

CONTROL INDUSTRIAL
Profesor Esteban Lemos

Índice

1	Medición de potencia	3
1.1	Objetivo	3
1.2	Revisión de conceptos	3
1.3	Régimen Senoidal Permanente	3
1.3.1	Potencia Activa	3
1.3.2	Potencia Reactiva	4
1.3.3	Potencia Aparente	4
1.4	Circuitos no lineales	4
1.5	Enunciado	4
1.5.1	Armado	4
1.5.2	Medición y procesado	5
1.6	Entregar:	6
2	Encendido y apagado de Tiristores	7
2.1	Objetivo	7
2.2	Medición y análisis.	7
2.2.1	Circuito 1 medición de " I_{GT} "	7
2.2.1.1	Proceso de cálculo.	8
2.2.1.2	Proceso Operativo	9
2.2.2	Circuito 2 medición de " I_H "	9
2.2.2.1	Proceso de cálculo	9
2.2.2.2	Proceso Operativo	9
2.2.3	Circuito 2 medición de " I_L "	10
2.2.3.1	Proceso Operativo	10
2.2.4	Circuito 3 Apagado del tiristor	10
2.2.4.1	Proceso operativo	11
2.3	Tablas de resultados	12
2.4	Cuestionario	12
2.5	Entrega	13
3	Implementación del Pte. H	13
3.1	Objetivo	13
3.2	Lista de Materiales	13
3.3	Tiempos de conmutación	14
3.3.1	Contestar los siguientes puntos	15
3.4	Circuito generador de Tiempos muertos	15
3.4.1	Incorporar al informe	16
3.5	Circuito puente	16
3.6	Entrega	17

Trabajos Prácticos

1 Trabajo Práctico 1

1.1 Objetivo

Medir la potencia Activa, Reactiva, y Aparente debido al desfase y la Deformación de la corriente de un circuito no lineal.

1.2 Revisión de conceptos

Tal como se pudo ver en clase, la potencia es la velocidad con la que se producen los intercambios energéticos. Existen en principio dos tipos de intercambios:

- Aquellos que no pueden revertirse, en los cuales la energía se transforma, por ejemplo, cuando se eleva la temperatura de un resistor y se intercambia calor con el medio ambiente o cuando un motor gira.
- Aquellos que pueden revertirse, por ejemplo, cuando la energía se almacena en capacitores o inductores en forma de campo eléctrico o magnético respectivamente para luego volver al circuito nuevamente en forma de corriente o diferencia de potencial.

En el campo de la distribución de energía estos procesos de intercambio se estudian para analizar la calidad del transporte para lo que se caracteriza el factor de potencia. El mismo consiste en:

$$F_P = \frac{P}{S}$$

Donde P es el valor medio de la potencia o de los intercambios energéticos no conservativos, dicho en otras palabras, caracteriza los intercambios energéticos que resultan de la transformación de energía eléctrica en calor, movimiento, iluminación, etc.

$$P = \frac{\int_0^T i(t) \cdot v(t) dt}{T}$$

Y donde S es la potencia total, también conocida como aparente que debe de ser capaz de suministrar la fuente de energía y transportar el sistema de distribución.

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

1.3 Régimen Senoidal Permanente

1.3.1 Potencia Activa

Se puede definir directamente como el producto de la potencia aparente por el coseno de la diferencia de fase entre tensión y corriente o directamente el coseno del argumento de la impedancia compleja.

$$P = |S| \cdot \cos(\phi_Z)$$

1.3.2 Potencia Reactiva

Caracteriza los intercambios que ocurren en los elementos reactivos de características lineales del circuito como ser los inductores y los capacitores. En estos elementos la energía se almacena para volver luego a la fuente. Se puede definir como el producto de la potencia aparente por el seno de la diferencia de fase entre tensión y corriente o directamente el seno del argumento de la impedancia compleja.

$$Q = |S| \cdot \cos(\phi_Z)$$

1.3.3 Potencia Aparente

resulta de combinar ambas potencias en un número complejo que engloba el total de los intercambios energéticos

$$\vec{S} = P + jQ$$

1.4 Circuitos no lineales

Si bien en muchos casos los circuitos se alimentan con señales senoidales, la incorporación en el circuito de elementos no lineales termina deformando la corriente del circuito y por consiguiente se da la aparición de armónicos que complejizan la determinación de un único desfase entre tensión y corrientes. Para estos casos se puede llevar adelante el cálculo de la potencia aparente mediante la obtención de los valores eficaces de la tensión y la corriente aplicando teorema de superposición, por lo que si una señal está compuesta de una cantidad finita de armónicos su valor eficaz resulta:

$$V_{RMS}^2 = V_{0RMS}^2 + V_{1RMS}^2 + V_{2RMS}^2 + \dots + V_{nRMS}^2$$

Teniendo en cuenta que cada armónico corresponde a una señal de tipo senoidal podemos entonces decir:

$$V_{RMS}^2 = V_0^2 + \frac{\hat{V}_1^2}{2} + \frac{\hat{V}_2^2}{2} + \dots + \frac{\hat{V}_n^2}{2}$$

En este tipo de circuitos (no lineales) se puede observar entonces una potencia que se encuentra contenida en los armónicos, a la misma la vamos a definir como PD o potencia debido a la deformación de la corriente, la misma se obtiene:

$$P_D = \frac{\hat{V}_1}{2} \cdot \sqrt{\sum_{n \neq 1}^{\infty} \hat{I}_n^2}$$

1.5 Enunciado

1.5.1 Armado

Utilizando el transformador aislador provisto por el docente obtener en forma experimental la tensión aplicada y la corriente a través de la carga para los siguientes casos:

1. Lámpara incandescente.
2. Lámpara LED (con leds a la vista).
3. Lámpara LED (Macro LED).

4. Lámpara LED (OSRAM)
5. Lámpara LED (LEDAR)
6. **Lámpara incandescente con diodo en serie.**

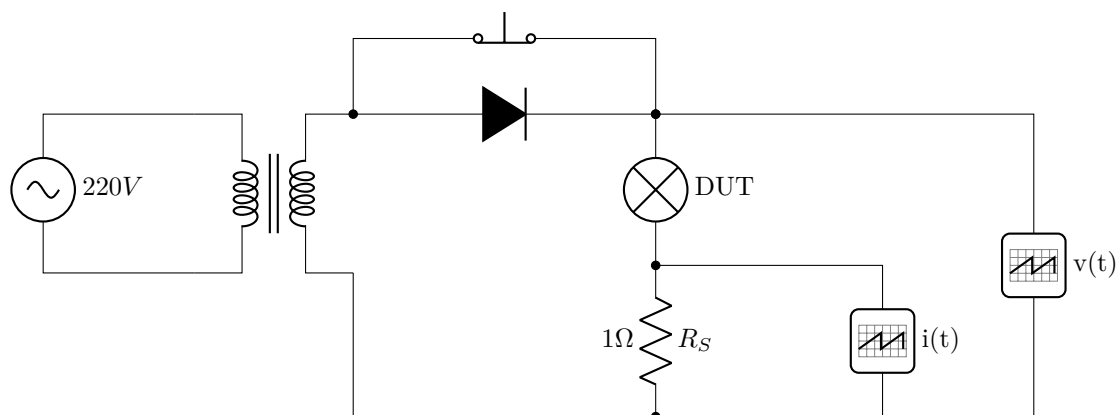


Figura 1.1: Diagrama de conexionado

1.5.2 Medición y procesado

1. Obtener para cada una de las lámparas:
 - (a) Un archivo CSV (Valores Separados por Comas) para la tensión aplicada.
 - (b) Un archivo CSV para la corriente.
2. Procesar los archivos obtenidos o calcular según corresponda (para cada lámpara) mediante el uso de Excel, Python o Software a elección.
 - (a) Un gráfico de la tensión aplicada.
 - (b) Un gráfico de la corriente aplicada.
 - (c) Un gráfico de la potencia instantánea $p(t) = v(t) \cdot i(t)$
 - (d) Un gráfico del contenido armónico obtenido mediante el uso de la FFT (Transformada rápida de Fourier)
 - (e) El Valor RMS de la tensión.
 - (f) El valor RMS de la corriente.
 - (g) El valor medio de la potencia.
 - (h) El valor aparente de la potencia.
 - (i) El valor de la potencia debido a la deformación.
 - (j) El valor de la potencia reactiva.
 - (k) El factor de potencia.
 - (l) Opcional graficar el prisma de potencias.

1.6 Entregar:

Un informe que contenga las señales de tensión, corriente y potencia en función del tiempo reconstruidas.

Incorporar para cada lámpara o carga los valores característicos solicitados.

2 Trabajo Práctico 2

2.1 Objetivo

El objetivo de esta práctica es el análisis de algunos puntos característicos de la curva tensión-corriente del tiristor C106M (On Semiconductor, <http://onsemi.com>). Se analizarán, adicionalmente, circuitos de apagado de dicho semiconductor.

Traer armados los tres circuitos propuestos y uno o dos tiristores para utilizarlos en los mismos. Realizar en cada caso el conexionado propuesto y llevar acabo las mediciones solicitadas.

2.2 Medición y análisis.

Medición y análisis de los siguientes puntos característicos de la curva de tensión – corriente:

- I_{GT} : Gate Trigger current (corriente de disparo por compuerta).
- I_H : Holding current (corriente de sostenimiento o mantenimiento).
- I_L : Latching current (corriente de enganche).

2.2.1 Circuito 1 medición de " I_{GT} "

Con el circuito de la figura (2.1) vamos a medir las diferentes corrientes de compuerta I_{GT} necesarias para disparar el SCR según la V_{AK} aplicada.

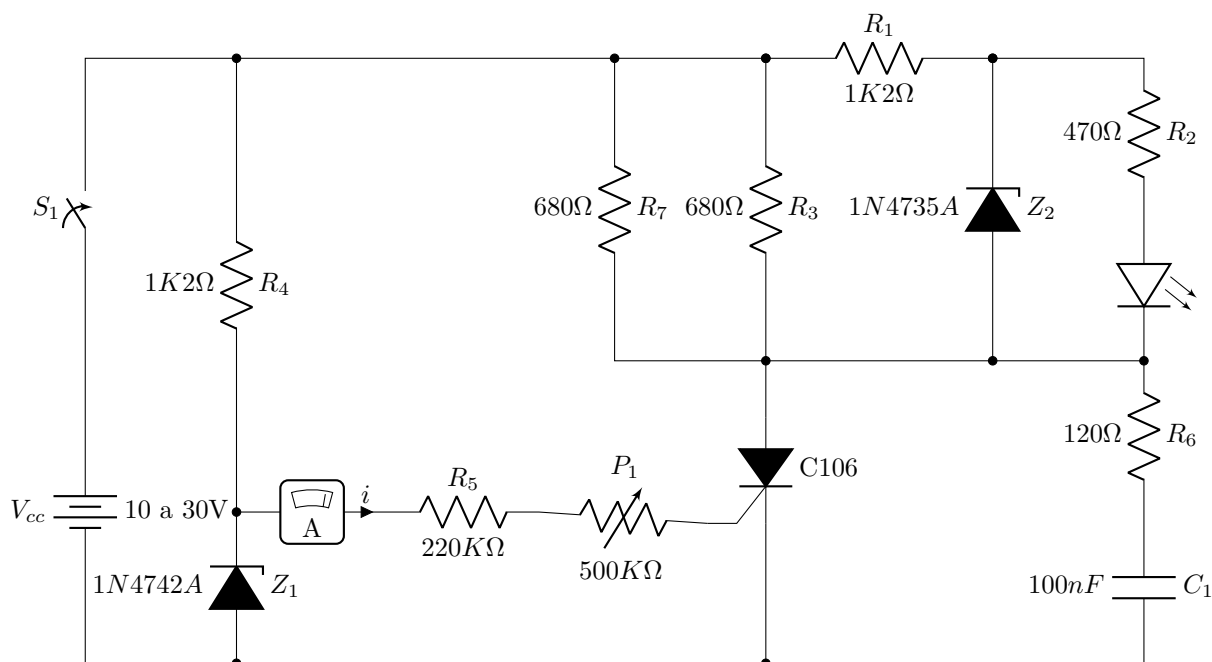


Figura 2.1: Circuito 1 para la medición de I_{GT}

2.2.1.1 Proceso de cálculo. Teniendo en cuenta que la función de los elementos del circuito son:

- **VCC** : Es la tensión variable que se aplicará al circuito en cada medición, la misma variará entre 10V y 30V a incrementos de 5V.
- **S₁** : Es un interruptor de tipo normal cerrado (NC) que utilizaremos para apagar el SCR luego de cada medición.
- **R_G** : Es la resistencia total de compuerta y está compuesta por **P₁** y por **R₅** en serie.
- **C106** : Es el SCR (Tiristor) analizado en la práctica.
- **R_L** : es la resistencia de carga de 340Ω, compuesta por el paralelo de **R₇** y **R₃**.
- **Z₁ 1N4742A**, zener de 12V que en conjunto con **R₄**, estabilizan la tensión para generar la **I_{GT}**
- **Z₂ 1N4735A**, zener de 6V que en conjunto con **R₆** y **R₁**, estabilizan la tensión para el LED.
- **R₆** y **C₁** reducen las variaciones bruscas de tensión en el tiristor $\frac{dv}{dt}$ para evitar disparos no buscados.

Procederemos a la obtención de los valores requeridos de **R_G** y **R_L** para lo cual acudiremos a las hojas de datos del fabricante en busca de **I_{GT}**, **I_H** e **I_L** ver figura (2.2).

ON CHARACTERISTICS

Peak Forward On-State Voltage (Note 3) (I _{TM} = 4 A)	V _{TM}	-	-	2.2	V
Gate Trigger Current (Continuous dc) (Note 4) (V _{AK} = 6 Vdc, R _L = 100 Ohms)	I _{GT}	-	15	200	mA
		-	35	500	
Peak Reverse Gate Voltage (I _{GR} = 10mA)	V _{GRM}	-	-	6.0	V
Gate Trigger Voltage (Continuous dc) (Note 4) (V _{AK} = 6 Vdc, R _L = 100 Ohms)	V _{GT}	0.4	0.60	0.8	V
		0.5	0.75	1.0	
Gate Non-Trigger Voltage (Continuous dc) (Note 4) (V _{AK} = 12 V, R _L = 100 Ohms, T _J = 110°C)	V _{GD}	0.2	-	-	V
Latching Current (V _{AK} = 12 V, I _G = 20 mA)	I _L	-	0.20	5.0	mA
		-	0.35	7.0	
Holding Current (V _D = 12 Vdc) (Initiating Current = 20 mA, Gate Open)	I _H	-	0.19	3.0	mA
		-	0.33	6.0	
		-	0.07	2.0	

Figura 2.2: Extraído de las hojas de datos del fabricante

Se propone una **R_L** que genere por lo menos 30mA para una **I_H** superior a la requerida y se supone la tensión de ánodo cátodo nula:

$$R_L = \frac{V_{cc}}{I_H} = \frac{10V}{30mA} = 333\Omega$$

Se utiliza, por lo tanto, un paralelo de dos resistencias de 680Ω.

Por otro lado se propone una **R_G** que asegure por lo menos 30 μA.

$$R_G = V_{cc} - \frac{V_{GT}}{I_{GT}} = \frac{10V - 0.6V}{30\mu A} = 313K\Omega$$

2.2.1.2 Proceso Operativo Se realizarán 5 mediciones de I_{GT} , por medio del micro amperímetro, a partir de 5 tensiones de V_{cc} : 10, 15, 20, 25 y 30 V.

Se debe disminuir el valor de R_G (mediante potenciómetro P_1) desde el máximo valor en forma muy lenta, hasta lograr la conducción del tiristor; esto se verificara por medio del encendido del LED.

1. Se comienza con $V_{cc} = 10V$ y disminuyendo lentamente P_1 hasta que enciende el LED. En este punto se produce la conducción del tiristor. Repetir esta operación varias veces para determinar la posición aproximada de P_1 y registrar el valor de la corriente.
2. Repetir el procedimiento para los valores de V_{cc} restantes (15, 20, 25, y 30 V) ajustando el valor de P_1 para obtener la conducción del tiristor.
3. Completar la Tabla de resultados 1.

2.2.2 Circuito 2 medición de " I_H "

Con el circuito de la figura (2.3) vamos a analizar la corriente de sostenimiento. En este circuito la resistencia de carga R_L es variable y está compuesta por P_1 en serie con R_3 . Se incorpora el switch S_1 que es normal abierto y la resistencia R_G es fija. En esta etapa vamos a medir la corriente anódica.

2.2.2.1 Proceso de cálculo Se busca una resistencia R_G que establezca una corriente de I_{GT} de $50\mu A$ para asegurar la conducción de SCR.

$$R_G = \frac{V_{CC} - V_{GT}}{I_{GT}} = \frac{12V - 0,6v}{50\mu A} = 228K\Omega.$$

Para determinar la R_L del circuito, nos basamos en los valores de la hoja de datos. I_H típico e I_H máximo (el fabricante no informa mínimo), de forma tal que calculando los valores mínimos que debe tomar R_L que asegure la no extinción de conducción o apagado (punto de I_H):

$$R_{LMAX} = \frac{V_{cc}}{I_{Htip}} = \frac{12V}{0,2mA} = 60K\Omega$$

Por tanto, el valor de R_L se compondrá de un potenciómetro P_1 de $100 K\Omega$ y una resistencia fija (R_3) de $2,2 K\Omega$.

R_1, R_2, Q_1 y LED, conforman un circuito adicional que nos informa la conducción del tiristor.

2.2.2.2 Proceso Operativo

1. Aplicar $V_{cc} = 12V$ al circuito y posicionar R_L a mínimo valor (P_1 a mínimo), con lo que R_L valdrá $2,2 K\Omega$. Luego, por medio del interruptor S_1 dar un pulso para disparar el tiristor. En este momento se encenderá LED, lo que nos indica la conducción del tiristor.
2. Lentamente ir aumentando el valor de R_L por medio del potenciómetro (bajando de esta forma la corriente ánodo - cátodo) hasta verificar el apagado del tiristor por medio del LED. En ese momento bajar, nuevamente, el valor del potenciómetro y disparar otra vez el tiristor por medio del pulsador. Repetir el proceso por lo menos cinco

veces para poder medir la corriente en el " μA " antes del corte (apagado del led).

3. Calcular el valor verdadero de las mediciones y el máximo error relativo.

2.2.3 Circuito 2 medición de " I_L "

Nuevamente mediante el circuito de la figura 2.3 vamos a llevar adelante la medición propuesta.

2.2.3.1 Proceso Operativo

1. Con R_L a máximo valor (potenciómetro P_1 a máximo) y la fuente conectada, ir pulsando el interruptor a intervalos mientras disminuimos el valor de nuestra R_L . Se observará que a cada pulsación el tiristor conduce, pero al "soltar" el pulsador, éste regresa al corte.
2. En un momento determinado de la reducción de R_L , el tiristor ya no regresará al corte, es decir, permanecerá en conducción. Este preciso punto es el correspondiente a la corriente enganche I_L , que se medirá con " μA ". Realizaremos **cinco mediciones**, que volcaremos en la hoja de cálculos, Tabla 4.
3. Calcular el valor verdadero de las mediciones y el máximo error relativo.

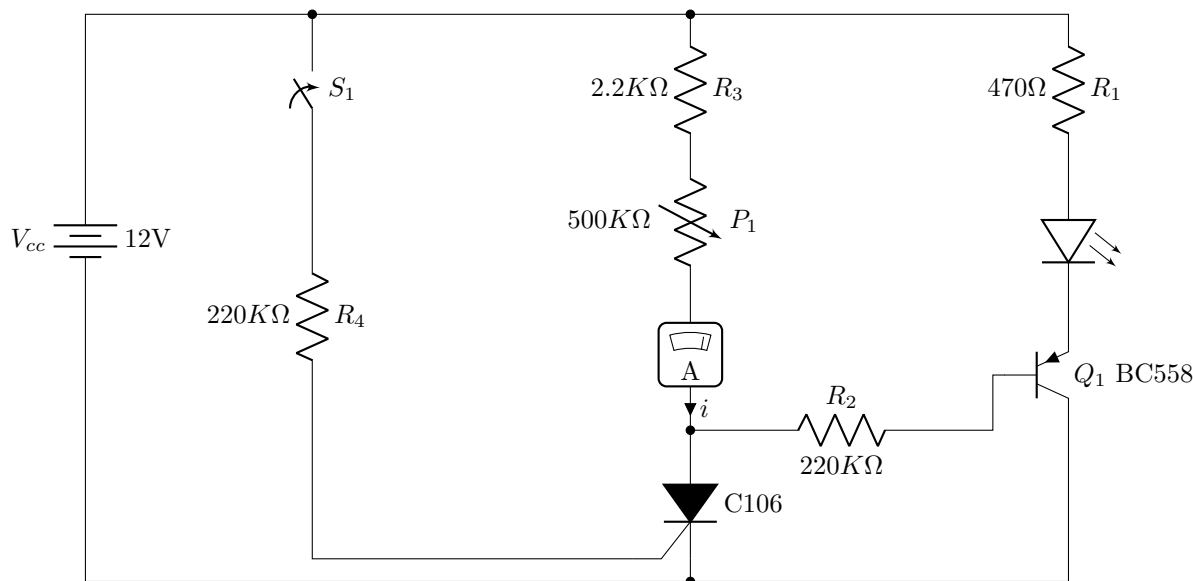


Figura 2.3: Circuito 2 para la medición de I_{GT} y la obtención de I_H e I_L

2.2.4 Circuito 3 Apagado del tiristor

Como hemos estudiado oportunamente, la manera de apagar un SCR es quitando la corriente anódica, esto funciona perfectamente cuando operamos con tensiones alternadas que en forma periódica transitan esta condición, pero cuando se trabaja con tensiones continuas es necesario

llevar adelante circuitos de apagado, un ejemplo de esto se puede observar en la figura 2.4 , circuito que vamos a armar.

2.2.4.1 Proceso operativo

1. Conectar $V_{cc} = 12V$ y accionado el pulsador S_1 (NA) verificar la conducción del tiristor mediante el encendido de LED 1.
 2. Luego accionar el pulsador S_2 y verificar el corte del tiristor mediante el apagado de LED 1.
 3. Capturar mediante el osciloscopio lo observado según indica el diagrama utilizando para ello la opción del disparo único.
- IMPORTANTE: R_8 y R_2 (10Ω) se usan como testigo de corriente ánodo-cátodo en encendido y corriente de apagado respectivamente.

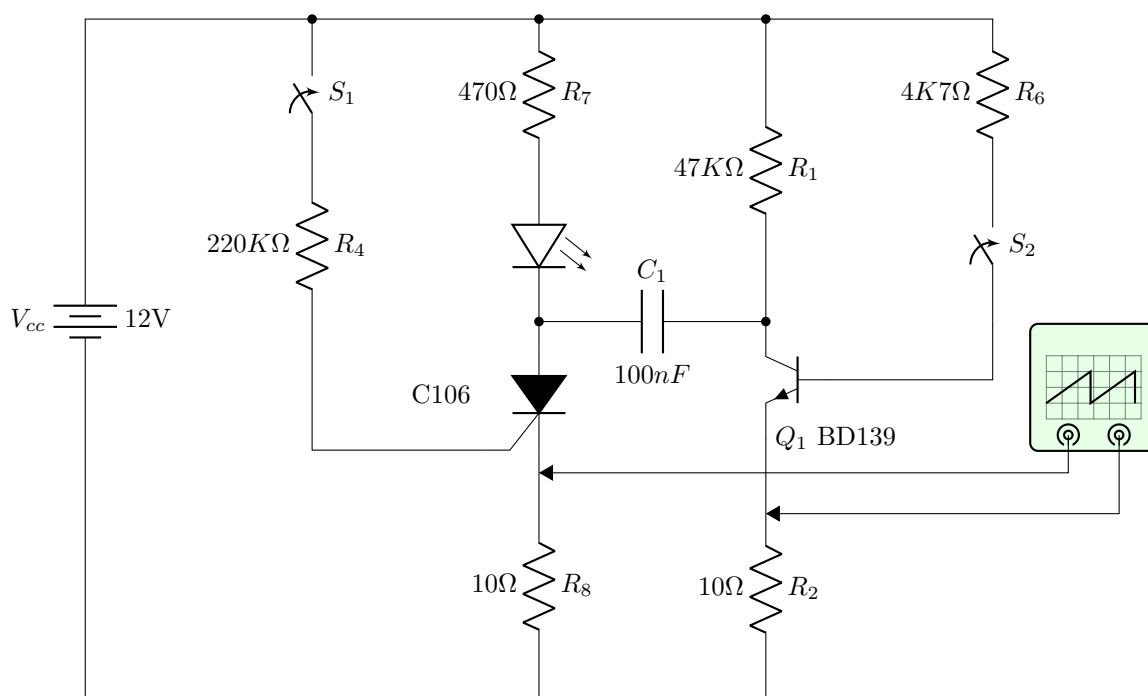


Figura 2.4: Circuito 3 para ensayar el apagado del SCR

2.3 Tablas de resultados

	V_{cc}	I_{GT}	R_G
1	10V		
2	15V		
3	20V		
4	25V		
5	30V		

Tabla 1: Registro de I_{GT}

	I_H	R_L
1		
2		
3		
4		
5		

Tabla 2: Registro de I_H

	I_L	R_L
1		
2		
3		
4		
5		

Tabla 3: Registro de I_L

2.4 Cuestionario

En función de los contenidos de clase teórica y el trabajo practico:

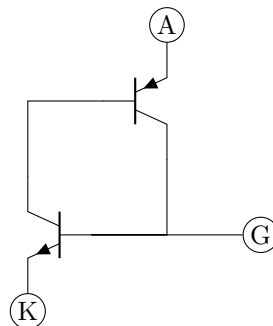


Figura 2.5: Circuito que corresponde al falso tiristor

1. Extraer conclusiones de los valores de I_{GT} de la tabla (1).

2. Explicar el funcionamiento del circuito de la Figura (2.4) graficando las corrientes:
 - (a) Al accionar el pulsador S_1 .
 - (b) Al accionar el pulsador S_2 .
3. Describa el funcionamiento y dibuje las corrientes del circuito de la Figura (2.5), y explique por qué “simula” al tiristor:
4. Según el circuito de la figura (2.5), en el momento de conducción del tiristor simulado, ¿Cuál sería la tensión V_{AK} ? (suponga componentes ideales) .
5. En tensión alterna de alimentación, es necesario un circuito de apagado del tiristor ? (justifique respuesta).
6. ¿Qué ventajas tiene el circuito de apagado por medio de Q_1 , en lugar de un interruptor simple? Figura (2.4).

2.5 Entrega

Realizar un informe en formato PDF que contenga todo lo solicitado y respeta las normas de entrega.

3 Trabajo Práctico X

3.1 Objetivo

Comprender el funcionamiento del circuito Puente H y sus componentes así como algunas de sus aplicaciones.

3.2 Lista de Materiales

Componente	Valor	Cantidad
Resistencia	3K9Ω	4
Resistencia	10KΩ	4
Resistencia	1KΩ	2
Resistencia	220Ω 1Watt	4
Resistencia	1200Ω	4
Diodo	UF4007	4
Diodo	1N4148	2
Transistor NPN	BD139	2
Transistor PNP	BD140	2
Transistor NPN	BC547	4
Compuerta Inversora Smith Trigger	74HC14	1
Capacitor cerámico/poliéster	10nF	2

- Protoboard.
- Alambre par telefónico, de timbre o cables tipo dunlop.
- Herramientas necesarias.

3.3 Tiempos de conmutación

Primero que nada vamos a caracterizar el tiempo de conmutación de un transistor bipolar, el transistor elegido es uno de media a baja potencia **BD139**. Procedemos a armar el circuito de la figura (3.1):

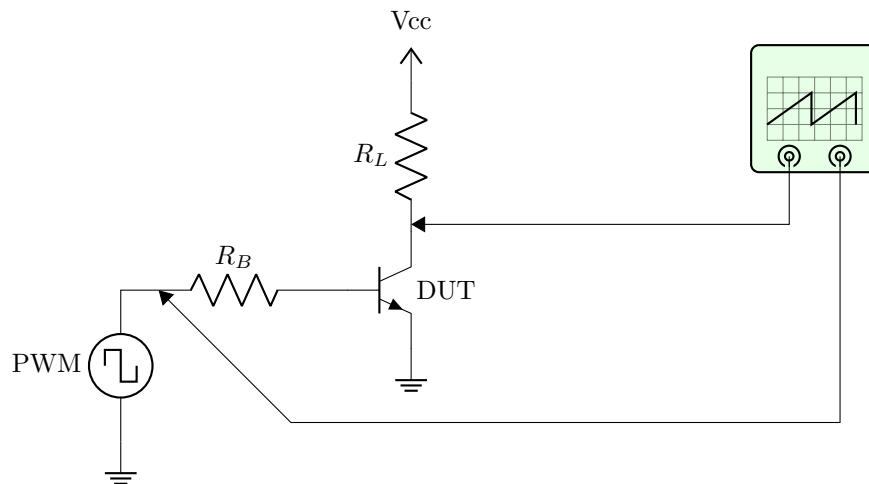


Figura 3.1: Medición de tiempos de un transistor bipolar NPN BD139

Tanto R_B como R_L van a tomar distintos valores para los cuales se van a observar diferentes tiempos de conmutación. Tener en cuenta al medir que el tiempo se mide por ejemplo en una señal que va de un valor bajo a otro alto desde el 10% hasta el 90%.

1. Configurar el generador para entregue una señal cuadrada unipolar entre 0 y 5V con un ciclo de trabajo de 50% definir y una frecuencia de 1KHz.
2. Completar con los valores obtenidos las tablas y registrar una imagen de cada medición.
3. Incrementar la frecuencia hasta llegar al máximo posible y registrar una captura del osciloscopio así como la frecuencia máxima.

	V_{cc}	T_{on}	T_{off}	$V_{CE_{ON}}$	$I_{C_{MAX}}$
1	5V				
2	12V				

Tabla 4: $R_B = 1K\Omega$, $R_L=1200\Omega$

	V_{cc}	T_{on}	T_{off}	$V_{CE_{ON}}$	$I_{C_{MAX}}$
1	5V				
2	12V				

Tabla 5: $R_B = 1K\Omega$, $R_L=220\Omega$ 1W

	V_{cc}	T_{on}	T_{off}	$V_{CE_{ON}}$	$I_{C_{MAX}}$
1	5V				
2	12V				

Tabla 6: $R_B = 3K9\Omega$ $R_L = 1200\Omega$

	V_{cc}	T_{on}	T_{off}	$V_{CE_{ON}}$	$I_{C_{MAX}}$
1	5V				
2	12V				

Tabla 7: $R_B = 3K9\Omega$ $R_L = 220\Omega$ 1W

3.3.1 Contestar los siguientes puntos

1. Indicar los valores característicos del transistor: H_{FE} , $V_{CE_{sat}}$, $I_{C_{MAX}}$ y compararlos con los obtenidos.
2. Investigar sobre los tiempos de conmutación y brindar una explicación sobre lo observado.

3.4 Circuito generador de Tiempos muertos

El siguiente paso es tener el generador de tiempos muertos armado para evitar luego que las ramas del puente H conecten el potencial positivo y el negativo entre si y por lo tanto a través de los transistores circule una corriente que ponga en riesgo la integridad de los mismos.

1. A partir de lo observado en el ensayo anterior, es evidente la necesidad de un circuito generador de tiempos muertos. Vamos a armar el circuito de la figura (3.2), que cumple con la función antes descripta, y vamos a determinar si el mismo está en condiciones de lograr el objetivo.
2. Coloque resistencias de 220Ω y capacitores de $10nF$.
3. Coloque ambos canales del osciloscopio en las salidas A y B, observe en el osciloscopio y determine el tiempo muerto obtenido.
4. Capture la pantalla del osciloscopio para incorporar al informe.

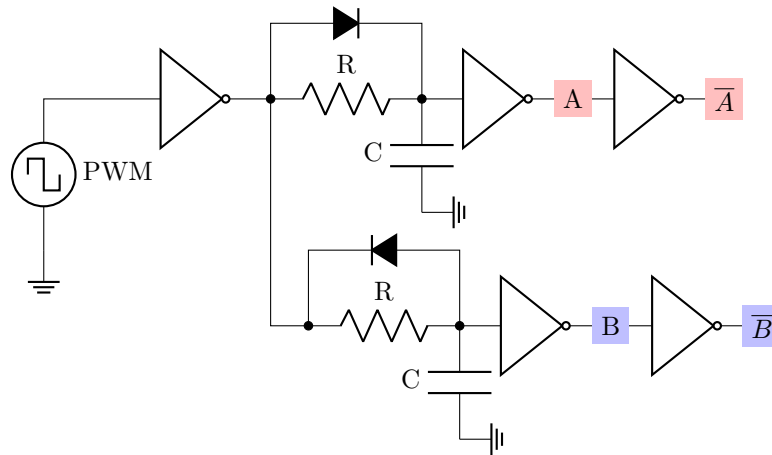


Figura 3.2: Circuito de control de tiempos muertos

3.4.1 Incorporar al informe

1. Explique, en lo posible incorporando gráficos, el funcionamiento del circuito.
2. Determine un mecanismo por el cual se pueda ajustar el tiempo muerto deseado.

3.5 Circuito puente

Primeramente armar el circuito de la figura (3.3)

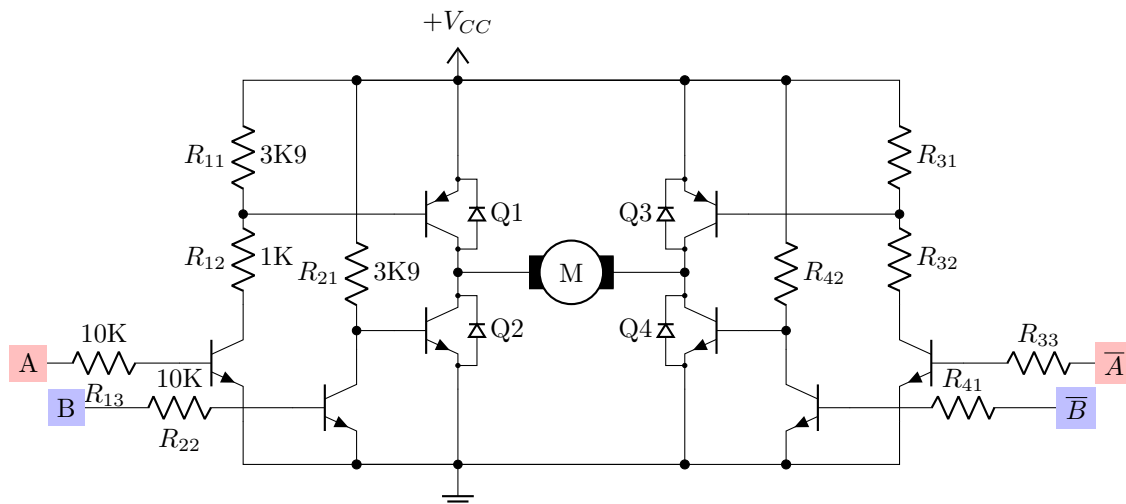


Figura 3.3: Puente con entradas independientes de la tensión de alimentación de la carga (motor)

1. Indicar los valores que deben de tomar las entradas A, \bar{A} , B y \bar{B} , para que la corriente circule de izquierda a derecha y luego en forma inversa y finalmente completar la siguiente tabla.



Sentido	A	\bar{A}	B	\bar{B}
				
				

Tabla 8: 5V = 1 lógico y 0V = 0 lógico.

2. Conectar una carga al puente (motor brindado por el profesor) y observar si el comportamiento es el esperado para las dos configuraciones del punto anterior.
3. Si la carga es un motor de CC, indique lo que ocurre cuando:
 - (a) $\bar{A} = \bar{B} = A = B = 1$.
 - (b) $\bar{A} = \bar{B} = A = B = 0$.
 - (c) Se inyecta una señal cuadrada en A y B mientras $\bar{A} = \bar{B} = 0$.
 - (d) Se inyecta una señal cuadrada en A y B mientras $\bar{A} = \bar{B} = 1$.
4. Conectar el generador de tiempos muertos al puente e inyectar a la entrada la señal cuadrada de 5VP y ciclos de trabajo de 25% , 50% y 75%. En cada caso:
 - (a) Observar al motor, describir lo ocurrido y elaborar conclusiones.
 - (b) Conectar el osciloscopio a la carga y capturar la pantalla.
 - (c) Medir mediante el multímetro el valor de tensión continua en la carga.

3.6 Entrega

- Se debe de entregar un informe realizado con la plantilla para tal fin en la plataforma TEAMS.
- Deben de cuidarse las tipografías y el orden.
- Incluya los gráficos e imágenes solicitadas por el docente de manera de las mismas queden centradas.
- No olvide colocar títulos y subtítulos así como referencias en cada una de sus respuestas.