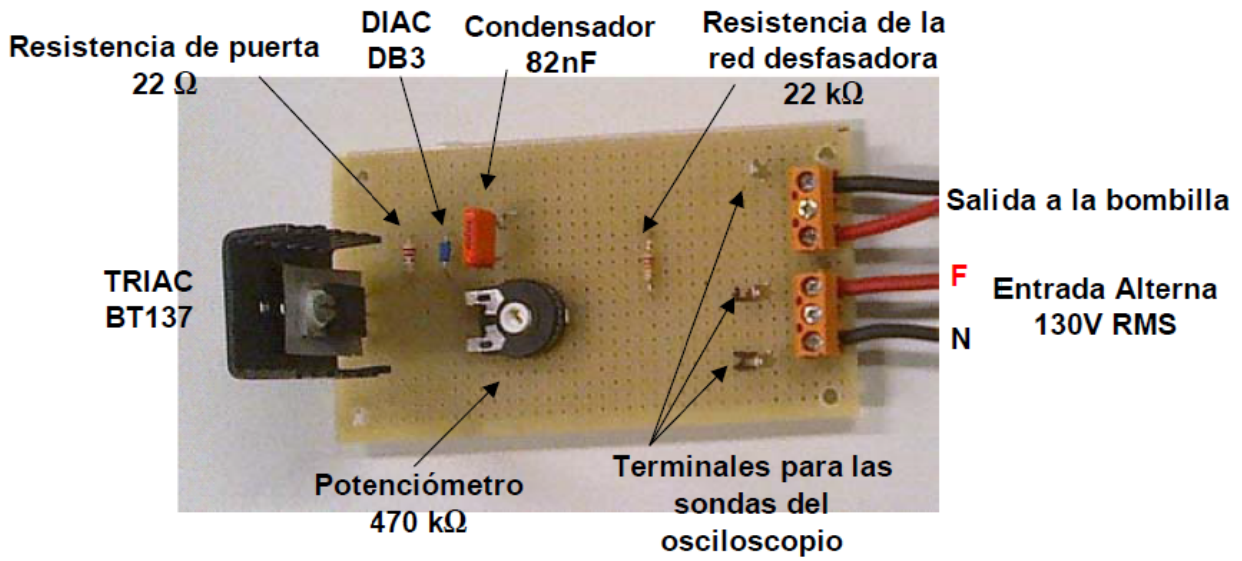
FALTA POR CUMPLIMENTAR

# **PRACTICA 3**

## **REGULADOR DE ILUMINACION CON TRIAC**



Circuito:



**Antes de activar el transformador, conectar los cables de alimentación al transformador y las sondas del osciloscopio en los puntos de medida.**

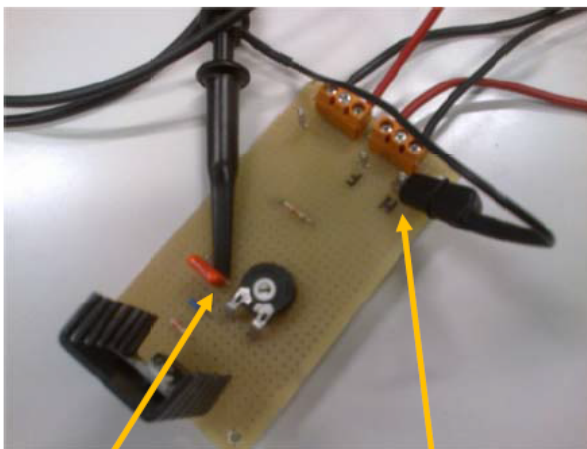
- La masa de la sonda se conectará siempre al terminal conectado al neutro de la conexión de alterna (Terminal N).
- Desconectar la masa de la segunda sonda para evitar cortocircuitos.
- Poner las dos sondas en atenuación X10.
- Indicar al osciloscopio que las sondas están atenuadas por 10 en los menús del canal 1 v canal 2.



Menús canales 1 y 2  
Ajustar a sonda 10X.



- Ver la tensión en extremos del condensador conectando las sondas como se indica abajo. Medir su amplitud y desfase respecto de la tensión de alimentación (utilizando los cursores del osciloscopio),  $V_{CM}$ ,  $\phi$  para las dos posiciones extremas del potenciómetro.
- Situar el potenciómetro en una posición intermedia y determinar la tensión de ruptura del DIAC  $V_{BD}$ . (La tensión en el condensador cae de forma abrupta cuando se alcanza esta tensión de ruptura del DIAC).



Sonda a la patita del condensador más cercana al potenciómetro.

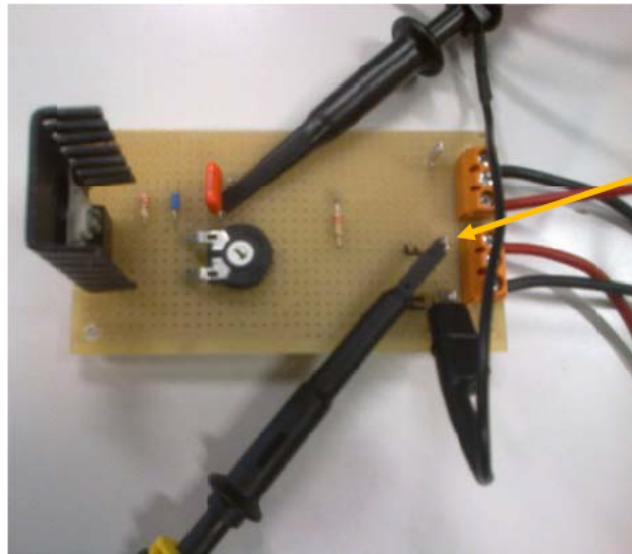
La masa se mantiene conectada al neutro. Terminal N.

Tensión de ruptura del DIAC (aprox. 32V).



Forma de onda de la tensión en el condensador cuando hay disparo del TRIAC

Conexión de la segunda sonda para la medida de la tensión de alimentación  $V_i$ . No se debe conectar la masa de la segunda sonda. La masa de la primera sonda vale para las dos y se mantiene conectada al neutro.



Sonda del canal 2 conectada a la fase. Terminal F. **No conectar la masa de esta sonda.**

### Medida del desfase utilizando los cursores de tiempo del osciloscopio.

Pulsar el botón CURSOR del osciloscopio. Seleccionar tipo tiempo. Ajustar los cursores a los pasos por cero de las dos señales. Ver la diferencia de tiempo entre los dos pasos por cero y convertir a grados.

Activar y mover cursores.

Cursos.

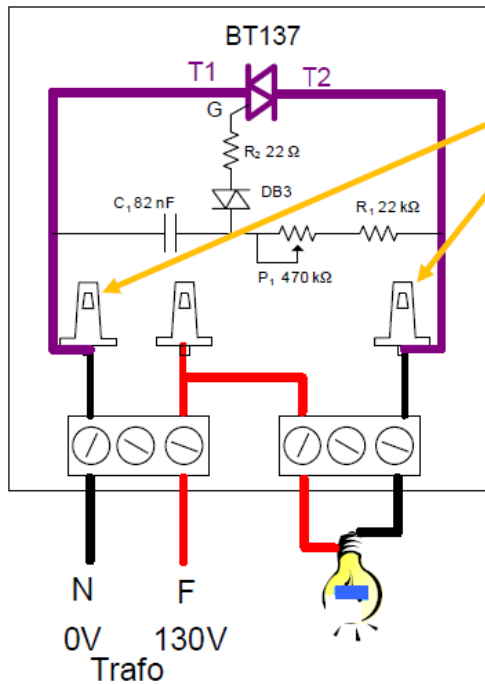
Desfase en milisegundos.

Tipo tiempo.

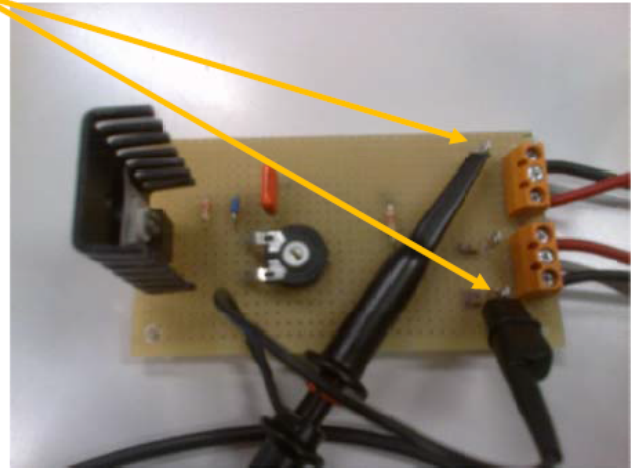
Tensión de entrada  $V_i$ .

Tensión en el condensador.

- Ver la tensión entre los terminales principales del TRIAC (T1 y T2) midiendo entre los terminales dispuestos en la placa.

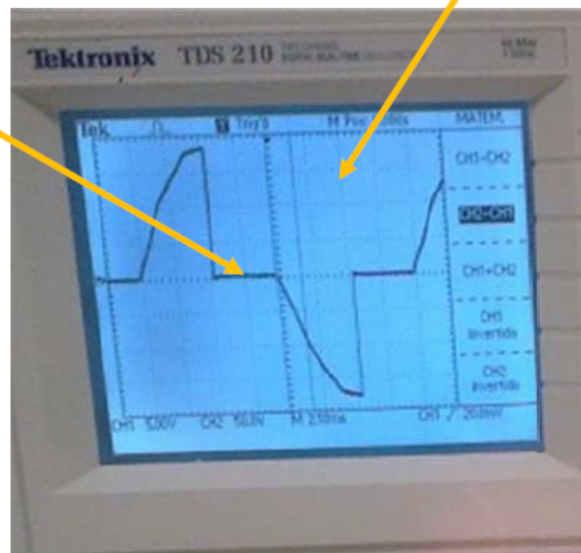


Medida de la tensión entre los terminales principales del TRIAC

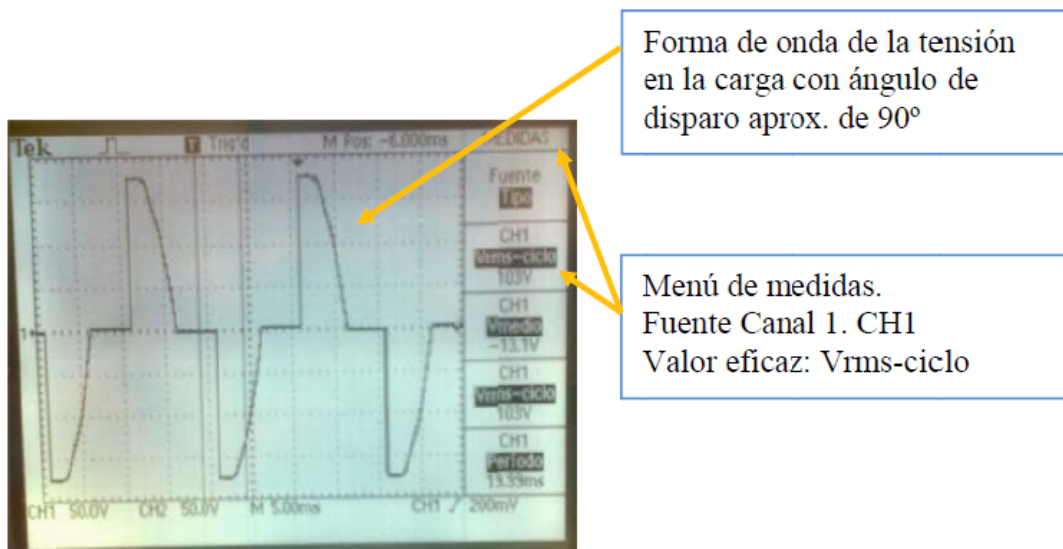
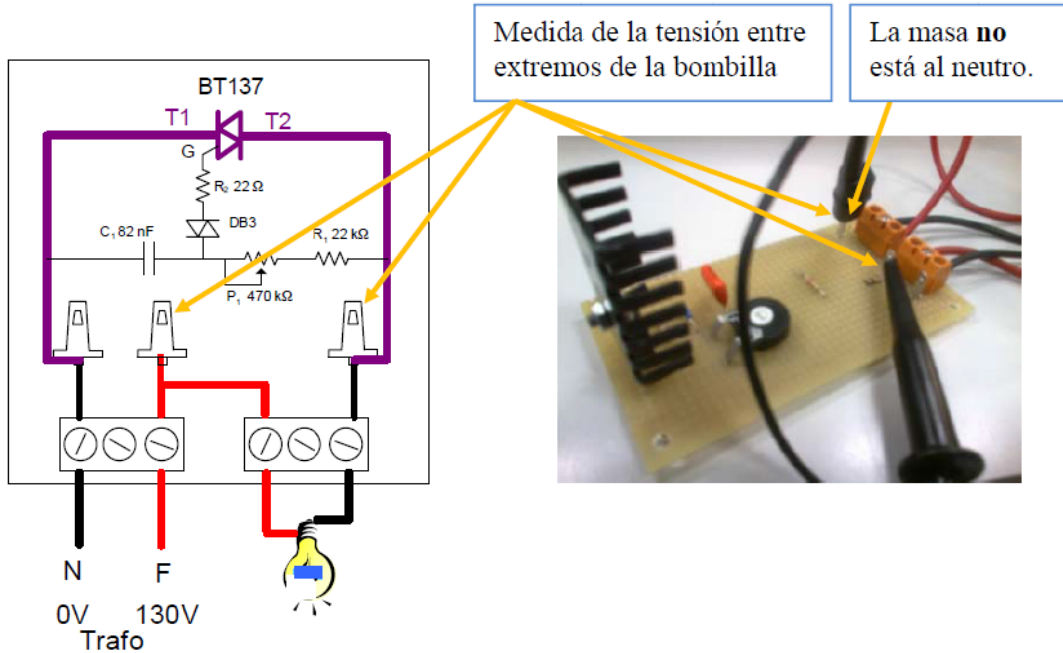


Forma de onda de la tensión en el TRIAC. Ángulo de disparo aprox. 90°

Zona de conducción



- Medir la caída de tensión en conducción del TRIAC,  $V_T$ , amplificando con el osciloscopio la zona de conducción.
- Utilizando la segunda sonda para visualizar la tensión de entrada alterna (Terminal F), tratar de determinar el ángulo de disparo mínimo y máximo del TRIAC, variando el cursor del potenciómetro.
- Ver la tensión en extremos de la carga para diferentes posiciones del cursor del potenciómetro. Para ello realizar la conexión que se muestra en la figura teniendo en cuenta que cambiamos la posición de la masa.

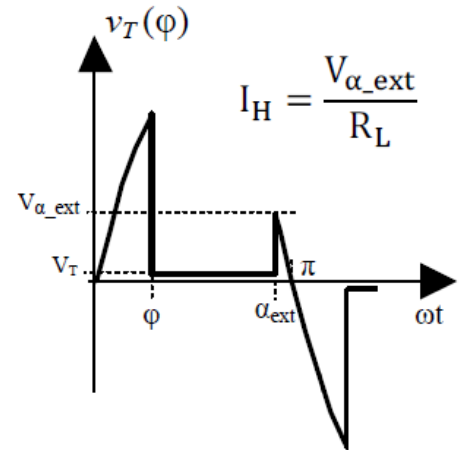


- Comprobar los valores máximo y mínimo del ángulo de disparo del TRIAC.
- Medir la tensión eficaz en la carga ( $V_{o(RMS)}$ ) y calcular la potencia disipada en la misma ( $P_o$ ), para un ángulo de disparo aproximado de  $\varphi = 90^\circ$  (1.57 radianes) y suponiendo que su resistencia vale  $460 \Omega$ .
- Sin modificar el ángulo de disparo, conectar una **sonda amperimétrica** al osciloscopio y medir la corriente eficaz a través de la bombilla,  $I_{o(RMS)}$ . Calcular el valor real de la resistencia de la bombilla en estas condiciones ( $V_{o(RMS)} / I_{o(RMS)}$ ).

### ***Medida de la corriente de mantenimiento del TRIAC, $I_H$ .***

Utilizando una placa de conexiones (Board) sustituir la bombilla por una carga resistiva  $R_L$  mediante una resistencia de potencia de  $1.5\text{ K}\Omega$  y  $15\text{W}$ .

- Medir de nuevo la tensión en extremos del TRIAC con un ángulo de disparo cualquiera.
- Medir la tensión en el ángulo de extinción  $V_{\alpha_{\text{ext}}}$  y calcular el valor de  $I_H$ . Comparar el valor obtenido con el valor de catálogo del TRIAC.



### ***Medida de la corriente de puerta (OPCIONAL)***

- Medir la tensión en extremos de la resistencia  $R_2$  ( $22\Omega$ ) y tratar de visualizar los pulsos de disparo cuando el DIAC se pone en conducción. Se trata de pulsos de muy corta duración. Habrá un pulso positivo cuando se dispare al TRIAC en semiciclo positivo de la red y otro negativo para el semiciclo negativo. Un pulso cada  $10\text{ms}$ .

Para ello, en el menú de disparo del osciloscopio (menú trigger), seleccionar como fuente de disparo el mismo canal por el que se estén midiendo los pulsos y ampliar la base de tiempos hasta que aparezcan los mismos. De no localizarlos de forma manual, tratar de lograrlo utilizando el autosest del osciloscopio.

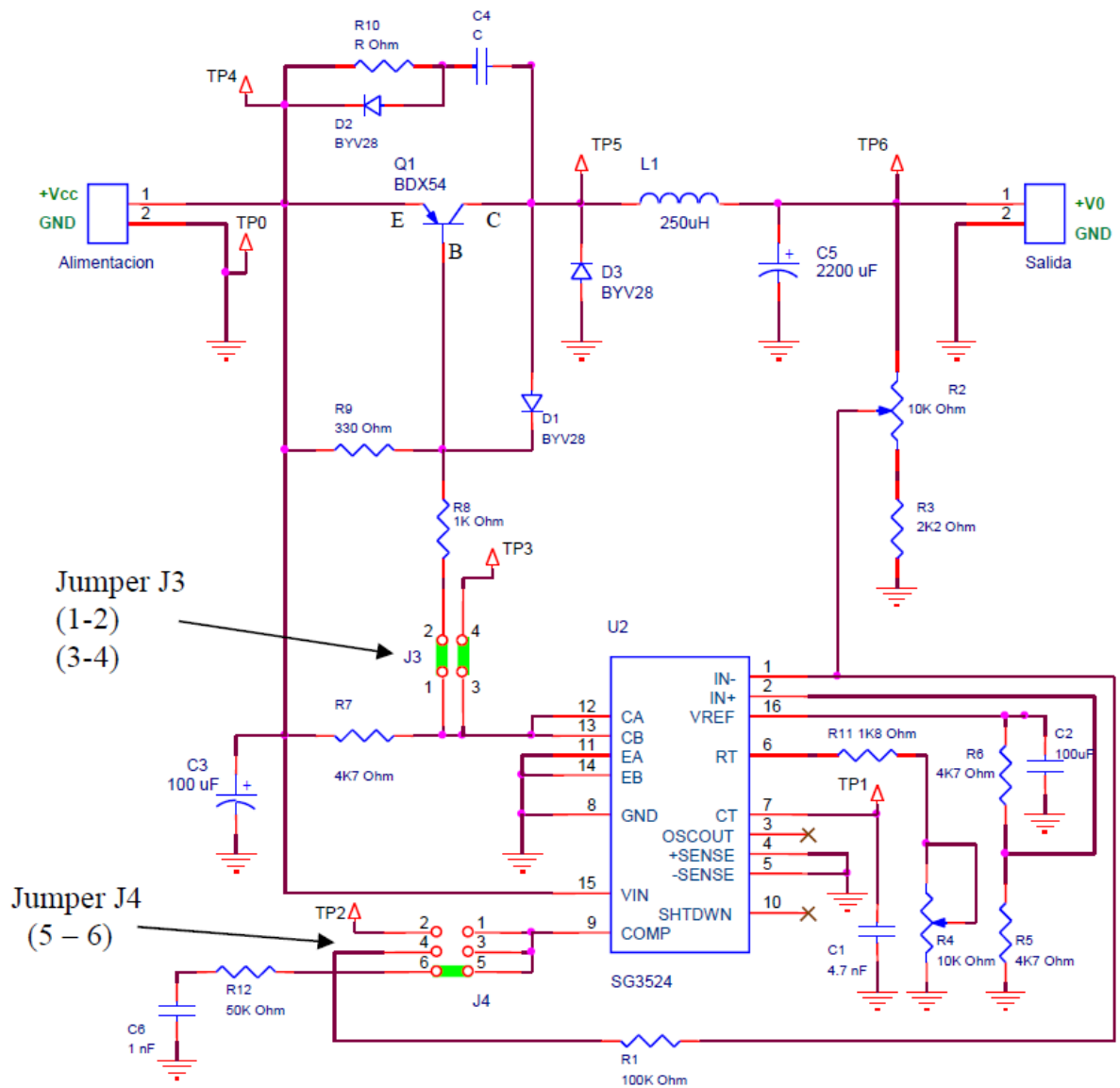
- Una vez localizados, medir la amplitud de los pulsos  $V_{R_2}$  y calcular la amplitud de la corriente de puerta  $I_G = V_{R_2} / R_2$  consumida por el TRIAC.

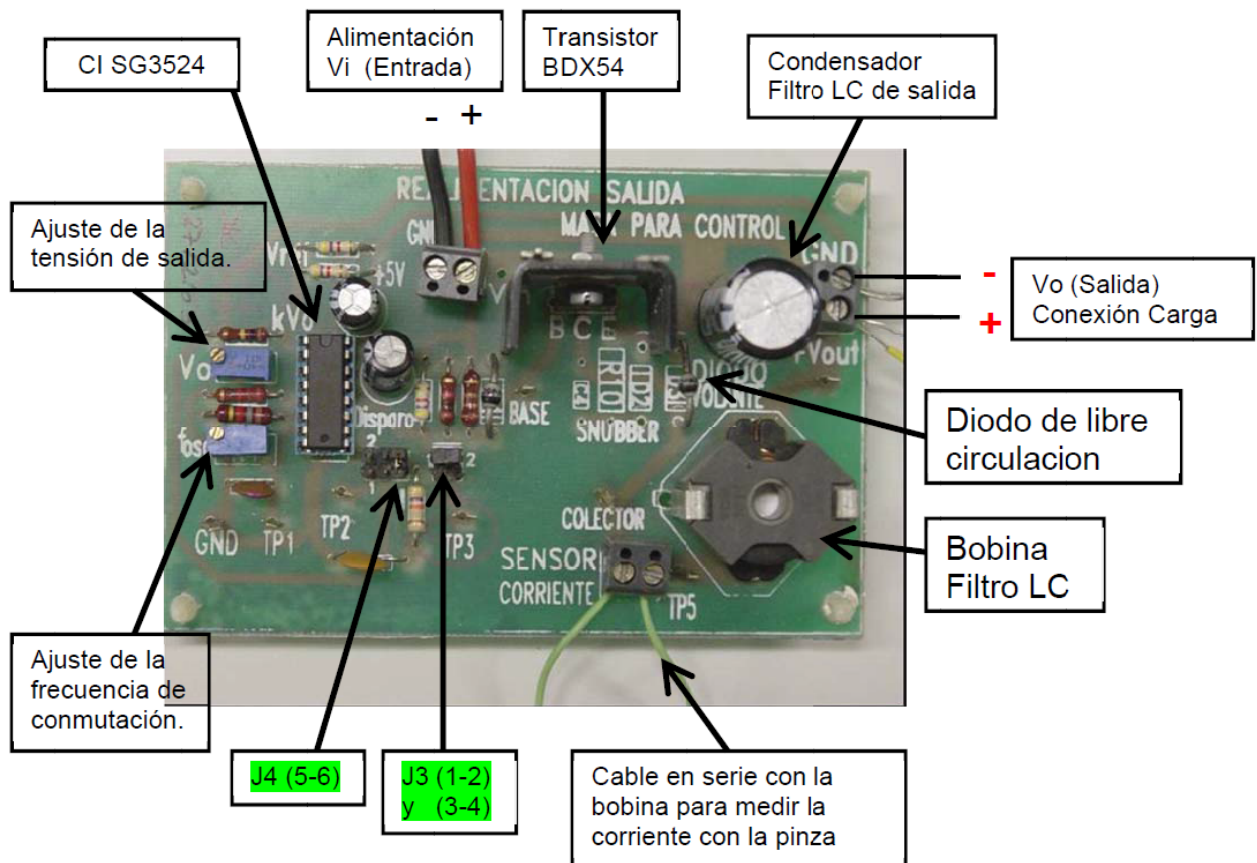
# **PRACTICA 4**

## **FUENTE DE ALIMENTACION CONMUTADA TIPO BUCK**



EL circuito.



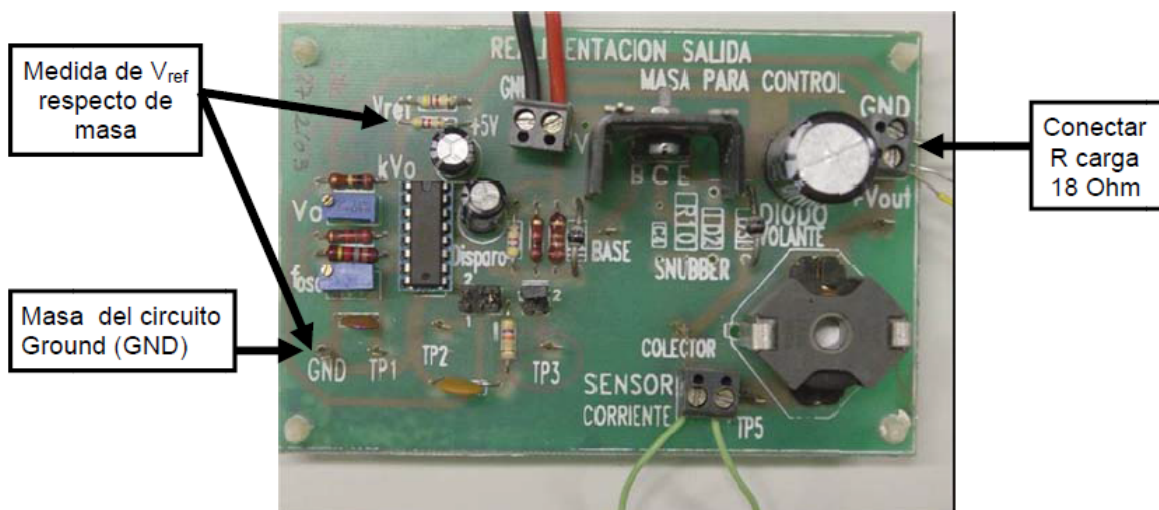


### 1) FUNCIONAMIENTO DEL MODULADOR PWM

Conectar una resistencia de carga en el conector de salida de  $18 \Omega / 15 \text{ W}$  y alimentar la fuente con una tensión continua de  $15 \text{ V}$  (a partir de la salida regulable de la fuente PROMAX disponible en las mesas). **Ajustar primero la salida de la fuente PROMAX a  $15 \text{ V}$  sin conectarla a la placa, apagar la fuente PROMAX y conectar a la placa.**

Comprobar que el circuito modulador se encuentra alimentado:

- Medir con el polímetro la tensión de referencia  $V_{\text{REF}}$  del SG3524. Esta tensión se mide en el centro del divisor resistivo. (debe haber  $2.5 \text{ V}$ )



Para las siguientes medidas con el osciloscopio, ajustar en los menús de ambos canales (botones CH1 y CH2) acoplamiento en continua DC, y comprobad que la atenuación de la sonda indicada en estos menús coincida con la seleccionada realmente en la propia sonda.

### **Medida de la señal de rampa para el comparador:**

- Medir con el osciloscopio la tensión entre los terminales TP1 y GND.

En el terminal TP1 puede verse la señal de rampa para la comparación. La frecuencia de esta rampa determina la frecuencia de la señal PWM generada y, por lo tanto, determina la frecuencia de conmutación del transistor.

### **Ajuste de la frecuencia:**

El potenciómetro multivuelta  $f_{osc}$  (ver figura 2) permite el ajuste de la frecuencia de la rampa del SG3524.

- Con ayuda de un destornillador, girar el tornillo de regulación del potenciómetro y observar como varía la frecuencia de la rampa (TP1). Llevar el potenciómetro hasta sus posiciones extremas (varias vueltas) y medir la frecuencia de conmutación máxima y mínima que se pueden alcanzar en este circuito. ( $f_{max}$ ,  $f_{min}$ ).
- Ajustar el potenciómetro  $f_{osc}$  para obtener una frecuencia de conmutación de 30 kHz. Esta frecuencia ya no se variará durante el resto de la práctica.
- Dibujar la forma de onda de la tensión de rampa (TP1)

### **Señal PWM generada por el SG3524:**

La señal de control PWM generada por el SG3524 controlará el disparo del transistor. Los pulsos de salida modulados en anchura (PWM) pueden visualizarse con el osciloscopio midiendo en TP3. Para ello el jumper J3 debe tener ambos puentes conectados entre las posiciones 1-2 y 3-4 (Ver su situación en el esquema, figura 1 y en la placa, figura 2).

- Visualizar mediante el osciloscopio los pulsos de salida (TP3) del SG3524.

Girando el tornillo de regulación del potenciómetro multivuelta  $V_o$  (ver figura 2), se logra variar el ciclo de trabajo de la señal PWM generada por el SG3524. Al variar la anchura de los pulsos generados se estará variando el valor de la tensión de salida.  
 $V_o = \delta V_i$

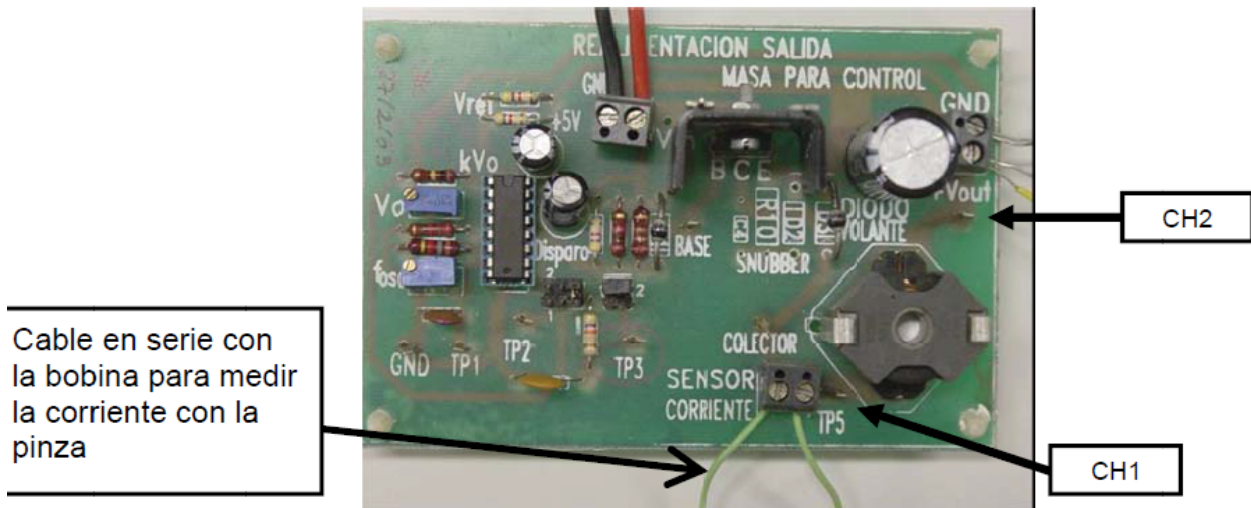
- Ajustar el potenciómetro para un ciclo de trabajo del 50% y dibujar la forma de onda de los pulsos de salida (TP3) del SG3524.

## 2) FUNCIONAMIENTO DE LA ETAPA DE POTENCIA:

- Variar de nuevo la regulación del potenciómetro multivuelta  $V_o$  hasta alcanzar sus posiciones extremas y medir, utilizando el polímetro, los valores máximo y mínimo de la tensión en extremos de la carga ( $V_{o\_max}$ ,  $V_{o\_min}$ ).

Ajustar el potenciómetro  $V_o$  hasta conseguir una tensión de salida de 10 V que se mantendrá durante el resto de la práctica.

### Medida de tensión en la bobina.



Siguiendo las indicaciones de la figura anterior, medir con un canal del osciloscopio la tensión en TP5 y con el otro canal la tensión en el terminal +Vout (ambas medidas respecto de masa). Comprobad que ambos canales están en la misma escala de tensión (V/Div).

Para obtener la medida de la tensión en la bobina, activar el menú Math del osciloscopio y seleccionar la medida CH1-CH2 (diferencia entre los dos canales).

- Medir la tensión de la bobina en el periodo de conducción del transistor y en el periodo de bloqueo ( $V_{L(ON)}$ ,  $V_{L(OFF)}$ ). Medir la duración de los intervalos de conducción y de no conducción ( $t_{ON}$ ,  $t_{OFF}$ ).
- Comprobar que el área en ambos intervalos es igual. Así se demuestra que la tensión media en la bobina en régimen estacionario es igual a 0.  
 $A1 = t_{ON} \cdot V_{L(ON)} = A2 = t_{OFF} \cdot V_{L(OFF)}$

### **Medida de la corriente por la bobina.**

La corriente por la bobina se medirá utilizando una sonda de corriente (pinza amperimétrica) conectada al osciloscopio. Recordar realizar el ajuste del cero de la sonda. La corriente debe medirse empleando el cable dispuesto a tal efecto en el conector que se encuentra junto a la bobina (ver figura anterior),

- Ver y dibujar la forma de onda de la corriente por la bobina. Medir los valores máximo, mínimo, medio y de rizado de la corriente por la bobina de choque ( $I_{Lmax}$ ,  $I_{Lmin}$ ,  $I_{L(AV)}$ ,  $\Delta I_L$ ).
- Comprobar si los valores obtenidos se ajustan a los valores teóricos calculados, rellenar la tabla comparativa.

### **Rizado de la tensión de salida.**

- Visualizar con el osciloscopio la tensión de salida de la fuente (Conector de salida).
- Ajustando el acoplamiento del canal del osciloscopio en modo AC en el menú del canal correspondiente, medir el valor de la tensión de rizado ( $\Delta V_o$ ). Ampliar la medida mediante el mando Voltios/División hasta que se vea el rizado.
- Comprobar el valor obtenido con el valor teórico calculado y rellenar la tabla comparativa.

### 3) CARACTERISTICAS DE LA FUENTE CONMUTADA

#### **Rendimiento**

Para las siguientes condiciones de trabajo de la fuente conmutada:

$V_i = 15 \text{ V}$ ,  $V_o = 10 \text{ V}$ ,  $R_L = 18 \Omega / 15 \text{ W}$ .

- Medir el valor medio de la corriente de entrada la fuente conmutada ( $I_{i(AV)}$ ) utilizando la pinza amperimétrica. Debe medirse en el cable que viene de la fuente de alimentación externa (Promax).
- Calcular la potencia de entrada, la potencia de salida y el rendimiento de la fuente conmutada.

$$P_i = V_i \cdot I_{i(AV)},$$

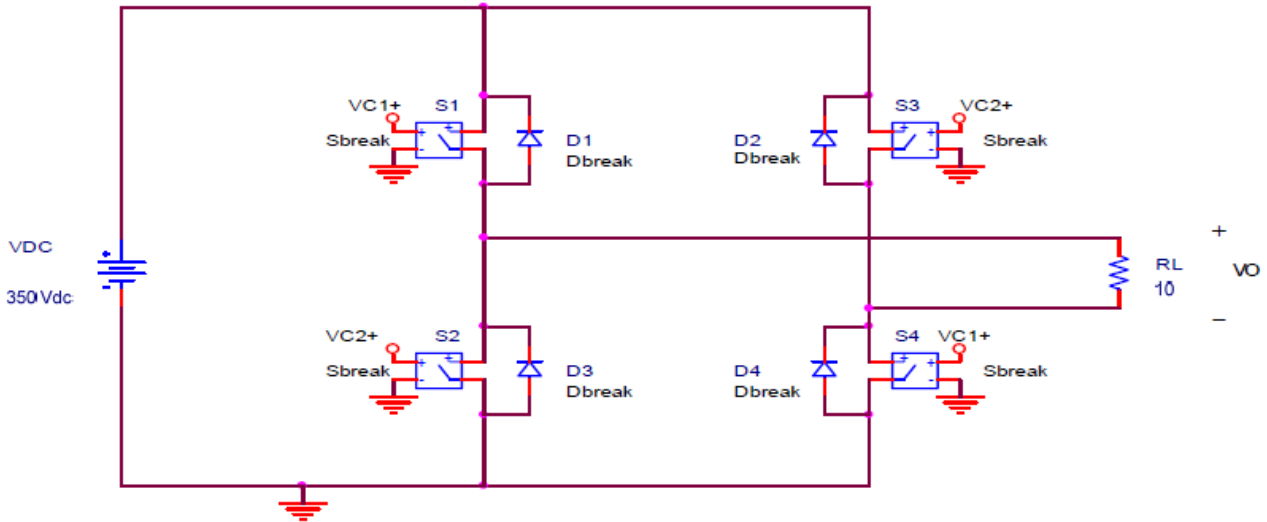
$$P_o = V_o^2 / R_L,$$

$$\eta = 100 \cdot (P_o / P_i) (\%).$$

# **PRACTICA 5**

## **SIMULACION DE INVERSORES CON MODULACION SPWM**





### 3.a) Modulación SPWM bipolar.

Estudio del control del convertidor empleando modulación SPWM **bipolar**. La frecuencia de la componente fundamental de la tensión de salida deseada es  $f_{o1} = 50$  Hz. Para los casos propuestos (3.a.1 y 3.a.2), calcular las siguientes magnitudes:

- Valor eficaz de la tensión de salida.  $V_{o(RMS)}$
- A partir de la Tabla I, determinar la amplitud, el valor eficaz y la frecuencia de la componente fundamental ( $V_{oM,1}$ ,  $V_{o(RMS),1}$ ,  $f_{o1}$ ) y de los 3 primeros armónicos significativos de la tensión en la carga. ( $V_{oM,(mf-2)}$ ,  $V_{o(RMS),(mf-2)}$ ,  $f_{o(mf-2)}$ ;  $V_{oM,(mf)}$ ,  $V_{o(RMS),(mf)}$ ,  $f_{o(mf)}$ ;  $V_{oM,(mf+2)}$ ,  $V_{o(RMS),(mf+2)}$ ,  $f_{o(mf+2)}$ )
- Potencia activa total, potencia activa fundamental y potencia activa del armónico de orden  $m_f$ :  $P_o$ ,  $P_{o,1}$ ,  $P_{o,mf}$ .

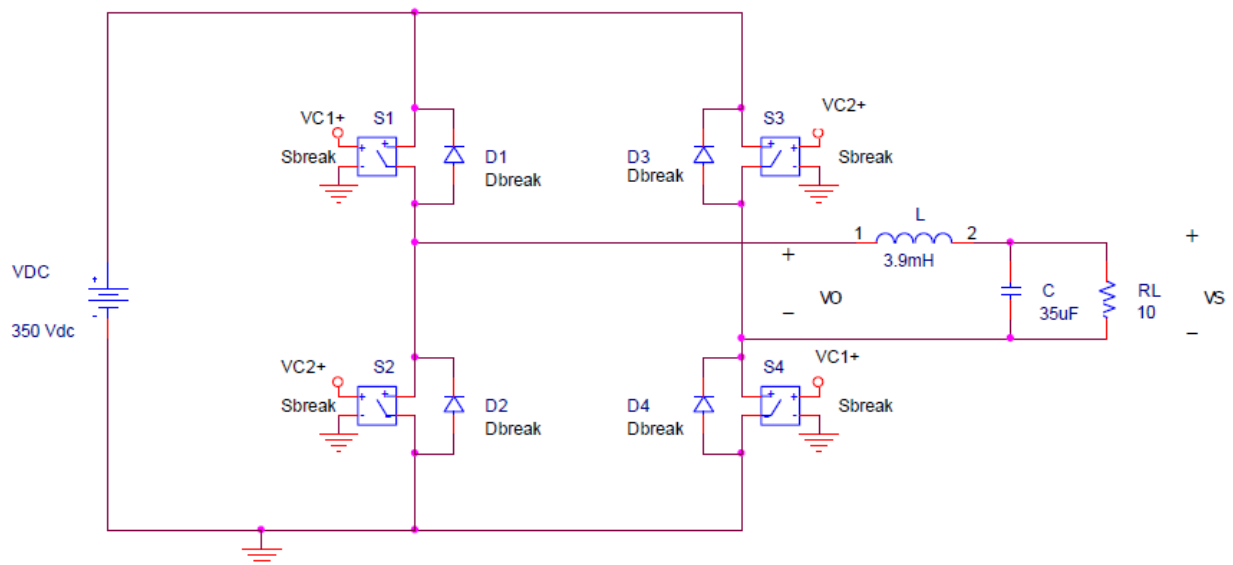
$$P_o = \frac{V_{o(RMS)}^2}{R_L} = \frac{V_{DC}^2}{R_L} \quad P_{o,1} = \frac{V_{o(RMS),1}^2}{R_L} \quad P_{o,mf} = \frac{V_{o(RMS),mf}^2}{R_L}$$

**3.a.1) SPWM bipolar con  $m_a = 0.8$ ,  $m_f = 20$ .**

**3.a.2) SPWM bipolar con  $m_a = 0.6$ ,  $m_f = 100$ .**

### 3.b) Filtro de salida.

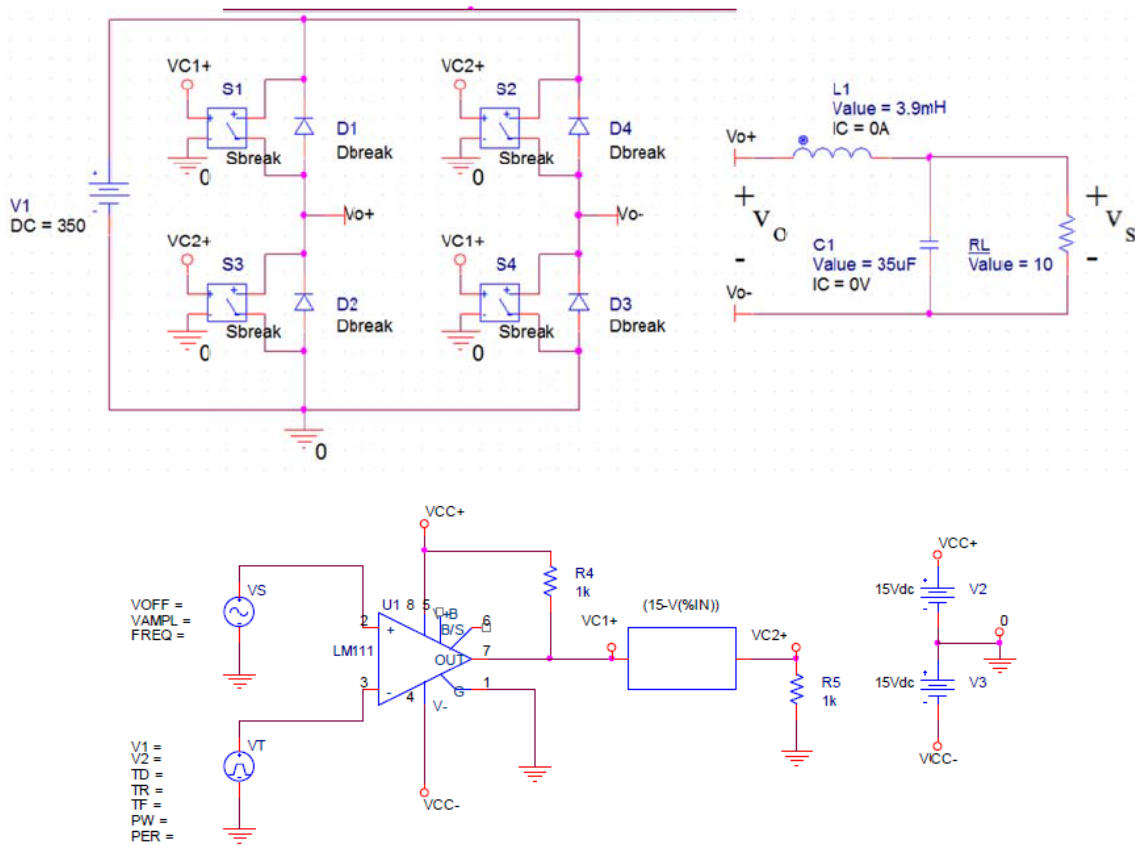
Se conecta entre la salida del inversor y la carga un filtro L - C, con valores  $L = 3.9 \text{ mH}$ ,  $C = 35 \text{ }\mu\text{F}$ .



- Determinar la frecuencia de resonancia  $f_0$  y factor de calidad  $Q$  del filtro.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad Q = R_L \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Abrir el archivo del proyecto “P5.opj” empleando el programa Capture CIS de OrCad. En él se encuentra implementado el esquema de la figura 3, correspondiente a un inversor monofásico en puente con filtro de salida y un circuito de control para modulación SPWM bipolar.



Completar el esquema del convertidor con los datos de la figura 3: (DC=350V,  $R_L=10\Omega$ ,  $C = 35\mu\text{F}$ ,  $L = 3.9 \text{ mH}$ , condición inicial (IC) del Condensador y la Bobina a 0) y las siguientes indicaciones:

En lugar de IGBT's se emplean interruptores ideales controlados por tensión, modelo **Sbreak**. Editar el modelo de uno de ellos (Edit Pspice Model) y comprobar los valores de los siguientes parámetros:  $R_{off}=1e6$ ,  $R_{on}=1e-3$ ,  $V_{off} = 2 \text{ V}$  y  $V_{on} = 13 \text{ V}$ .

Se ha utilizado diodos ideales **Dbreak**. Editar uno de ellos (Edit Pspice Model) y comprobar los valores de los siguientes parámetros: Resistencia interna  $R_s=1e-3$  y tensión inversa máxima  $BV=500$ . (Si no aparece este valor, haced  $\rightarrow$  View: extract model).

Para cada uno de los casos propuestos (apartados 3.b.1 y 3.b.2):

- Calcular la ganancia del filtro a la frecuencia fundamental ( $G_1$ ) y a la frecuencia del armónico de orden  $m_f$  ( $G_{mf}$ ).

$$G_k = \frac{R_L}{\sqrt{(R_L - R_L LC \omega_k^2)^2 + (\omega_k L)^2}}$$

$$\omega_k = 2 \cdot \pi \cdot f_k$$

$$k = 1 \rightarrow \omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1$$

$$k = m_f \rightarrow \omega_{mf} = 2 \cdot \pi \cdot (m_f \cdot f_1)$$

- A partir de las ganancias calculadas en el apartado anterior, determinar la amplitud y el valor eficaz de la componente fundamental y del armónico de orden  $m_f$  de la tensión en la carga  $R_L$ . ( $V_{sM,1}$ ,  $V_{s(RMS),1}$  ;  $V_{sM,mf}$ ,  $V_{s(RMS),mf}$  )

*Nota: En este caso, "en la carga" significa después del filtro y se identifica como  $V_s$ , ver figura 2.*

$$V_{sM,1} = V_{oM,1} \cdot G_1$$

$$V_{sM,mf} = V_{oM,mf} \cdot G_{mf}$$

- Calcular la potencia activa fundamental disipada en la carga, y la potencia activa del armónico  $m_f$ :  $P_{s,1}$ ,  $P_{s,mf}$ .

$$P_{s,1} = \frac{V_{s(RMS),1}^2}{R_L} \quad P_{s,mf} = \frac{V_{s(RMS),mf}^2}{R_L}$$

- Calcular el THD aproximado de la tensión en la carga  $R$  tomando en consideración únicamente el armónico de orden  $m_f$  calculado anteriormente:

$$THD_{V_s} = \frac{1}{V_{s(RMS),1}} \sqrt{\sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} V_{s(RMS),k}^2} \approx \frac{V_{s(RMS),mf}}{V_{s(RMS),1}}$$

### Circuito de control para: $m_a = 0.6$ , $m_f = 100$ .

El circuito de control compara una señal senoidal (moduladora) con una señal triangular (portadora) empleando un comparador **LM111** con una alimentación  $VCC+ = 15\text{ V}$ ,  $VCC- = -15\text{ V}$ .

Para índice de modulación de amplitud  $m_a=0.6$ , la señal senoidal (**VSIN**) debe tener una amplitud de  $0.6\text{ V}$ . Su frecuencia deberá ser de  $50\text{ Hz}$ , igual a la frecuencia de la componente fundamental  $f_{o1}$  que se pretende generar.

$$VOFF=0, VAMPL=0.6, FREQ=50$$

La señal triangular se implementa con una fuente (**VPULSE**) y debe tener una amplitud de  $1\text{ V}$  y una frecuencia igual a la de conmutación. Como  $m_f = 100 \rightarrow f_{tri} = m_f \cdot f_{sin} = 100 \cdot 50 = 5\text{ KHz}$ . El periodo de la triangular de  $5\text{ KHz}$  son  $200\mu\text{s}$ , completar la fuente de pulsos con los siguientes valores:

$$V1 = -1\text{V}, V2 = 1\text{V}, TD = 0, TR = 100\mu\text{s}, TF = 99\mu\text{s}, PW = 1\mu\text{s}, PER = 200\mu\text{s}.$$

El circuito LM111 es un comparador que da  $15\text{V}$  su la salida cuando la señal senoidal es mayor que la triangular, y  $0\text{V}$  en caso contrario.

La salida del comparador es la señal de control (**VC1+**) que se aplica a los terminales de control de los interruptores S1 y S4 (ver figura 3).

Los interruptores S2 y S3 deben funcionar de forma opuesta a los interruptores S1 y S4, es decir, que S2 y S3 se conectan cuando S1 y S4 se desconectan y viceversa. Para ello, la señal de control (**VC2+**) que se aplica a los terminales de S2 y S3, se obtiene a partir de la salida del comparador (**VC1+**) realizando la siguiente operación:

$(VC2+) = 15\text{V} - (VC1+)$ , de tal forma que:

Si  $\rightarrow (VC1+) = 15\text{V}$  (S1,S4  $\equiv$  ON)  $\rightarrow (VC2+) = 0\text{V}$  (S2,S3  $\equiv$  OFF)

Si  $\rightarrow (VC1+) = 0\text{V}$  (S1,S4  $\equiv$  OFF)  $\rightarrow (VC2+) = 15\text{V}$  (S2,S3  $\equiv$  ON)

Esta operación se obtiene empleando un bloque **ABM1** con la siguiente expresión:  $EXP1 = (15-V(\%IN))$ .

#### 4.2 Simulación del circuito:

Una vez completado el esquema, realizar una simulación transitoria (Time domain) con un tiempo de simulación, *Run to time: 60 ms, start saving data after: 0ms y maximum step size: 1us*.

##### 4.2.1 Comprobación del correcto funcionamiento del circuito de control.

- Utilizando dos ventanas (plots) de simulación, visualizar en una de ellas la tensión de la senoidal y la tensión de la triangular del circuito de control. En la otra ventana visualizar la tensión de salida del comparador LM111 (**VC1+**). Ampliar el eje X para visualizar las señales en el rango de  $40$  a  $45\text{ms}$ . (Menú Plot / Axis Settings / X Axis / Data Range/ User Defined/  $40\text{ms}$  to  $45\text{ms}$ ). Comprobar que la salida del comparador vale  $+15\text{V}$  cuando la senoidal es mayor que la triangular y  $0\text{V}$  en caso contrario.

Medir en  $t = 45$  ms los valores de la tensión senoidal, de la triangular y de la salida del comparador. ( $V_{\text{sin}}$ ,  $V_{\text{tri}}$ ,  $VC1+$ )

- En un nuevo plot visualizar la tensión en  $VC2+$  y comprobar que es complementaria a  $VC1+$ .  
Medir su valor en  $t = 45$  ms.

#### 4.2.2 Magnitudes a la salida del inversor (antes del filtro):

- Utilizando un medidor de tensión diferencial, ver la forma de onda de la tensión de salida  $v_o$  (antes del filtro) y medir los valores máximo y mínimo,  $V_{o+}$ ,  $V_{o-}$ .
- Ver la forma de onda que se obtiene al aplicar la función RMS a la tensión de salida  $v_o$ . Sobre esta forma de onda medir el valor eficaz de la tensión de salida midiendo al final de un periodo de la fundamental (a los 40ms ó a los 60ms).  $V_{o(RMS)}$ .
- Volviendo a la forma de onda de la tensión de salida  $v_o$  en pantalla, utilizar la función FFT (Transformada de Fourier) y medir la frecuencia y la amplitud de la componente fundamental y de los 3 primeros armónicos significativos:  $f_{o1}$ ,  $V_{oM,1}$ ,  $f_{o(mf-2)}$ ,  $V_{oM,(mf-2)}$ ,  $f_{o(mf)}$ ,  $V_{oM,mf}$ ,  $f_{o(mf+2)}$ ,  $V_{oM,(mf+2)}$ . Calcular sus valores eficaces dividiendo por  $\sqrt{2}$ .
- Calcular la potencia activa total, potencia activa fundamental y potencia activa del armónico de orden  $mf$ :  $P_o$ ,  $P_{o,1}$ ,  $P_{o,mf}$ .

$$P_o = \frac{V_{o(RMS)}^2}{R} \quad P_{o,1} = \frac{V_{o(RMS),1}^2}{R} \quad P_{o,mf} = \frac{V_{o(RMS),mf}^2}{R}$$

#### 4.2.3 Magnitudes en la carga (después del filtro):

- Ver la forma de onda de la tensión en la carga  $v_s$  (después del filtro) y comprobar que es prácticamente senoidal.
- Ver la forma de onda de la tensión eficaz de salida y medir su valor a los 60ms.  $V_{s(RMS)}$ .
- Ver la forma de onda de la corriente por la carga  $R_L$  y la forma de onda de la corriente por la bobina del filtro  $L$  (corriente de salida del inversor).
- De nuevo con la forma de onda de la tensión en la carga  $v_s$  en pantalla, utilizar la función FFT (Transformada de Fourier) y medir la frecuencia y la amplitud de la componente fundamental y de los 3 primeros armónicos significativos:  $f_{s1}$ ,  $V_{sM,1}$ ,  $f_{s(mf-2)}$ ,  $V_{sM,(mf-2)}$ ,  $f_{s(mf)}$ ,  $V_{sM,mf}$ ,  $f_{s(mf+2)}$ ,  $V_{sM,(mf+2)}$ . Calcular sus valores eficaces dividiendo por  $\sqrt{2}$ . (Ampliar con el zoom la zona de 5 kHz para localizar los armónicos que deben ser pequeños al estar filtrados).
- Calcular la potencia activa entregada a la carga, la potencia activa fundamental y la potencia activa del armónico ( $mf$ ):  $P_s$ ,  $P_{s,1}$ ,  $P_{s,mf}$ .

$$P_s = \frac{V_{s(RMS)}^2}{R_L} \quad P_{s,1} = \frac{V_{s(RMS),1}^2}{R_L} \quad P_{s,mf} = \frac{V_{s(RMS),mf}^2}{R_L}$$

- Calcular el THD de la tensión en la carga tomando en consideración únicamente el armónico de orden  $m_f$ .

$$THD_{V_s} = \frac{1}{V_{s(RMS),1}} \sqrt{\sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} V_{s(RMS),k}^2} \approx \frac{V_{s(RMS),mf}}{V_{s(RMS),1}}$$

- Calcular el THD exacto de la tensión en la carga.

$$THD_{V_s} = \frac{1}{V_{s(RMS),1}} \sqrt{\sum_{k=1,3,5,\dots}^{\infty} V_{s(RMS),k}^2} = \frac{1}{V_{s(RMS),1}} \sqrt{V_{s(RMS)}^2 - V_{s(RMS),1}^2}$$