

ELECTRÓNICA DE POTENCIA

TP4

Fuente de alimentación de alta corriente y alta tensión

Profesor: Ing Javier Avramovich

Curso: 5R1

Alumnos: Astigarraga, Nicolas

Montes, Andres Alejandro

Segovia, Franco

Valdez, Carlos

Introducción:

En el presente trabajo práctico se realizará el diseño y la simulación de una fuente de alimentación de alta tensión y de alta corriente. La misma se realizará mediante una tensión trifásica de 380V y 50Hz que se rectificará de manera controlada.

La rectificación se llevará a cabo por medio de un circuito de onda completa y llevará protección contra cortocircuitos.

Trabajo practico:

Diseñar una fuente de alimentación Trifásica de onda completa controlada.

Especificaciones:

Tensión de salida: 150 a 300Vcc.

Corriente de salida: 100A

Línea de alimentación: Trifásica de 380V, 50 Hz.

Frecuencia de ripple: 300Hz.

Protección contra cortocircuitos.

Elaborar un informe con el siguiente contenido:

Desarrollo del circuito y cálculos, incluyendo la etapa de potencia.

Simulación en PSpice de la etapa de potencia (con excitación en la compuerta a través del generador I_PULSE)

C.1. con carga resistiva y con ángulos de retardo de 45° y 135°

C.2. con carga resistiva-inductiva y con ángulos de retardo de 45° y 135°

C.3. con carga R-L-E con ángulo de retardo de 45°

Siendo $L=10\text{mH}$, $R=1\Omega$ y $E=50\text{V}$, 100V y 150V
(poner E paramétrico).

Cálculo del driver del tiristor y de los dispositivos de potencia.

Hoja de datos del tiristor de potencia.

Desarrollo teórico:

Rectificadores:

La distribución de energía eléctrica se hace, esencialmente, en forma de corriente alterna, debido, principalmente, a la facilidad de adaptación del nivel de tensión por medio de transformadores y a las bajas pérdidas que presenta frente a la corriente continua.

Sin embargo, en muchas aplicaciones, la carga alimentada requiere una tensión continua. La conversión CA/CC es realizada por convertidores estáticos de energía, comúnmente denominados rectificadores. Por tanto, un rectificador es un sistema electrónico de potencia cuya función es convertir una tensión alterna en una tensión continua.

Los rectificadores constan de las siguientes partes:

1. Transformador de alimentación (opcional): encargado de suministrar cierto número de tensiones y con el adecuado desfasaje entre las mismas.
2. El conjunto rectificador: basado en dispositivos semiconductores, diodos y/o tiristores.
3. Filtro (opcional): para reducir el factor de ondulación de la tensión rectificada.
4. Circuitos o dispositivos de protección y de control.

La finalidad de un rectificador puede ser generar una corriente continua pura o proporcionar una onda de tensión o corriente que tenga un determinado nivel de continua.

En una primera clasificación, podemos diferenciar los rectificadores de acuerdo con el número de fases de la tensión alterna de entrada (monofásico, bifásico, trifásico, hexafásico, etc.). Dentro de estos, podemos diferenciar los rectificadores en función del tipo de conexión de los elementos (media onda y onda completa).

Otra clasificación posible es según su capacidad de ajustar el valor de la tensión de salida, ello depende de si se emplean diodos o tiristores. Los rectificadores no controlados son aquellos que utilizan diodos como

elementos de rectificación y tiene una tensión de salida fija. Los rectificadores controlados utilizan tiristores y nos permiten obtener una tensión de salida ajustable. Mientras que los rectificadores semi-controlados utilizan tanto diodos como tiristores.

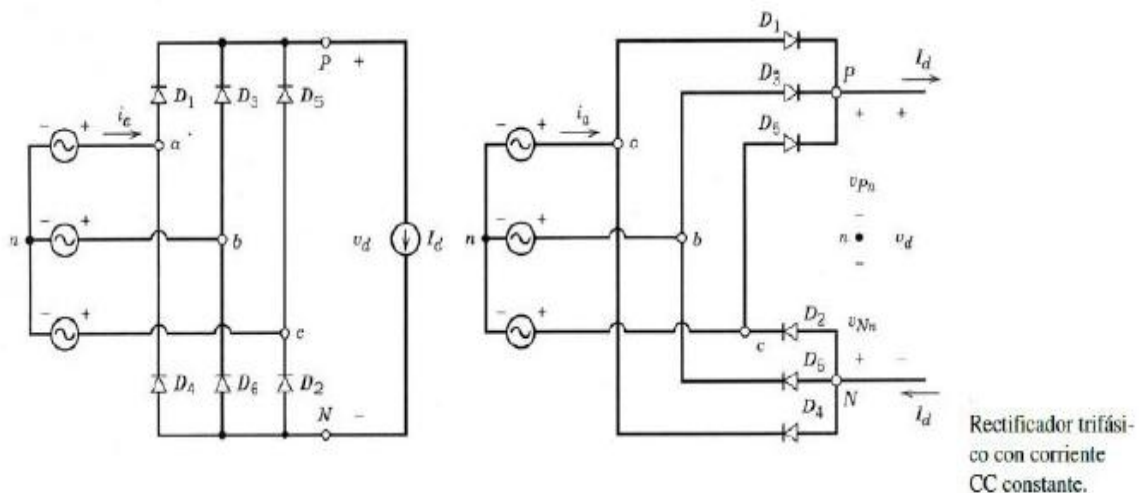
En aplicaciones industriales donde hay disponibilidad de voltajes de CA trifásicos, es preferible usar circuitos de rectificación trifásicos en lugar de rectificadores monofásicos, por su menor contenido de ondulaciones en las formas de onda y una mayor capacidad de manejo de potencia.

Rectificadores no Controlados:

Los rectificadores no controlados, como ya se mencionó, basan su funcionamiento en los diodos semiconductores. Permitiendo convertir corriente alterna en continua con un bajo costo y de manera sencilla. En estos rectificadores, el flujo de energía solo puede provenir desde el lado de CA de la fuente principal de electricidad hacia el lado de CC.

Analicemos el caso de un rectificador de onda completa trifásico no controlado que nos facilitará el posterior análisis del rectificador controlado.

Rectificador trifásico de onda completa no controlado



La corriente I_d fluye a través de un diodo del grupo superior (D1, D3, D5) y uno del grupo inferior (D2, D4, D6). De modo parecido a los rectificadores monofásicos, el diodo en el grupo superior que tenga su ánodo en el potencial más alto conducirá, y los otros dos se vuelven de polarización inversa. Lo mismo ocurre con el grupo de diodos de la parte inferior. De esta manera podemos decir que:

El diodo D1 conducirá si $V_a > V_P$

El diodo D3 conducirá si $V_b > V_P$

El diodo D5 conducirá si $V_c > V_P$

El diodo D2 conducirá si $V_c < V_N$

El diodo D4 conducirá si $V_a < V_N$

El diodo D6 conducirá si $V_b < V_N$

Se puede observar que para que la corriente fluya hacia la carga debe haber dos diodos conduciendo. Además, los diodos de la misma rama no podrán conducir al mismo tiempo. Es decir que:

D1 y D4 nunca conducen al mismo tiempo

D3 y D6 nunca conducen al mismo tiempo

D5 y D2 nunca conducen al mismo tiempo

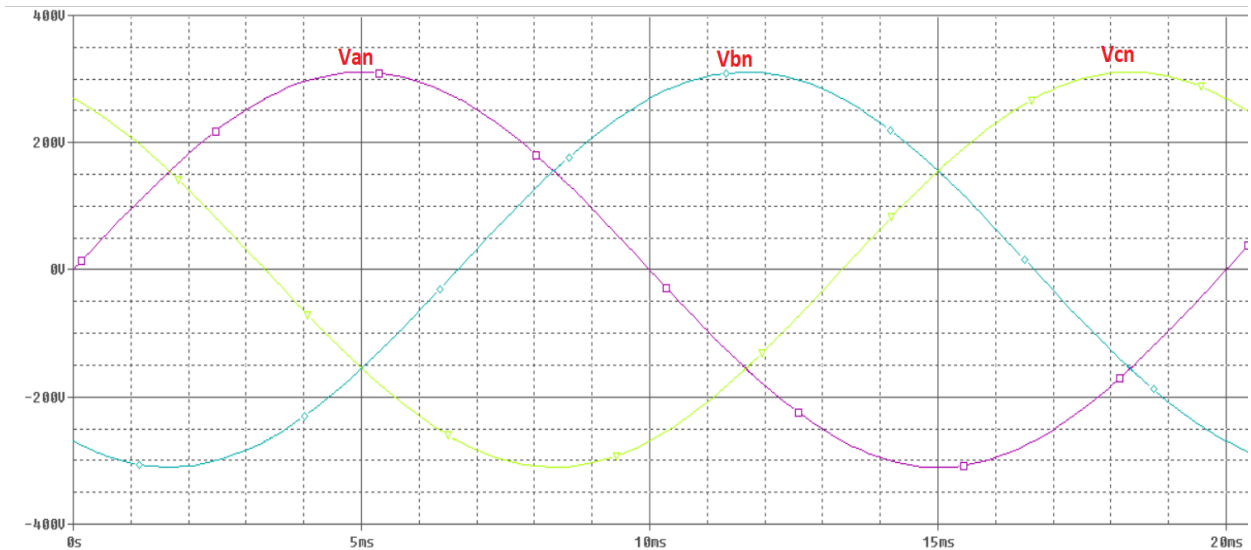
La tensión que cae en la carga estará dada de aplicar la ley de Kirchhoff de tensiones y se calcula como:

$$V_d = V_P - V_N$$

La tensión V_P es en todo momento igual a la tensión de línea más positiva. Mientras que V_N será igual a la tensión de línea más negativa. Por lo tanto, la forma de onda instantánea de V_d consistirá en seis segmentos por ciclo de frecuencia de línea. Por este motivo a este rectificador se lo conoce como

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4

rectificador de seis pulsos. Cada uno de estos segmentos pertenece a una de las seis combinaciones de voltaje de línea a línea. Es más fácil comprender esto si observamos las tensiones de fase, es decir las tensiones del punto a, b y c respecto al neutro.



Observando la gráfica y teniendo en cuenta lo ya mencionado podemos deducir que:

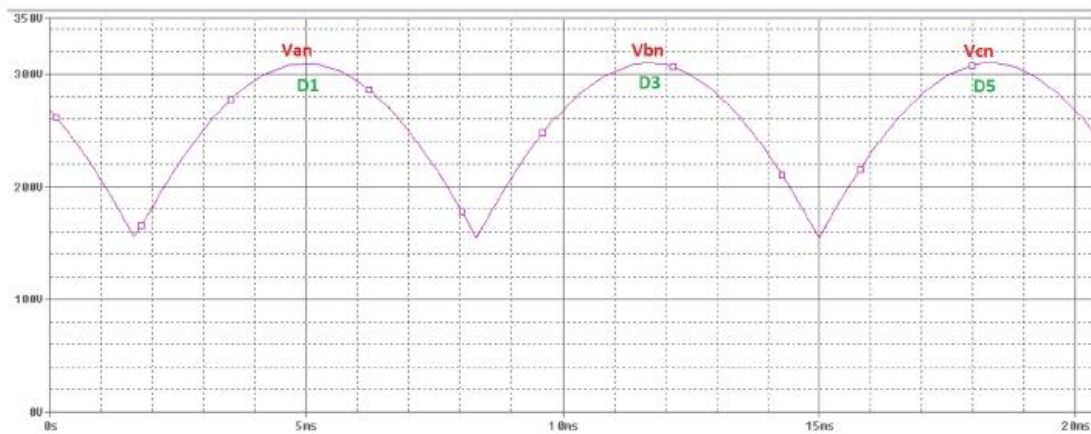
Cuando $V_{an} > V_{bn}$ y $V_{an} > V_{cn}$, el diodo D1 conducirá, D3 y D5 estarán en inversa.

Cuando $V_{bn} > V_{an}$ y $V_{bn} > V_{cn}$, el diodo D3 conducirá, D1 y D5 estarán en inversa.

Cuando $V_{cn} > V_{an}$ y $V_{cn} > V_{bn}$, el diodo D5 conducirá, D1 y D3 estarán en inversa.

La tensión VP será igual a la tensión de fase que se encuentra en conducción en ese momento. Es decir que tendrá la forma:

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4



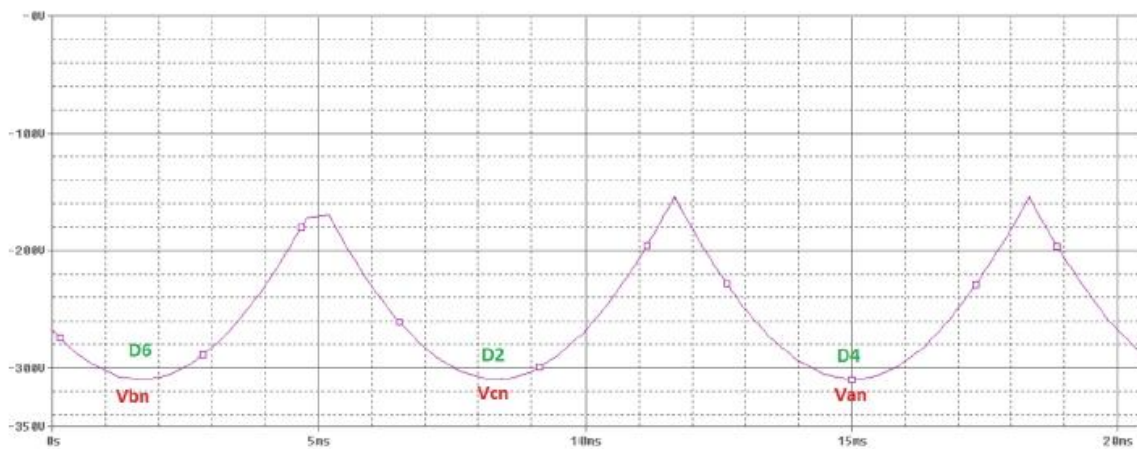
Por otro lado:

Cuando $V_{an} < V_{bn}$ y $V_{an} < V_{cn}$, el diodo D4 conducirá, D2 y D6 estarán en inversa.

Cuando $V_{bn} < V_{an}$ y $V_{bn} < V_{cn}$, el diodo D6 conducirá, D2 y D4 estarán en inversa.

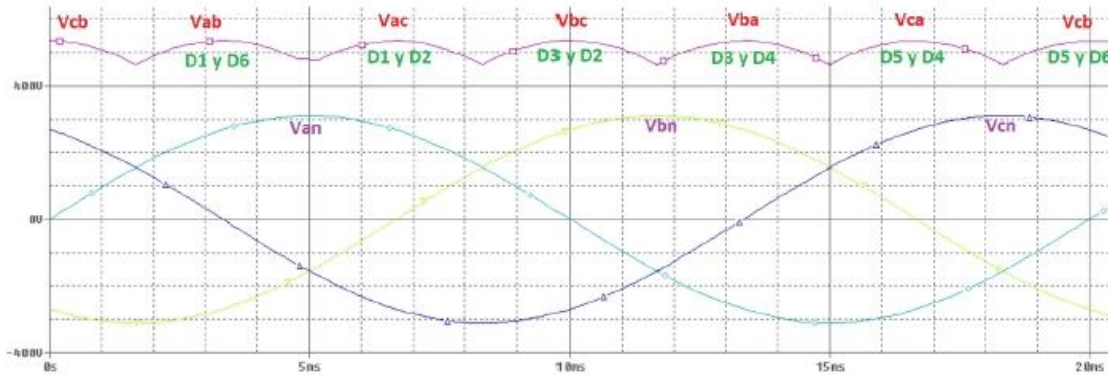
Cuando $V_{cn} < V_{an}$ y $V_{cn} < V_{bn}$, el diodo D2 conducirá, D4 y D6 estarán en inversa.

La tensión VD será igual a la tensión de fase que se encuentra en conducción en ese momento. Es decir que tendrá la forma:



UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4

Como dijimos la tensión vista por la carga será la diferencia entre V_P y V_N , por lo tanto tendrá la forma:



La tensión de salida será mucho mayor a la tensión de fase, además el ripple de la señal será de una frecuencia 6 veces mayor a la de fase. Siendo este el motivo por el cual los rectificadores trifásicos de onda completa son los más utilizados para requerimientos de alta potencia.

Notar que cada diodo conduce durante un periodo de 120 grados o $\pi/3$.

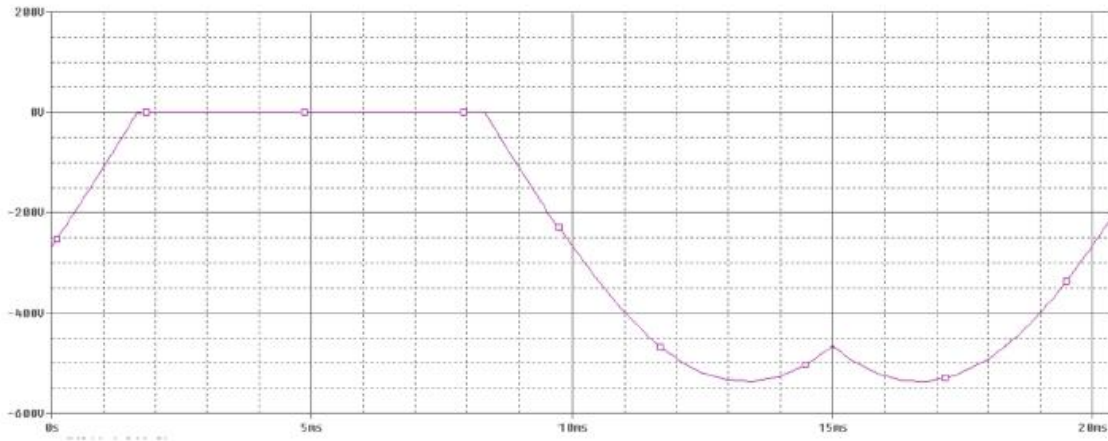
Además, la conducción esta intercalada con los diodos de la parte inferior. Es decir, mientras conduce D1 el circuito se cierra por D6 durante 60 grados o $\pi/6$, y por D2 el resto del tiempo. Lo mismo sucede para todos los diodos.

Debe tenerse en cuenta que la tensión inversa que debe soportar cada diodo está dada por la diferencia entre la tensión de fase y la tensión de salida:

$$VRRM = \sqrt{6} * V_{fRMS}$$

$$V_{RRM} = \sqrt{6} * 220V = 540V$$

La caída de tensión del diodo D1 se muestra a continuación:



Para los diodos restantes la caída de tensión presenta la misma forma, pero con un desfase.

Una vez observado el funcionamiento del rectificador trifásico no controlado nos será más fácil comprender el funcionamiento del rectificador controlado ya que este tiene el mismo principio de funcionamiento, solo que los diodos se reemplazan por tiristores y por lo tanto se puede regular el ángulo durante el cual conduce cada dispositivo y así regular la potencia media entregada a la carga.

Rectificadores no Controlados:

Como ya se mencionó, los rectificadores con diodos se utilizan para convertir una entrada de CA en una salida de CC con un valor de voltaje fijo. Para obtener voltajes de salida controlados, se utilizan tiristores de control de fase en vez de diodos. Debido a que es posible modificar el voltaje de salida de los rectificadores con tiristores controlando el ángulo de disparo de los mismos. Lo que se conoce como control de fase de tiristores.

Un tiristor de control de fase se activa aplicándole un pulso corto de corriente a su compuerta y se desactiva debido a la conmutación natural o al disparo de otro tiristor del rectificador.

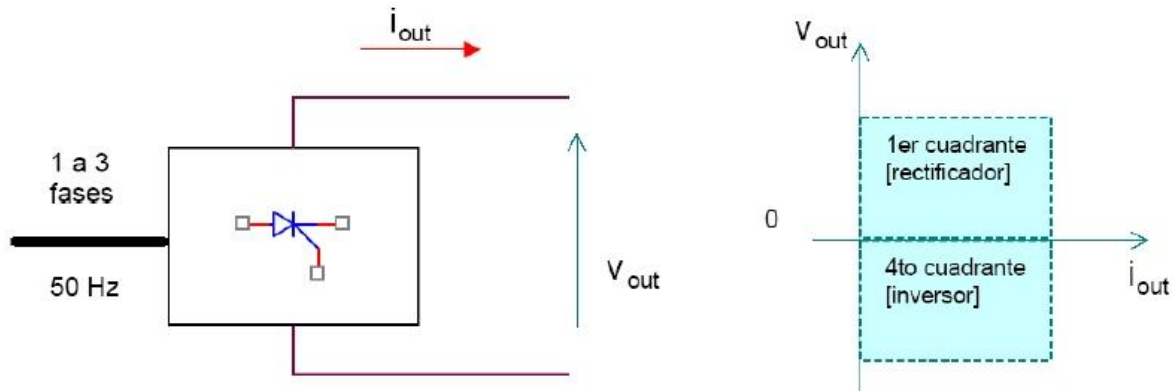
El rendimiento de este tipo de convertidores es superior al 95% y se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, como el control de motores de DC y AC, cargadores de baterías, etc. En todos los casos es necesario controlar el valor medio de la tensión entregada a la carga.

Los convertidores de control de fase se pueden clasificar de la siguiente manera:

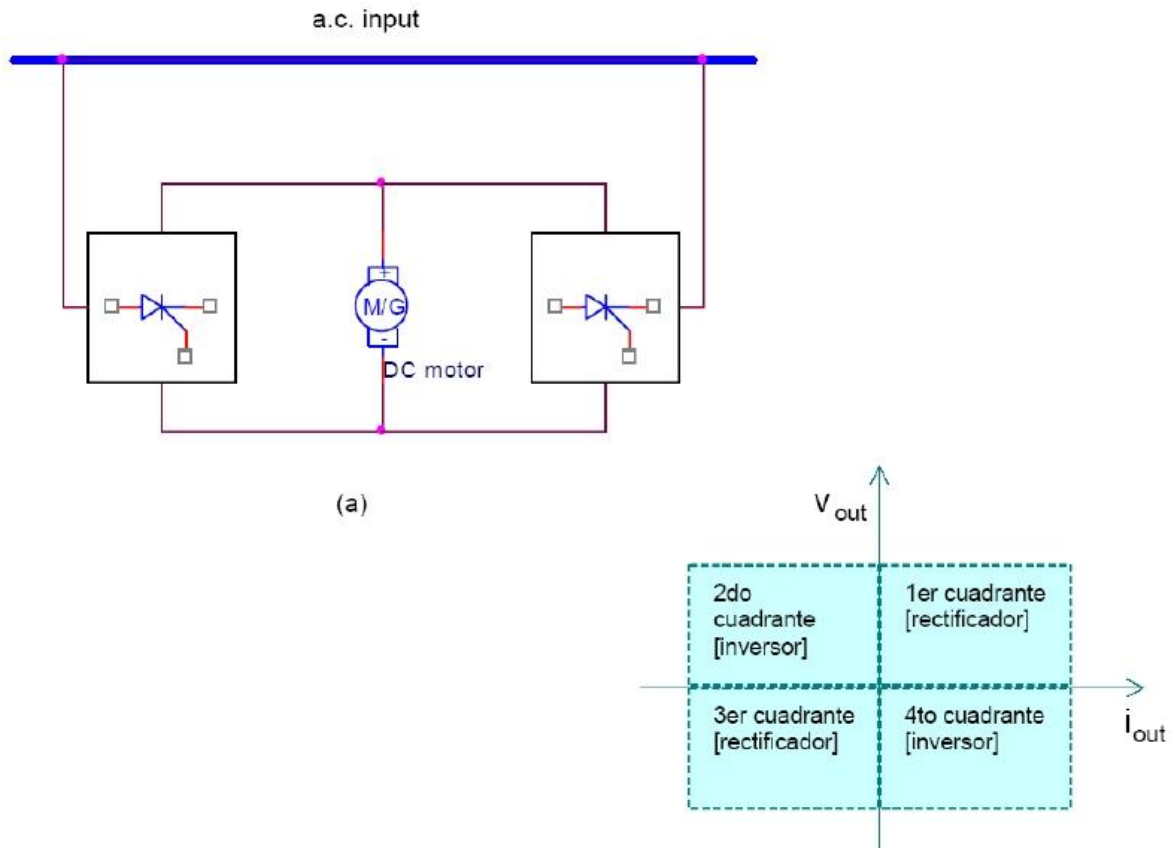
1. **Semi-convertidor:** o rectificador semi-controlado, es un convertidor de un solo cuadrante, y tiene una misma polaridad de voltaje y de corriente de salida. Utiliza tanto diodos como tiristores.
2. **Convertidor completo:** es un convertidor de dos cuadrantes, la polaridad de su voltaje de salida puede ser positiva o negativa. Sin embargo, la corriente de salida solo tiene una polaridad.
3. **Convertidor dual:** puede operar en los cuatro cuadrantes, y tanto su voltaje como su corriente de salida pueden ser positivos o negativos.

Los rectificadores totalmente controlados utilizan tiristores y controlan el valor medio de la tensión aplicada a la carga por medio del ángulo de conducción.

Principio de control de un rectificador controlado



La corriente puede tener un solo sentido. Por lo tanto, en el primer cuadrante el convertidor será un rectificador y el flujo de energía es desde el lado de CA al lado de CC. En el cuarto cuadrante el convertidor puede ser inversor, si la carga es regenerativa o es una fuente de energía, como una batería. En este caso la potencia se transfiere del lado de CC al lado de CA. Si es necesario el funcionamiento en los cuatro cuadrantes, como es el caso de un motor como carga, será necesario la conexión de dos convertidores conectados en antiparalelo, y es el caso de un convertidor dual.



Para que los tiristores puedan conducir, se deben cumplir las condiciones inherentes a estos dispositivos:

- ❖ El SCR deberá estar polarizado en forma directa.
- ❖ Se deberá aplicar una corriente adecuada a la compuerta.
- ❖ Deberá circular una corriente de ánodo mayor a la corriente de enganche del dispositivo durante un lapso de tiempo mayor que el especificado en su hoja de datos.

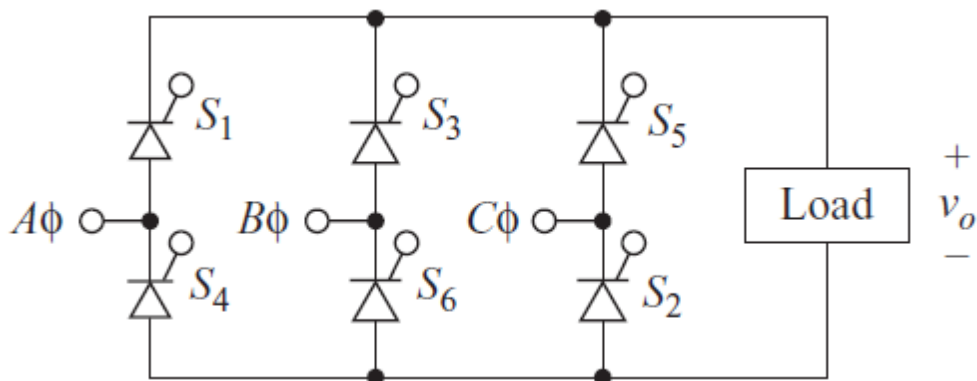
Una vez producido el enganche de los SCR, mantener el disparo en compuerta ya no será necesario. El apagado de los tiristores es en modo natural, cuando se produzca una circulación de corriente de ánodo menor que la de mantenimiento I_H durante un periodo de tiempo mayor que el tiempo de recuperación.

Analicemos el caso de un rectificador de onda completa trifásico, que es el que nos interesa en nuestro diseño.

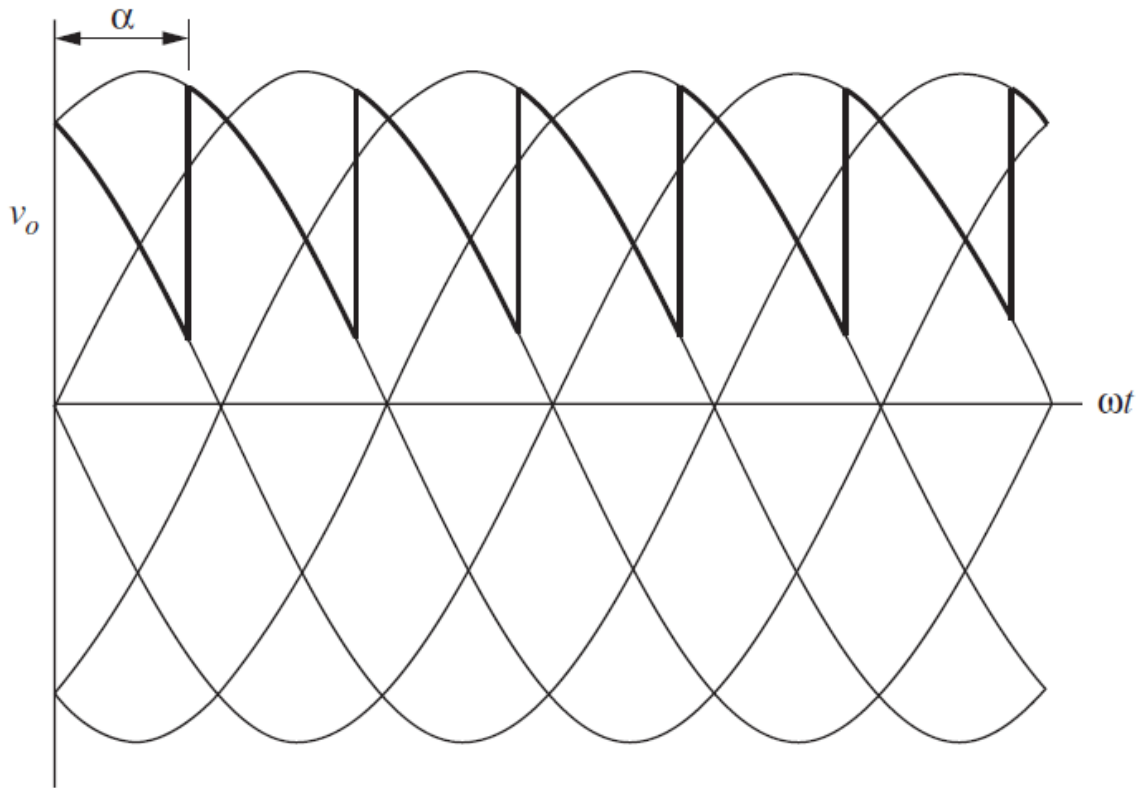
Rectificador trifásico controlado:

En determinadas aplicaciones se requiere disponer de un control del valor medio de la tensión continua por parte del usuario del equipo. Entre otros ejemplos, pueden destacarse las siguientes: carga de baterías, control de motores de corriente continua, líneas de transmisión de energía eléctrica en alta tensión (en las que el uso de corriente continua elimina las caídas de tensión inductivas de en la línea), etc.

En estos casos, tradicionalmente se han utilizado los denominados rectificadores controlados, equipos electrónicos en cuya estructura se utilizan tiristores como dispositivos de potencia.



(a)



(b)

(a) Rectificador de 3 fases controlado; (b) Tensión de salida para $\alpha = 45^\circ$

Ajustando el ángulo de disparo α se consigue controlar el valor medio de la tensión, donde el ángulo está referenciado con respecto al instante en el cual el tiristor empezaría a conducir si su corriente de puerta se aplicara en forma continua (o como si fuese un diodo) también conocido como instante de conducción natural para un tiristor.

$$V_O = \frac{1}{\pi/3} \int_{\pi/3}^{2\pi/3} V_{m,L-L} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{3V_{m,L-L}}{\pi} \cos(\alpha)$$

La ecuación anterior muestra que la tensión promedio se reduce a medida que el ángulo de retardo α se incrementa.

Calculo de los tiristores

Para diseñar circuitos convertidores es necesario determinar las especificaciones de los tiristores.

Los tiristores se especifican mediante la corriente promedio, la corriente RMS, la corriente pico y el voltaje de pico inverso. En el caso de los rectificadores controlados las especificaciones de corriente de los dispositivos dependen del ángulo de retraso (o de control).

Las especificaciones de los dispositivos de potencia deben diseñarse para la condición del peor caso, que ocurre cuando el convertidor entrega el voltaje de salida promedio máximo.

Para elegir el modelo de tiristor a utilizar partimos de las especificaciones de diseño de una $I_{max} = 100A$ y una $V_{max} = 311V$.

$$I_{avg} = \frac{I_{max}}{q} = \frac{100 A}{3} = 33,33 A$$

$$I_{RMS} = \frac{I_{max}}{\sqrt{3}} = \frac{100 A}{\sqrt{3}} = 57,73 A$$

$$V_{RRM} = 2V_{max} \cos\left(\frac{\pi}{6}\right) = 539v$$

Con estas especificaciones se elije el tiristor SKT 80 de Semikron que se puede ver en la Figura SKT 80

Se precisan 6 tiristores de esto para la elaboración de la fuente.

SKT 80

Thyristor Discretes
B5 (160SW24M12)

Part Number:	01236221; 01236231; 01236241; 01236251; 01236261; 01236271; 01236281; 01236291; 01236301
Product Status:	In production
Housing:	Stud Screw Fit Thyristor
V_{RRM} / V_{DRM} in V:	600-1800
I_F / I_T in A:	80
I_{FSM} / I_{TSM} in A:	1500
Technology:	Thyristor

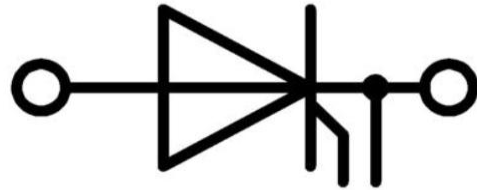


Figura SKT 80

Calculo del ángulo de retardo α

Como ya se mencionó en el marco teórico, al controlar el instante en el cual se dispara al tiristor, la tensión media puede controlarse en forma continua desde cero hasta un valor máximo. Lo mismo se cumple para la potencia suministrada por la fuente de CA.

El voltaje medio de CC, V_{avg} , para un rectificador trifásico controlado esta dado por la siguiente ecuación:

$$V_{avg} = \frac{3\sqrt{3}V_{max}}{\pi} \cos(\alpha)$$

En las especificaciones de diseño se estableció que V_{avg} debe variar entre 150V - 300V y que V_{max} tiene un valor de 380V. Despejando de la ecuación anterior el angulo de disparo se tiene que:

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{\pi \cdot V_{avg}}{3\sqrt{3}V_{max}} \right)$$

Evaluando esta función para $V_{avg} = 150V$ y $V_{avg} = 300V$ se obtiene que los tiristores deberán dispararse con un ángulo de retardo de $73,045^\circ$ y $54,323^\circ$ respectivamente, es decir:

$$54,323^\circ \leq \alpha \leq 73,045^\circ$$

Circuitos de protección

Protección de sobrecorrientes:

El enunciado del práctico establece que el circuito debe contar con protección contra cortocircuitos y sobrecorrientes. Según la nota de aplicación de **Semikron AN 18-002 “Thyristor Triggering and Protection of Diodes and Thyristors”** dicha protección se puede realizar con fusibles que se pueden configurar como se ve en la Figura AN 18-002. En nuestro caso se eligió colocar un fusible por fase.

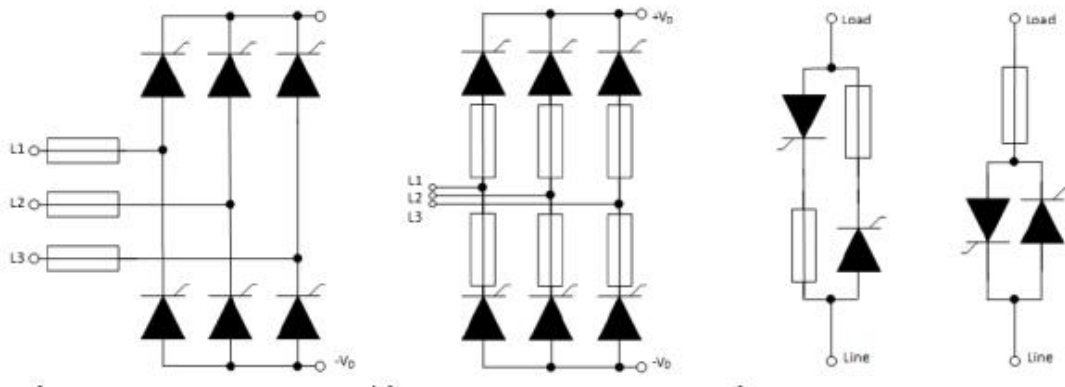


Figura AN 18-002

Existen dos parámetros que se utilizan para seleccionar el fusible correcto para una aplicación, la corriente nominal y I^2t .

La I^2t de un fusible es la característica de fusión del fusible. Debemos escoger un fusible de valor I^2t inferior al del tiristor, ya que así será el fusible el que se destruya y no el tiristor.

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4

La corriente nominal del fusible debe ser como mínimo la corriente máxima permitida de funcionamiento.

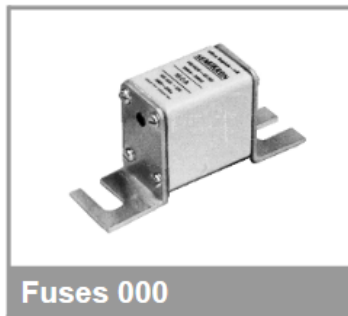
Se utiliza un margen de seguridad de 20% a la hora de seleccionar este parámetro.

I_{TSM}	$T_{vj} = 25\text{ °C}; 10\text{ ms}$	1700	A
	$T_{vj} = 130\text{ °C}; 10\text{ ms}$	1500	A
i^2t	$T_{vj} = 25\text{ °C}; 8,35 \dots 10\text{ ms}$	14500	A ² s
	$T_{vj} = 130\text{ °C}; 8,35 \dots 10\text{ ms}$	11000	A ² s

I^2t extraído de la hoja de datos del SKT80.

El tiristor SKT 80 tiene un valor de $I^2t = 11000A^2s$ como peor caso. Por lo que el I^2t del fusible debería ser menor a este valor y tener una corriente nominal de $I_N \geq 48$ (20% más de la corriente máxima). En la siguiente tabla se puede ver una serie de fusibles con distintos valores de I^2t y I_N . El fusible adoptado es el 30119561, con $I^2 = 730A^2$ y $I_N = 50^a$.

Fuses 000



Types ¹⁾ visual indication	Types for micro- switch ²⁾	Size	Nom. current I_N A	Nom. voltage U_N V	i^2t at U_N A ² s	Losses at I_N W
30119541	30140923	000	32	660	270	10
30119551	30140924		40		460	12
30119561	30140925		50		730	14
30138821	30140926		63		1.500	16
30119571	30140927		80		2.500	21
30119581	30140928		100		4.200	23
30119591	30140929		125		8.900	26
30119601	30140931		160		16.000	31
30140914	30140932		200		31.500	36
30140915	30140933		250		52.000	45
30140916	30140934		315		82.000	58
30140948	30140935		350	500	110.000	58
30140917	30140936		400		160.000	66

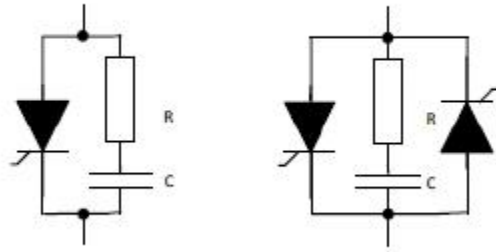
¹⁾ total height H = 38,5 mm

²⁾ μ -switch 30137972, total height G = 55 mm

Tabla de fusibles de SEMIKRON

Protección contra dv/dt

La forma más común de proteger tiristores contra sobretensiones y limitar dv/dt es usando una red snubber que consisten en redes RC conectadas en paralelo con los tiristores individuales.



Red snubber

La siguiente Tabla “**Recommended snubber circuits for SEMIKRON thyristors**” de la nota de aplicación **AN 18-002** contiene recomendaciones de diseño de redes snubber para tiristores SEMIKRON. Utilizando dicha tabla se seleccionan $R = 47\Omega/10W$ y $C = 0,22\mu F$.

Table 5: Recommended snubber circuits for SEMIKRON thyristors						
Line Input Voltage V_V [V]	Snubber Data	Mean forward current I_{FAV}, I_{TAV} [A]				
		≤ 25	≤ 100	≤ 250	≤ 500	> 500
≤ 250	C [μF]	0.22	0.22	0.22	0.47	application specific
	R [Ω]	68	33	33	33	
	P_{Rmin} [W]	6	10	10	25	
≤ 400	C [μF]	0.22	0.22	0.22	0.47	
	R [Ω]	68	47	47	33	
	P_{Rmin} [W]	6	10	10	25	
≤ 500	C [μF]	0.1	0.1	0.1	0.22	
	R [Ω]	100	68	68	47	
	P_{Rmin} [W]	10	10	10	25	
≤ 690	C [μF]		0.1	0.1	0.22	
	R [Ω]		100	100	68	
	P_{Rmin} [W]		10	10	50	

Circuitos de control

La generación de señales de disparo para los tiristores de convertidores trifásicos de CA a CD requiere **(1)** de la detección del instante de conmutación natural, **(2)** de la formación del pulso para generar pulsos de corta duración y **(3)** del aislamiento del pulso a través de transformadores. El circuito propuesto permite disparar a todos los tiristores, con el mismo retardo de tiempo respecto a su instante de conmutación natural a través de una tensión de referencia ajustable. En las siguientes sub secciones se explica el circuito.

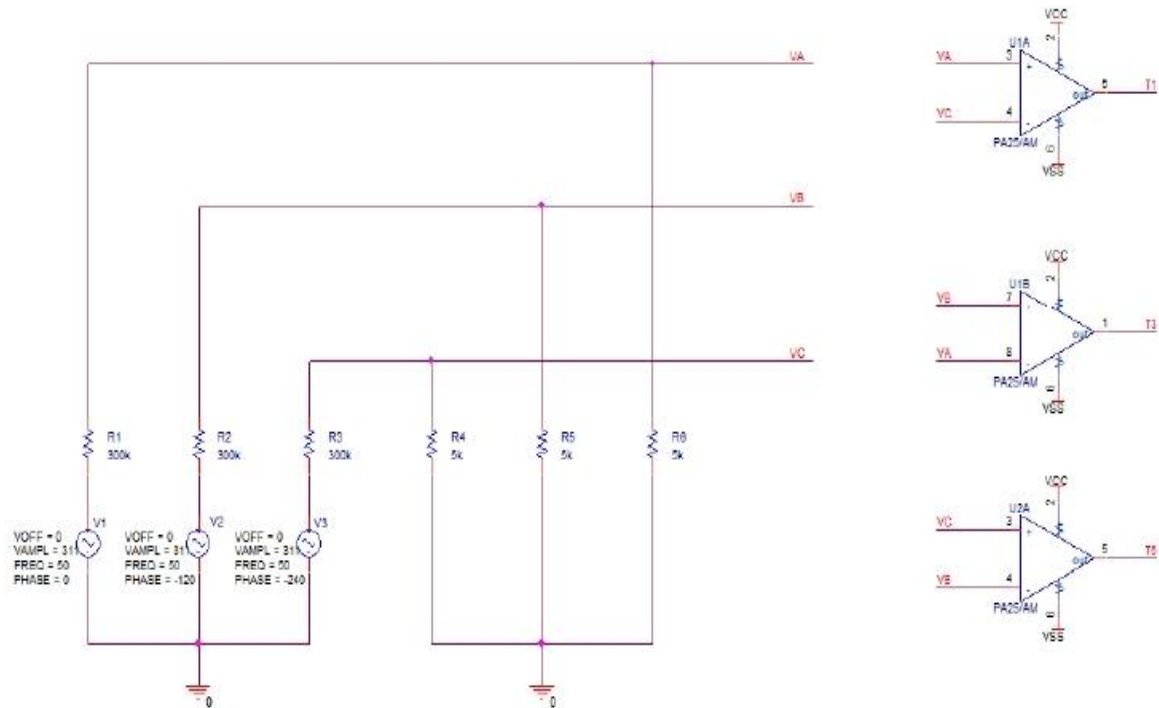
❖ Sincronismo de línea:

Este bloque consiste en detectar el instante de conmutación natural de los tiristores, para ello, es necesario detectar el instante en el que la tensión de una fase supera la tensión de otra fase. Esto se puede lograr mediante comparadores implementados con amplificadores operacionales.

Los instantes de conmutación natural se pueden ver en el siguiente cuadro:

	Instante de conmutación natural		Instante de conmutación natural
T1	$V_{an} > V_{cn}$	T6	$-(V_{an} > V_{cn})$
T3	$V_{bn} > V_{an}$	T2	$-(V_{cn} > V_{bn})$
T5	$V_{cn} > V_{bn}$	T4	$-(V_{an} > V_{cn})$

El circuito propuesto se puede ver en la Figura 1.



❖ Base de tiempos y regulación:

Una vez obtenido el instante de conmutación natural se debe generar una rampa a partir de la etapa de entrada con el fin de compararla con una tensión de referencia y poder conseguir el ángulo de disparo.

Existen muchas formas de generar una rampa a partir de una señal de entrada cuadrada, una forma es mediante un integrador con amplificador operacional.

El circuito funciona como sigue:

- Cuando se produce el instante de conmutación natural para un tiristor dado la salida del comparador es negativa y es integrada por el amplificador operacional generando una rampa creciente.
- Cuando las condiciones de disparo para el tiristor dejan de cumplirse la salida del comparador se vuelve positiva llevando al corte al transistor

MOSFET canal N que genera un cortocircuito en los terminales del capacitor para que este se descargue.

- Este proceso se repite periódicamente generando una tensión de diente de sierra con un ciclo de trabajo del 50% y un periodo de 10ms que esta sincronizada con el instante de conmutación natural.

Esta tensión de rampa se compara con una tensión de referencia en un segundo comparador cuya salida es positiva sólo si esta tensión es mayor a la referencia.

Para poder disparar de manera correcta el tiristor se precisa de una señal de pulsos de ancho constante durante un intervalo de tiempo constante y así garantizar el disparo. Por esto se utiliza un circuito monoestable a la salida del comparador con el fin de limitar el tiempo a un valor constante, la salida del monoestable se multiplica con una señal de frecuencia fija mediante una compuerta lógica AND, así obteniendo un tren de pulsos.

En la Figura 2 se puede ver el circuito y en la Figura 3 las formas de ondas esperadas. Los circuitos para cada tiristor se repiten por lo que solo se desarrolla uno.

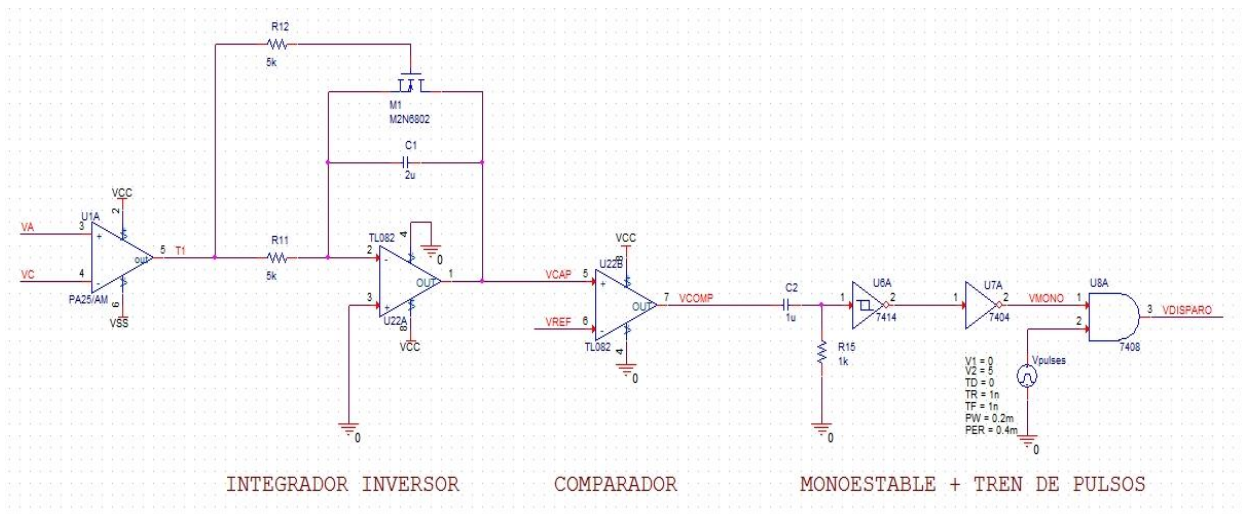


Figura 2

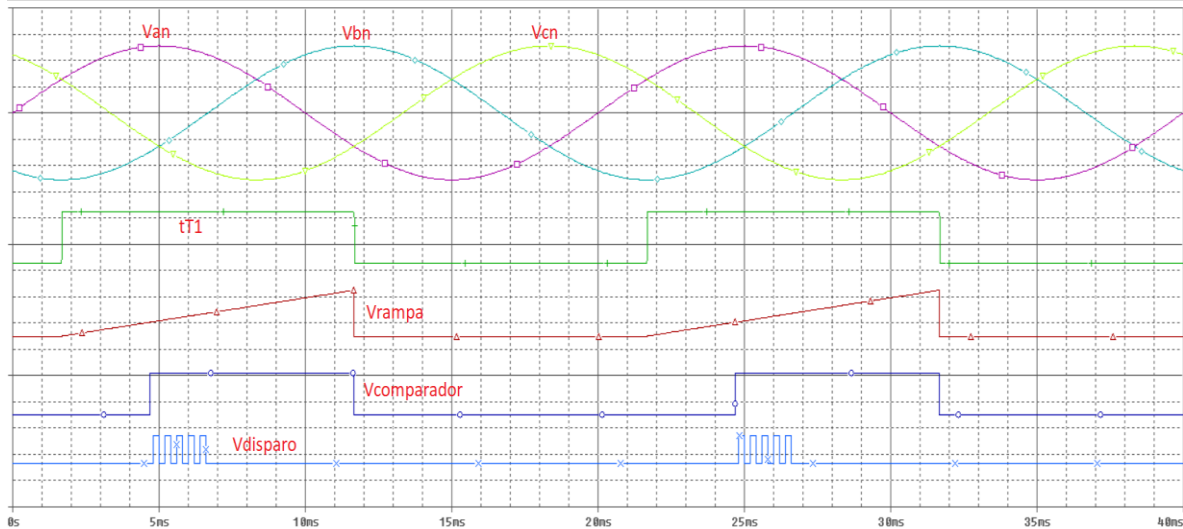


Figura 3

Con este circuito se puede variar el ángulo de disparo α entre 0° y 180° ajustando un potenciómetro.

Para que el recorrido del potenciómetro se corresponda a una variación de α entre $54,323^\circ \leq \alpha \leq 73,045^\circ$, se utiliza el circuito de la Figura 4.

❖ Driver del tiristor

El driver es el circuito encargado de acondicionar la señal que proviene de la etapa de control de baja potencia a la etapa de potencia para asegurar el correcto funcionamiento y disparo del tiristor. Los tiristores para ser cebados necesitan una tensión positiva en la compuerta con respecto al cátodo, por ello es necesario que el circuito driver sea flotante con respecto a la masa de referencia del circuito.

La señal de control se acopla al circuito excitador eléctricamente aislado por medio de un transformador como se ve en la Figura 4

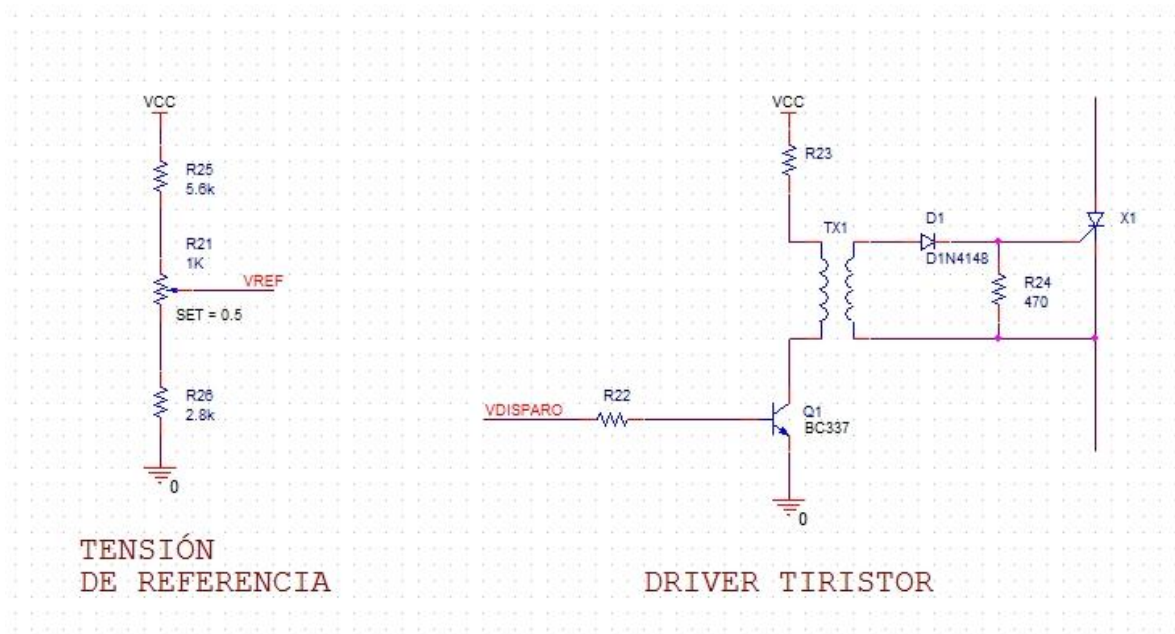
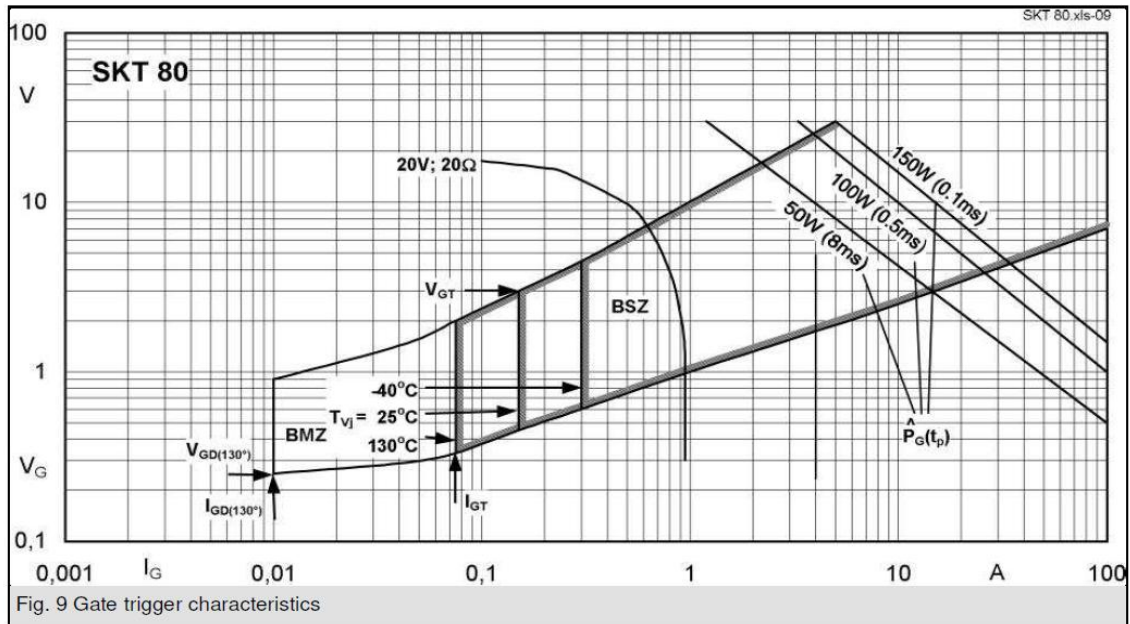


Figura 4

Para diseñar correctamente el driver es necesario recurrir a la hoja de datos para extraer los valores de excitación que garantizan el disparo del tiristor. La Figura 5 muestra la zona de disparo segura que nos proporciona el fabricante del tiristor de SEMIKRON SKT 80.



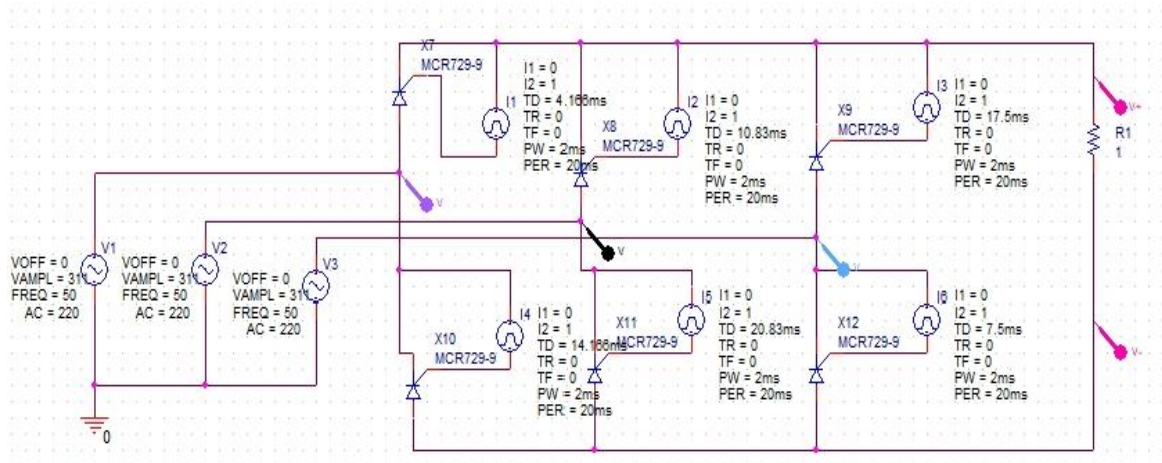
Simulaciones:

Como sabemos el ángulo a partir del cual cada transistor puede conducir es:

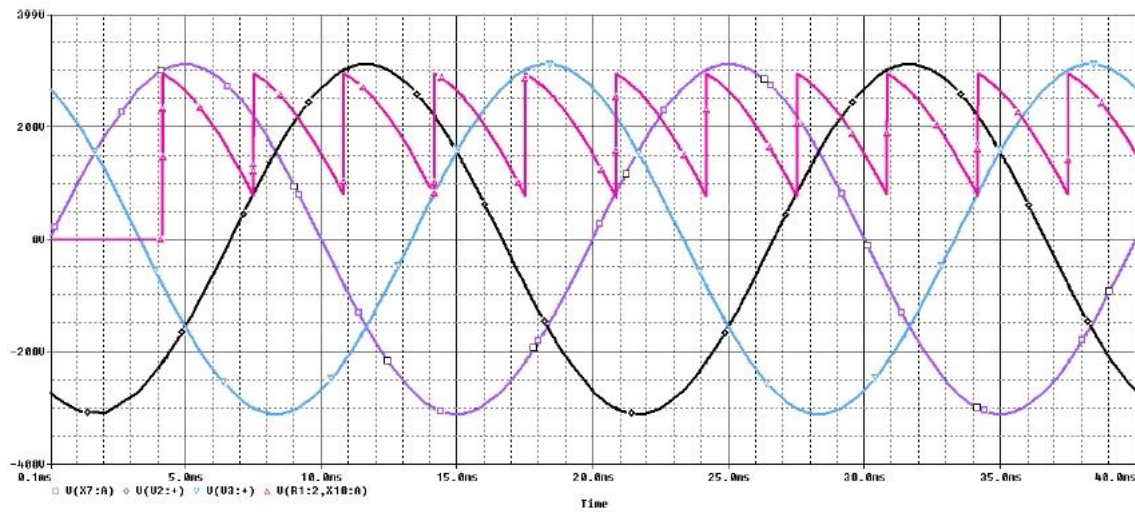
- α T1=30°=1.66 ms
- α T5=90°=5 ms
- α T3=150°=8.33 ms
- α T4=210°=11.66 ms
- α T2=270°=15 ms
- α T6=330°=18.33 ms

El enunciado del práctico establece realizar simulaciones para un ángulo de conducción $\alpha = 45^\circ$ y $\alpha = 135^\circ$ que representan tiempos de retardos igual a 2,5 ms y 7,5ms respectivamente.

Carga resistiva:

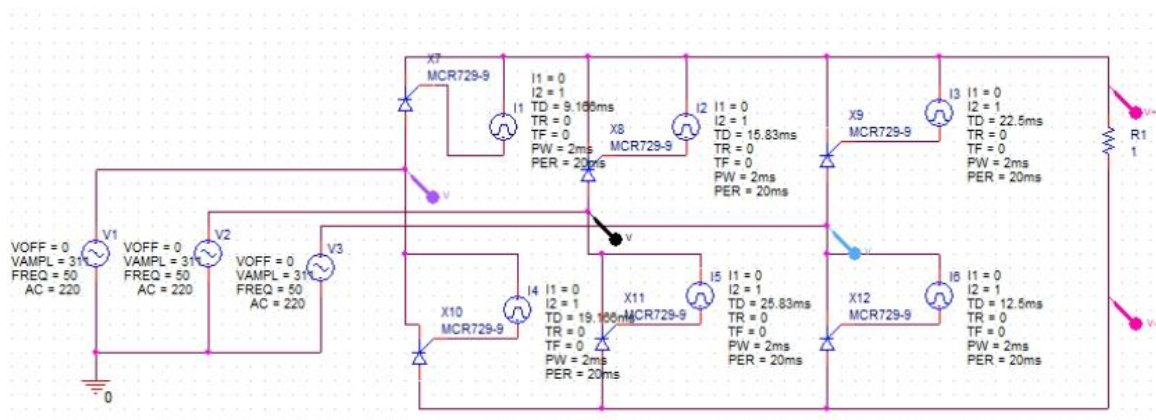


Carga resistiva, $\alpha = 45$

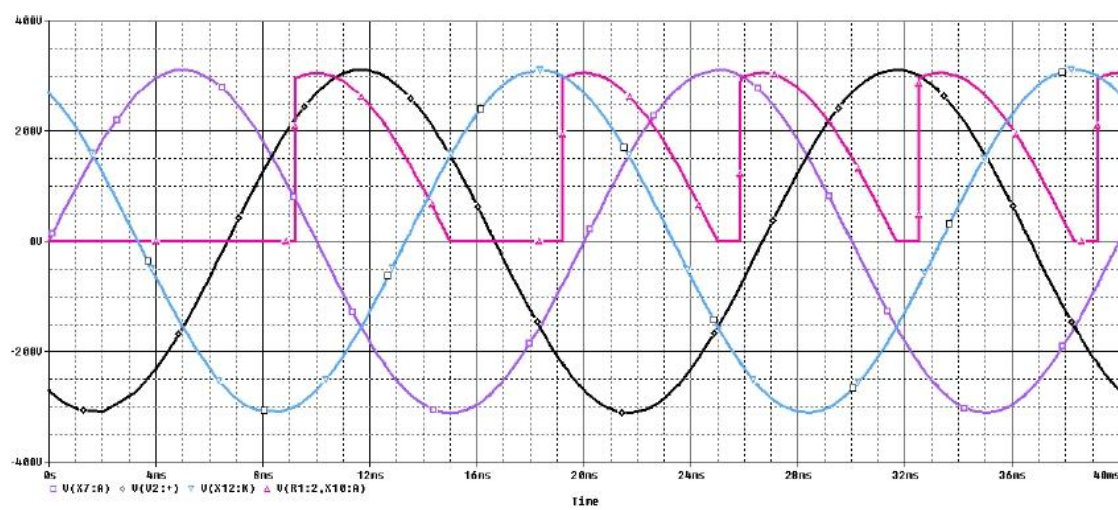


Carga resistiva, $\alpha = 45$

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4

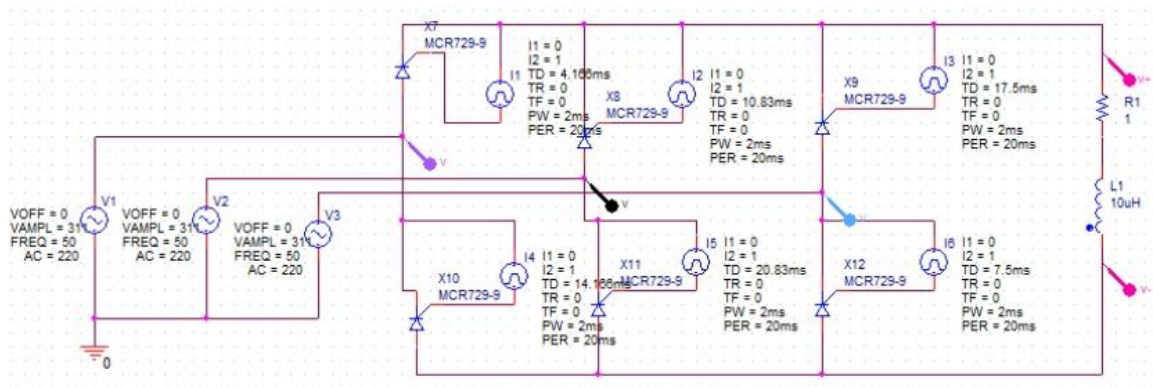


Carga resistiva, $\alpha = 135$

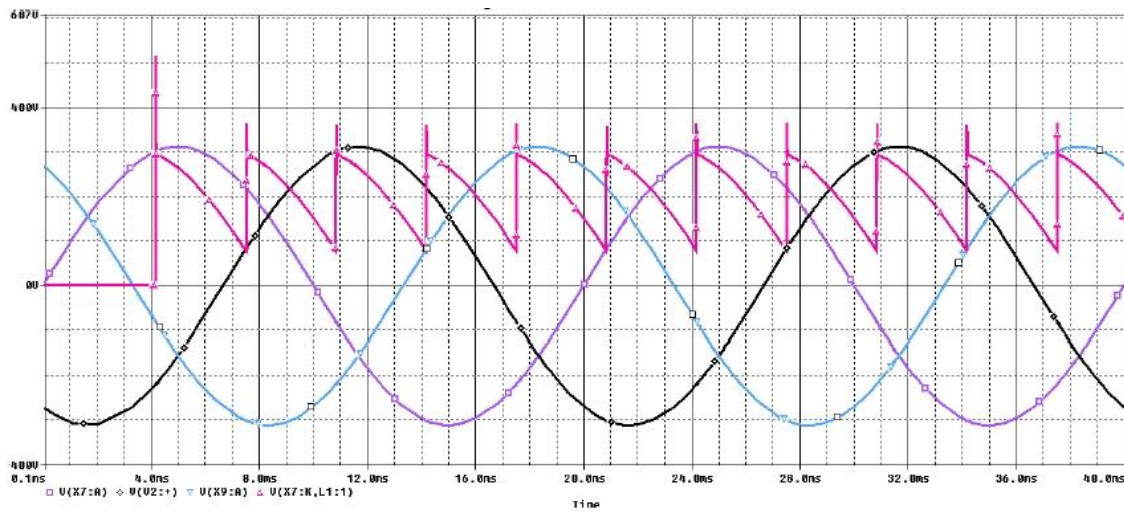


Carga resistiva, $\alpha = 135$

Carga resistiva inductiva:

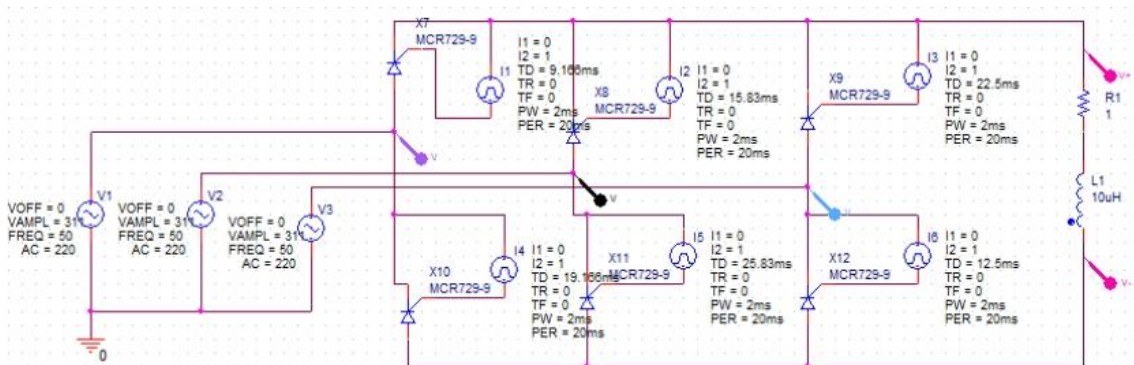


Carga resistiva inductiva, $\alpha = 45$

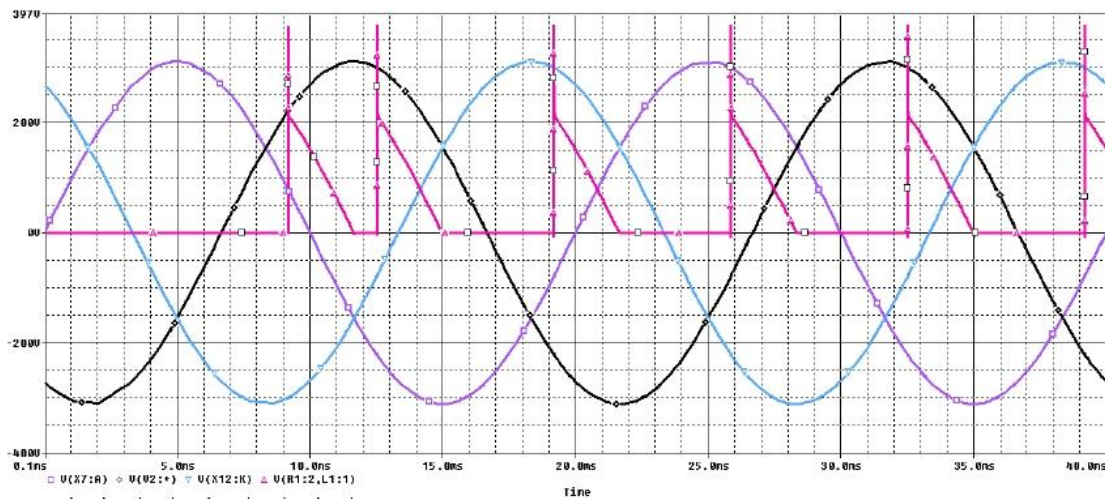


Carga resistiva inductiva, $\alpha = 45$

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4

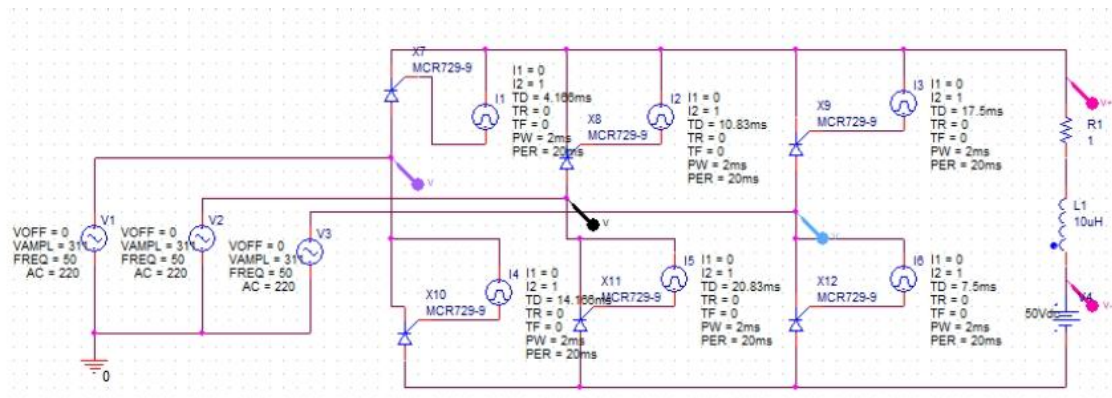


Carga resistiva inductiva, $\alpha = 135^\circ$

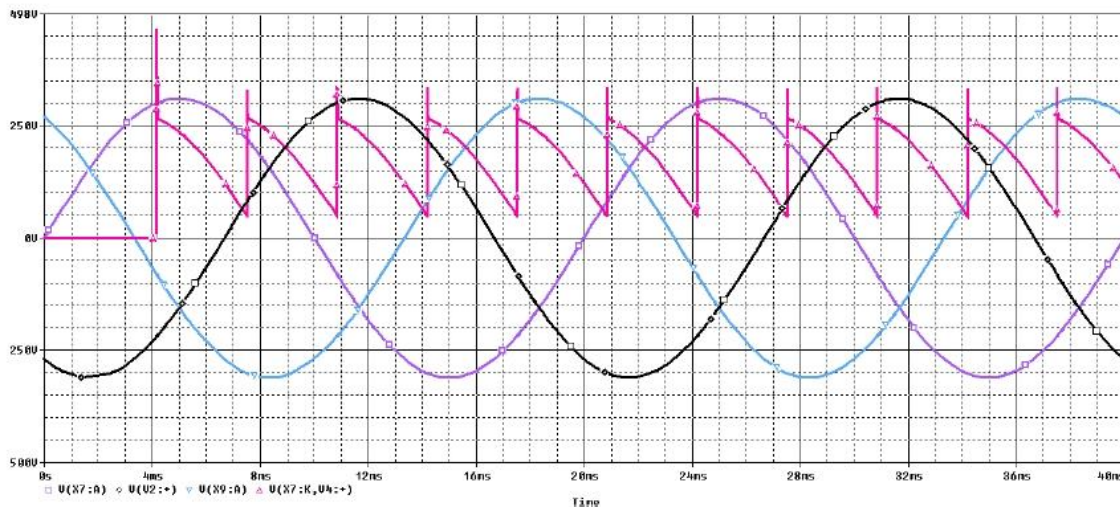


Carga resistiva inductiva, $\alpha = 135^\circ$

R-L-E:

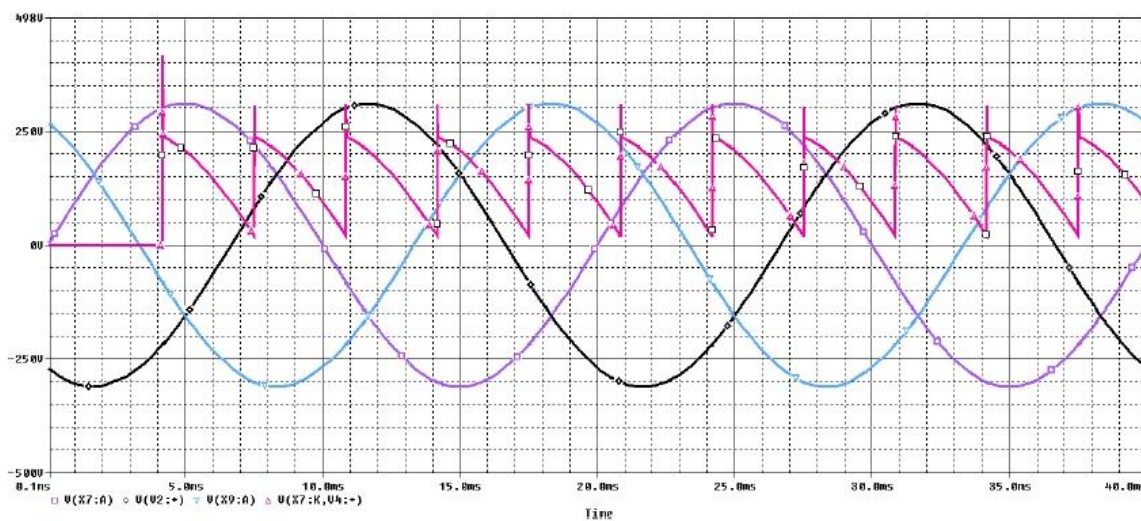


R-L-E, $\alpha = 45$

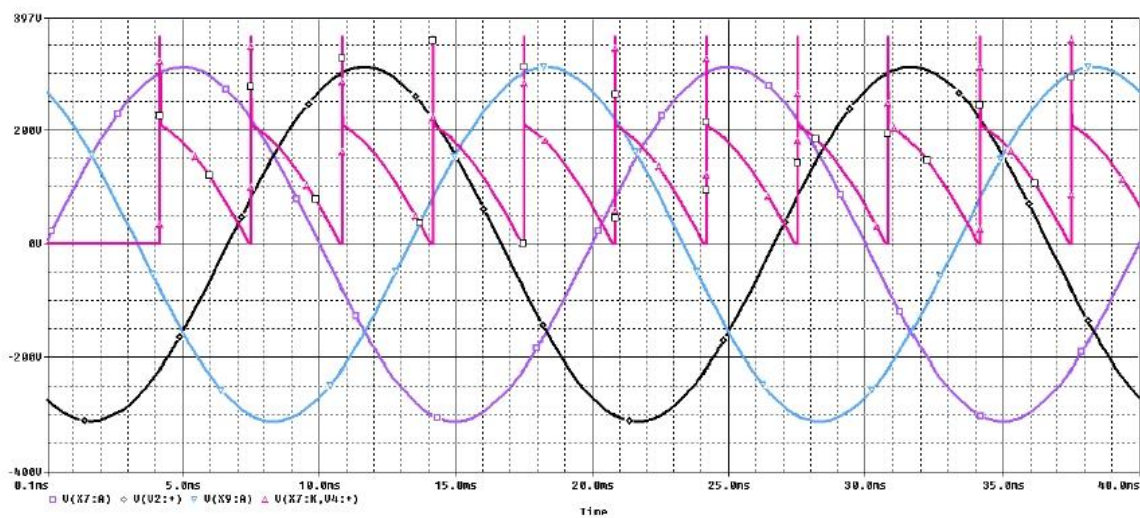


R-L-E, $\alpha = 45$, $E=50$ V

UTN-FRC - Electrónica de Potencia - Trabajo Práctico Nro. 4



R-L-E, $\alpha = 45^\circ$, $E = 100 \text{ V}$



R-L-E, $\alpha = 45^\circ$, $E = 150 \text{ V}$

Conclusiones:

Las ventajas del convertidor trifásico respecto del monofásico son importantes, y estas son: es posible obtener una tensión mayor, la frecuencia de las componentes ondulatorias es mayor comparada con el convertidor monofásico, por lo que los requisitos del filtro son menores. Por estas razones los convertidores trifásicos son ampliamente utilizados en propulsores de velocidad variable de alta potencia.

Por otro lado, la utilización de un rectificador de onda completa nos permite obtener una tensión de salida con menor ondulación que utilizando una rectificación trifásica de media onda.

Una vez obtenida la tensión de salida se puede filtrar para obtener una señal de salida lo más continua posible.

La ventaja de utilizar un rectificador controlado respecto a uno no controlado es que este permite un control de la potencia entregada a la carga mediante el control del ángulo de disparo de cada tiristor. Sin embargo, necesitan circuitos de control más complejos y costosos.

Los semiconductores utilizados en este tipo de circuito pueden ser muy costosos y difíciles de conseguir, por lo tanto, se recomienda protegerlos contra cortocircuitos o tensiones elevadas. Existen muchas notas de aplicación de distintos fabricantes con circuitos de protección y recomendaciones. En este informe se utilizó la nota de aplicación de **Semikron AN 18-002 "Thyristor Triggering and Protection of Diodes and Thyristors"**.

Por último, diremos que un buen circuito de sincronismo es esencial en este tipo de rectificadores debido a que un disparo mal ejecutado puede provocar la pérdida total del sistema.

Bibliografía:

Filminas del Ing Oros "Rectificación de potencia"

Electrónica de potencia Parte I, Ing Oros.

Electrónica de potencia ,3 era edición Muhammad Rashid.

