Práctica No. 3 del Curso "Meteorología y Transductores".
"Comparadores y generador PWM"

Objetivos.

Comprobar en forma experimental el funcionamiento de los comparadores con Histéresis, así como el circuito temporizador hecho con amplificadores operacionales (OPAM) y una aplicación de generador de PWM para el control de motores.

Material y equipo requerido.

- Fuentes de alimentación.
- Resistencias, potenciómetros.
- 5 Amplificadores operacionales LM741 o 1 TL084.
- Resistencias y capacitancias cerámicos
- Motor de corriente directa CD.
- Transistores Darlington NPN y PNP

Teoría.

Los comparadores analógicos son circuitos electrónicos que tienen solo 2 voltajes a sus salidas, el mayor es conocido como (+Vsat) y el menor llamado (-Vsat). Son usados para comparar 2 señales analógicas y tener una señal digital para determinar cual es mayor. La histéresis por su parte permite hacerlo más inmunes al ruido a los comparadores. Existen 2 topologías de comparadores, estos son:

- El detector de cruce por cero con histéresis (DCCH).
- El detector no inversor de nivel con histéresis (DNINH)

En esta práctica se va comprobar el funcionamiento experimental del primer comparador ya que es el más simple de diseñar y analizar. En la figura 1 se muestra un circuito DCCH, así como sus ecuaciones de diseño.

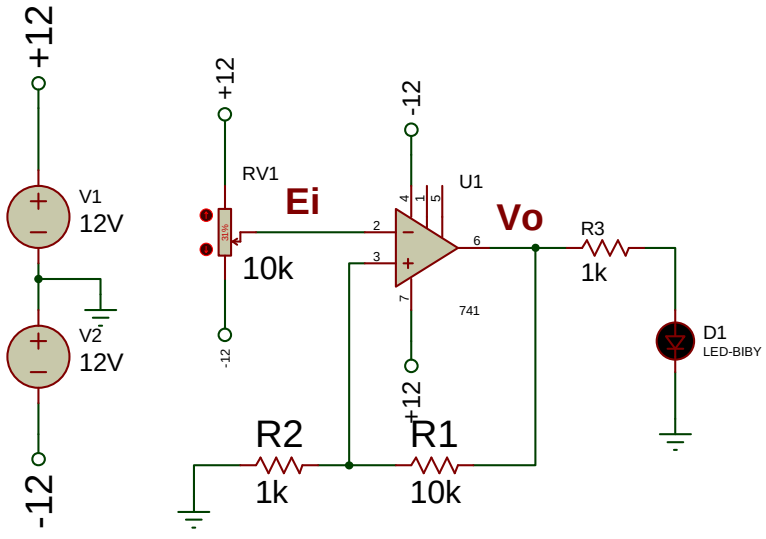


Figura 1. Diagrama esquemático del comparador DCCH

Ecuaciones de diseño:

$$V_{UT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(+V_{sat})$$

$$V_{LT} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}(-V_{sat})$$

$$V_H = (V_{UT}) - (V_{LT})$$

$$V_{CTL} = 0$$

Donde +Vsat, es el voltaje de saturación positivo y –Vsat es el voltaje de saturación negativo. V_{UT} es voltaje de umbral positivo, V_{LT} el voltaje de umbral negativo, V_H el voltaje

de histéresis y V_{CTL} el voltaje central.

Los circuitos temporizadores son ampliamente utilizados para el control del tiempo de activación de un sistema o circuito, o como generador de ondas cuadradas. Posee 2 modos de operación que son: El astable y Monoestable. El circuito temporizador más popular ha sido el LM555, que se verá más adelante en el curso. Sin embargo también con OPAM y un circuito con Resistencias y capacitores (RC).

En la figura 2(a) se muestra el circuito que genera una onda cuadrada con el OPAM y en la figura 2(b) su simulación. Como se puede ver la salida es una onda cuadrada y el voltaje del capacitor oscila entre ±5V y tiene cierto parecido a una onda tipo triangular, la cual se puede usar más adelante. La frecuencia de oscilación es configurada con el valor de C1 y R3, el producto de estos valores es proporcional al periodo de la señal cuadrada y de la triangular.

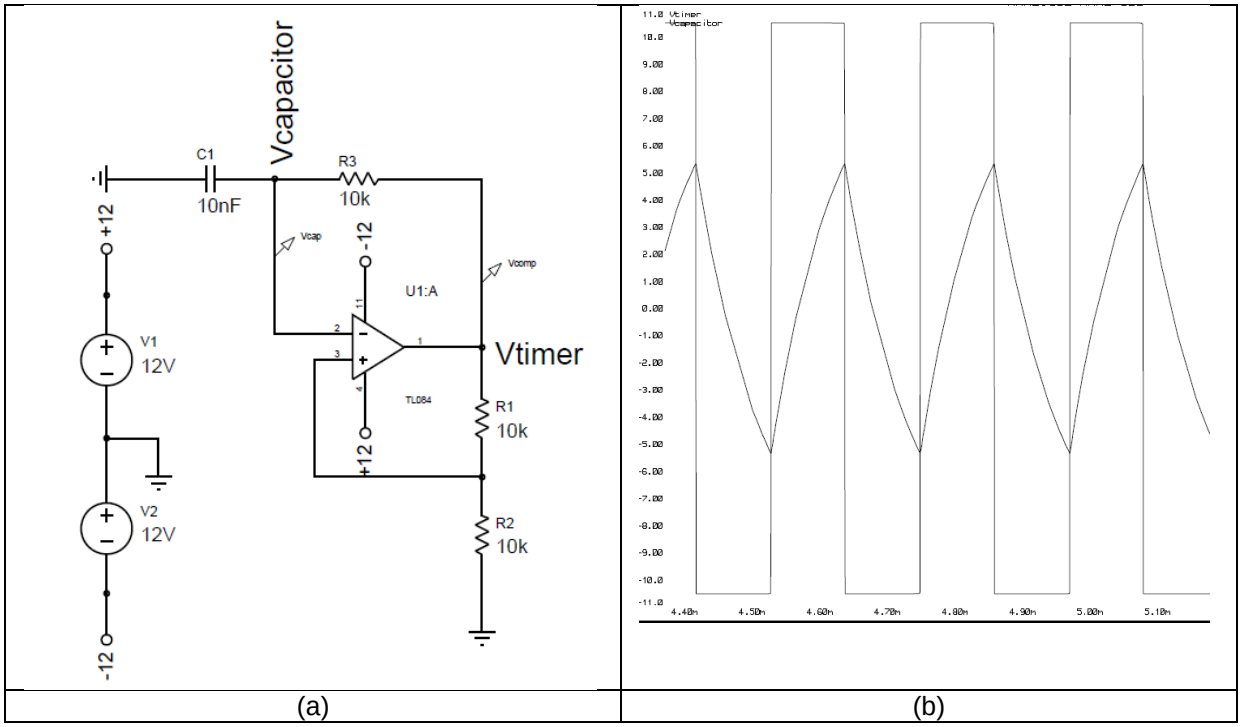


Figura 2. (a) Generador de onda cuadrada con el OPAM. (b) Simulación de las formas de onda del generador de onda cuadrada y triangular con el OPAM

Una aplicación de los comparadores y el generador de onda triangular son en el control de motores de corriente mediante un generador de modulador de ancho de pulso (PWM). El cual se muestra en la figura 3. Los bloques que lo componen son:

- **El generador de onda triangular**. Genera una onda triangular que después usa el comparador para generar la señal de PWM. Se toma la salida de la carga y descarga del capacitor que se aproxima a una señal tipo triangular, para quitar los efectos de carga y aumentar la amplitud de la señal se usa un amplificador no inversor.
- **El comparador**. Toma la señal del generador de onda triangular y la compara con una referencia de voltaje que en este caso se puso con un potenciómetro. En aplicaciones reales este proviene de la etapa de control. Su salida es una onda cuadrada de periodo igual pero

tiempo de puso variable en función del voltaje de referencia. Con esto se varia el voltaje promedio desde -12V a +12V.

- **La etapa de potencia**. Las salida del operacional no tiene mucha capacidad de corriente, con los transistores se consigue conmutarlos y con ello aplicar el voltaje positivo o negativo en función de la salida de voltaje. En este caso los transistores funcionan como interruptores.

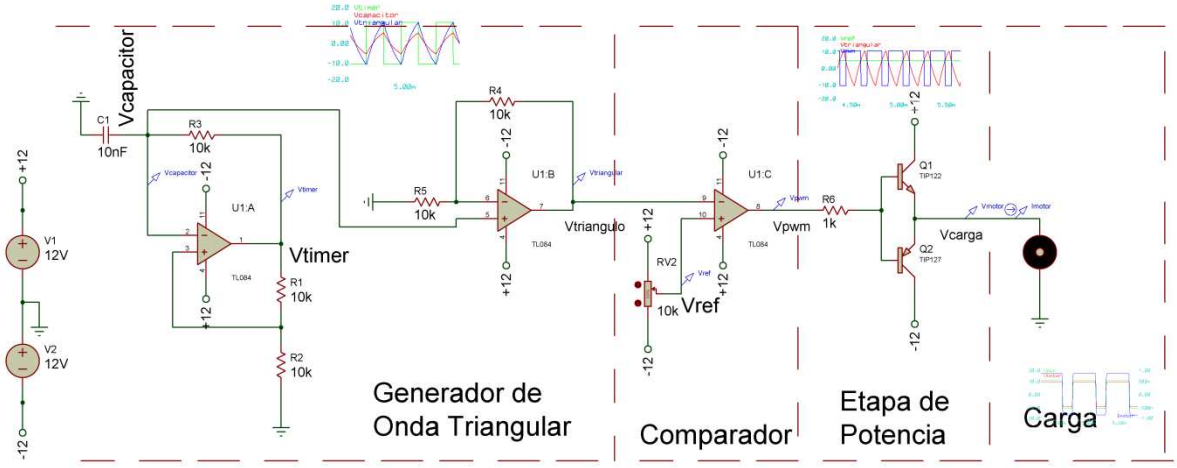


Figura 3. Diagrama esquemático del generador de PWM

En la figura 4 se muestra la simulación de la salida del voltaje del temporizador (Vtimer), el voltaje en el capacitor (Vcapacitor) y la salida del generador de onda triangular (Vtriangulo). Como se puede ver la onda Vcapacitor y Vtriangulo tienen el mismo perfil y esta {última tiene el doble de amplitud que la primera. La salida Vtimer es una onda cuadrada simétrica de ±10V. Como se pude ver cambia de valor cuando el voltaje en Vcapacitor está en ±5V.

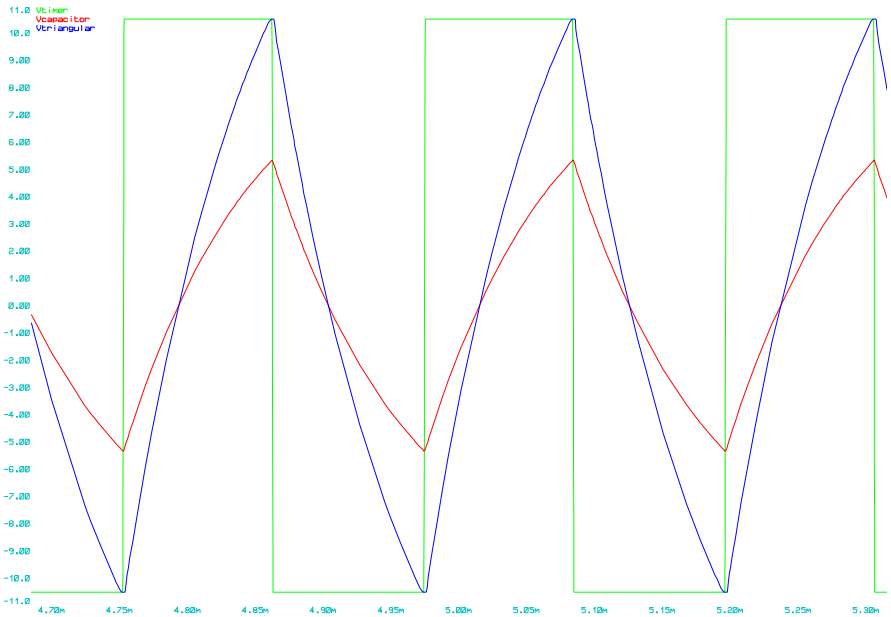


Figura 4. Voltajes del generador de onda triangular

En la figura 5 se muestra el voltaje de salida del comparador y generador de PWM. La entrada de Vtriangulo y el voltaje de referencia Vref se pone con el potenciómetro, en este caso es de 4.5V. Cuando el Vtriangulo es mayora a Vref, el voltaje de salida Vpwm es –Vsat, cuando se tiene el caso contrario, el voltaje Vpwm es +Vsat. Cambiando el voltaje Vref, se puede cambiar el ancho de pulso y con ello el voltaje promedio de CD.

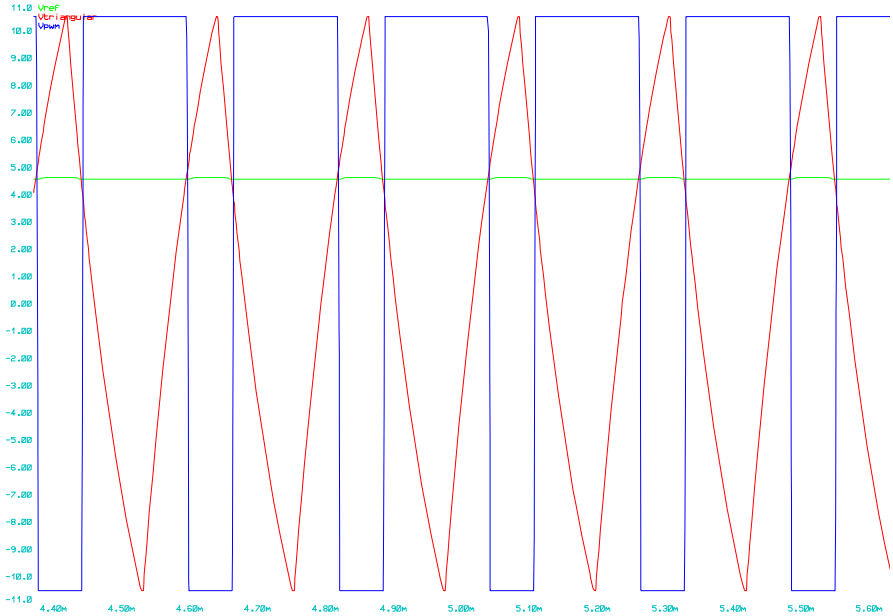


Figura 5. Voltaje de salida del generador de PWM

En la figura 6 se muestra el voltaje de salida de la etapa de potencia así como la corriente en la carga. Como se puede ver son ondas cuadradas, ya que es la misma señal, pero con diferentes niveles, la mayor es la de Vpwm, después Vcarga. La corriente es del mismo perfil, pero su escala se muestra a la izquierda.

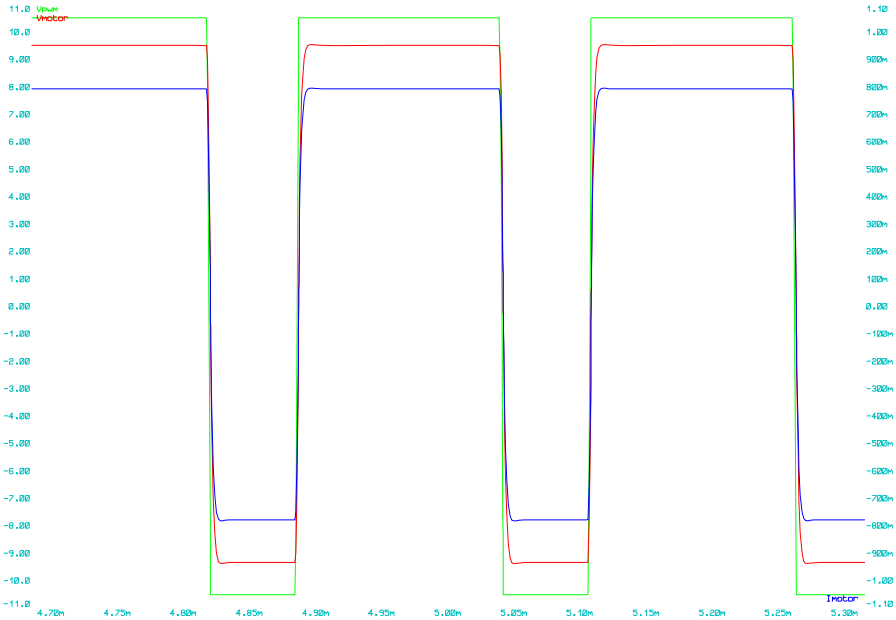


Figura 6. Voltaje de salida de la etapa de potencia.

Una aplicación de los comparadores es en realizar un control de temperatura con comparadores. En la figura 7 se muestra el diagrama a bloques de este sistema. Los elementos que lo componen son, el sensor de temperatura, el Circuito acondicionadro de señales (CAS) el comparador de histéresis, la etapa de potencia que se compone del control de encendido y el foco que genera calor.

Cuando la temperatura es menor al valor deseado se enciende el foco y con esto se incrementa la temperatura, una vez que la temperatura es mayor que el valor deseado se apaga. La histéresis se requiere para que no se esté encendiendo y apagando el relevador o SCR. A continuación se explican cada una de las partes.

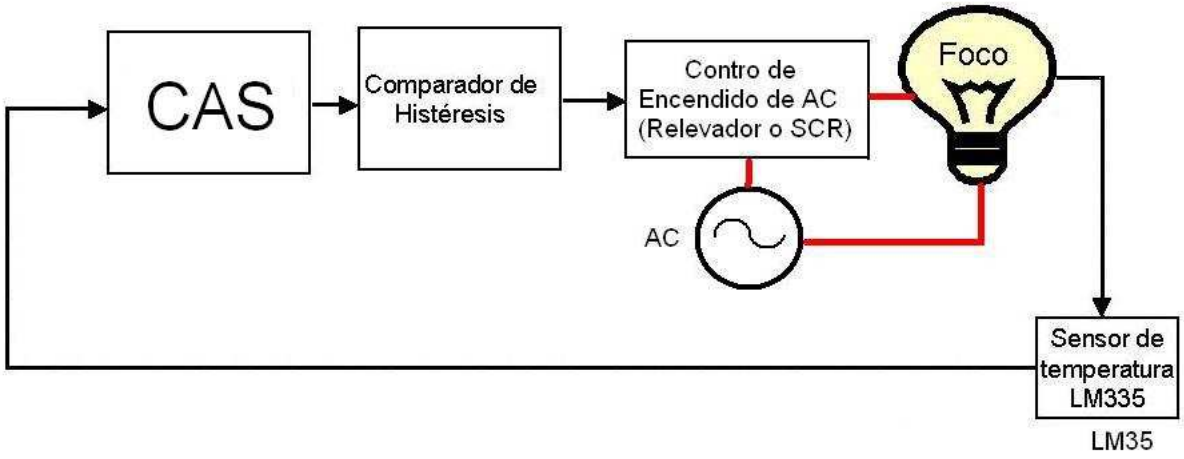
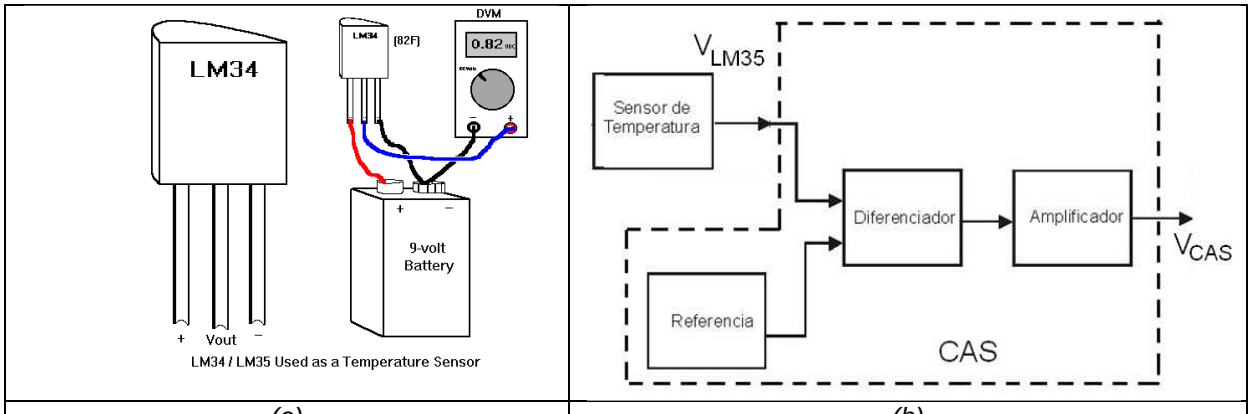


Figura 7. Diagrama a bloques del Control de temperatura analógico

El sensor de temperatura está basado en un LM35 que proporciona un voltaje de 10mv/ºC, de tal manera que cuando la temperatura es de 10 ºC el voltaje del sensor es de 0.1V, cuando ésta es de 100 ºC el voltaje es de 1V. En la figura 8 se muestra la forma en que se conecta y prueba este sensor.



(a) *(b)*

Figura 8. (a)Sensor LM35. (b) Diagrama a bloques del CAS

El circuito acondicionador de señales toma el voltaje que proporciona al sensor LM35 y lo acondiciona para que entre al comparador de señales con histéresis. Se requiere que cuando se tenga la temperatura deseada $\mathbf{T_d}$ el voltaje de CAS sea de 0V. El ancho de la histéresis debe ser de 5ºC, de tal manera que cuando $\mathbf{T_d}$ +5ºC, el voltaje a la salida del CAS sea de 6V y cuando la

temperatura sea $\mathbf{T_d}$ -5ºC el voltaje del CAS sea de -6V. Si Td=35ºC la ecuación del CAS está dada por la ecuación (1), donde V_{LM35} es el voltaje del sensor y V_{CAS} es el voltaje de la salida del CAS.

$$V_{CAS} = 40[3V_{LM35} - 1.05V] \quad (1)$$

. Este circuito se diseña de tal manera que el voltaje proporcionado por el LM35 es acondicionado para que mantenga los voltajes a su salida en el rango de la histéresis del comparador.

- Comparador de histéresis. Este circuito proporciona una conmutación con histéresis de la salida en función del error. Si se usa un OPAM de propósito general, el voltaje de salida será de +Vsat o –Vsat.
- Control de encendido de AC. Es el que conmuta de encendido ha apagado el foco. Par ellos se usará un relevador. Se usa un transistor para dispararlo a partir de la salida del comparador.
- Foco. Este se usa como generador de calor que cuando hace que la temperatura se incremente

En la figura 5 se muestra la forma en que se realiza el comparador de Histéresis y el Control de Encendido del relevador, para controlar la activación de foco que es la fuente de calor. Como se ve en esta figura VCAS es el voltaje de salida del circuito CAS, el cual entra al comparador de Histéresis (Vhis). Cuando ésta salida es positiva, activa al transistor el cual hace que se dispare el relevador y encienda el foco que es la fuente de calor. Cuando Vhis es negativo, se apaga el relevador y con ello se desactiva el foco. El diodo en la parte de disparo sirve para bloquear el voltaje negativo.

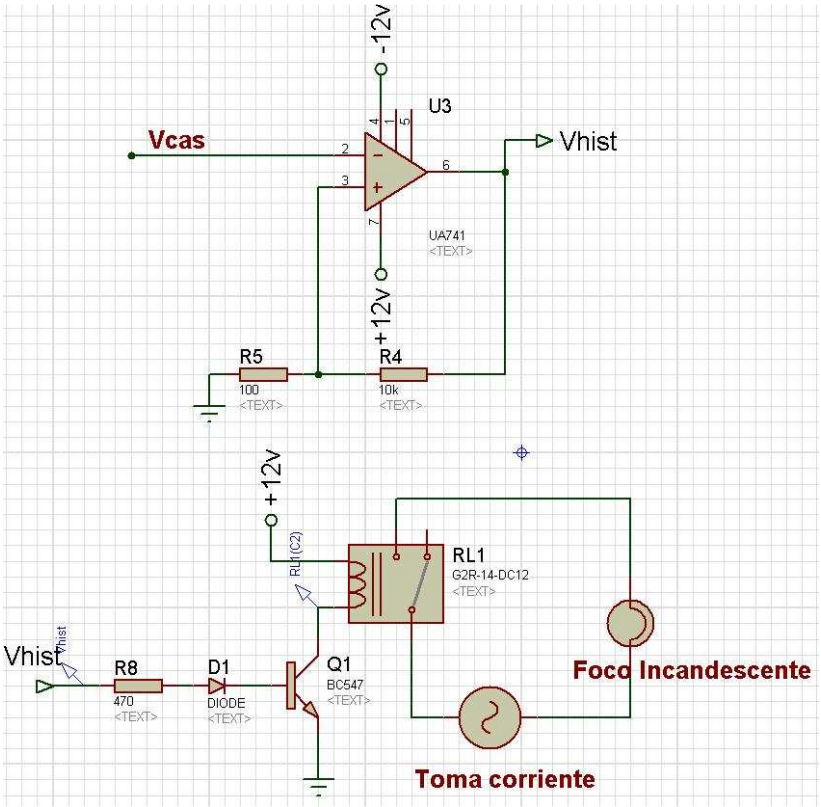


Figura 5. Circuito de disparo de la parte de potencia

Procedimiento

Comparadores

1. Simular el circuito de la figura 1 y con base en este encontrar VUT y VLT.
2. Determinar experimentalmente el voltaje de saturación positivo (+Vsat) y (-Vsat). Para ello armar un comparador simple y poner a la entrada un voltaje de +1V, y después de -1V, el voltaje positivo corresponde a +Vsat y el negativo a –Vsat.
3. Armar el circuito de la figura 1 y variar el voltaje de entrada de -10V a 10V con incrementos de 0.5. Anotar en los datos en la tabla 1.
4. Armar el circuito de la figura 1 y variar el voltaje de entrada de 10V a 10V con decrementos de 0.5V. Anotar lo datos en la tabla 1.
5. Con base en las mediciones determinar la respuesta teoría del circuito.
6. Graficar los 2 barridos, la respuesta teórica y obtener la función de transferencia del circuito (el diagrama de histéresis).

Tabla 1. Respuesta del comparador 1

Barrido Ascendente				Barrido Descendente			
Voltaje de entrada	**Voltaje de salida teórico**	**Voltaje de salida Simulado**	**Voltaje de salida experimental**	**Voltaje de entrada**	**Voltaje de salida teórico**	**Voltaje de salida Simulado**	**Voltaje de salida experimental**
-10				10			
-9.5				9.5			
-9.0				9.0			
-8.5				8.5			
-8.0				8.0			
-7.5				7.5			
-7.0				7.0			
-6.5				6.5			
-6.0				6.0			
-5.5				5.5			
-5.0				5.0			
-4.5				4.5			
-3.0				3.0			
-2.5				2.5			
-2.0				2.0			
-1.5				1.5			
-1.0				1.0			
-0.5				0.5			
0.0				0.0			
0.5				-0.5			
1.5				-1.5			
2.0				-2.0			
2.5				-2.5			
3.0				-3.0			
3.5				-3.5			
4.0				-4.0			
4.5				-4.5			
5.0				-5.0			
5.5				-5.5			
6.0				-6.0			

6.5				-6.5			
7.0				-7.0			
7.5				-7.5			
8.0				-8.0			
8.5				-8.5			
9.0				-9.0			
9.5				-9.5			
10.0				-10.0			

7. Diseñar un comparador con una VTH=8V y VTL=-8H. Capturar las mediciones en la tabla 2. Antes de armar hacer las simulaciones y determinar la salida teórica esperada

Tabla 2. Respuesta del comparador diseñado

Barrido Ascendente				**Barrido Descendente**			
Voltaje de entrada	**Voltaje de salida teórico**	**Voltaje de salida Simulado**	**Voltaje de salida experimental**	**Voltaje de entrada**	**Voltaje de salida teórico**	**Voltaje de salida Simulado**	**Voltaje de salida experimental**
-10				10			
-9.5				9.5			
-9.0				9.0			
-8.5				8.5			
-8.0				8.0			
-7.5				7.5			
-7.0				7.0			
-6.5				6.5			
-6.0				6.0			
-5.5				5.5			
-5.0				5.0			
-4.5				4.5			
-3.0				3.0			
-2.5				2.5			
-2.0				2.0			
-1.5				1.5			
-1.0				1.0			
-0.5				0.5			
0.0				0.0			
0.5				-0.5			
1.5				-1.5			
2.0				-2.0			
2.5				-2.5			
3.0				-3.0			
3.5				-3.5			
4.0				-4.0			
4.5				-4.5			
5.0				-5.0			
5.5				-5.5			
6.0				-6.0			
6.5				-6.5			
7.0				-7.0			
7.5				-7.5			
8.0				-8.0			

8.5				-8.5			
9.0				-9.0			
9.5				-9.5			
10.0				-10.0			

Temporizadores

1. Simular el circuito de la figura 2, con base en ella obtener el período, tiempo de pulso, tiempo de resto de pulso, Voltaje del positivo y negativo de la salida del temporizador. Anotar estos resultados en la tabla 3.
2. Armar el circuito de la figura 2. Obtener con el osciloscopio la respuesta de voltaje en el capacitor y en la salida y anotar las mediciones en la tabla 3. ¿En qué voltajes ocurren el cambio?
3. Comparar la respuesta experimental contra lo que predice la teoría.

Tabla 3. Caracterización del temporizador con operacionales

Parámetro	**Parámetros Simulados con R=10kΩ y C=10nF**	**Parámetros Medidos con R=10kΩ y C=10nF**	**Parámetros Simulados con R=100kΩ y C=10nF**	**Parámetros Medidos con R=100kΩ y C=10nF**	**Parámetros Simulados con R=1MΩ y C=1μF**	**Parámetros Medidos con R=1MΩ y C=1μF**
Periodo (seg)						
Tiempo de pulso (seg)						
Tiempo de Resto de pulso (seg)						
Frecuencia (Hz)						
Voltaje promedio (CD)						
Voltaje RMS						

Generador de PWM

1. Simular el generador de PWM de la figura 3. En la tabla 3 anotar el tiempo de pulso el voltaje de CD de salida.
2. Armar el circuito de la figura 3. Para probar que funciona cambiar el motor por una resistencia de 100Ω. Variar el voltaje de referencia y ver que los voltajes que se generan son parecidos a lo que se obtiene en las simulaciones. Finalmente poner el motor y capturar las mediciones que se marcan en la tabla 4.

Tabla 4. Caracterización del generador de PWM

Voltaje de Referencia	**Tiempo de pulso Simulado**	**Voltaje de salida de CD simulado**	**Tiempo de pulso medido**	**Voltaje de CD medido**
-10V				

-9V				
-8V				
-7V				
-6V				
-5V				
-4V				
-3V				
-2V				
-1V				
0V				
1V				
2V				
3V				
4V				
5V				
6V				
7V				
8V				
9V				
10V				

Reporte.

El reporte de la práctica deberá tener los siguientes puntos.

Objetivos.
Introducción teórica (Breve y concisa).
Procedimiento.
Resultados.
Conclusiones.
Bibliografía.
Además todas las figuras y tablas que pongan deberán tener pie de figura con texto y hacer referencia a ellas en el texto.
Nombre del profesor: F. Hugo Ramírez Leyva.