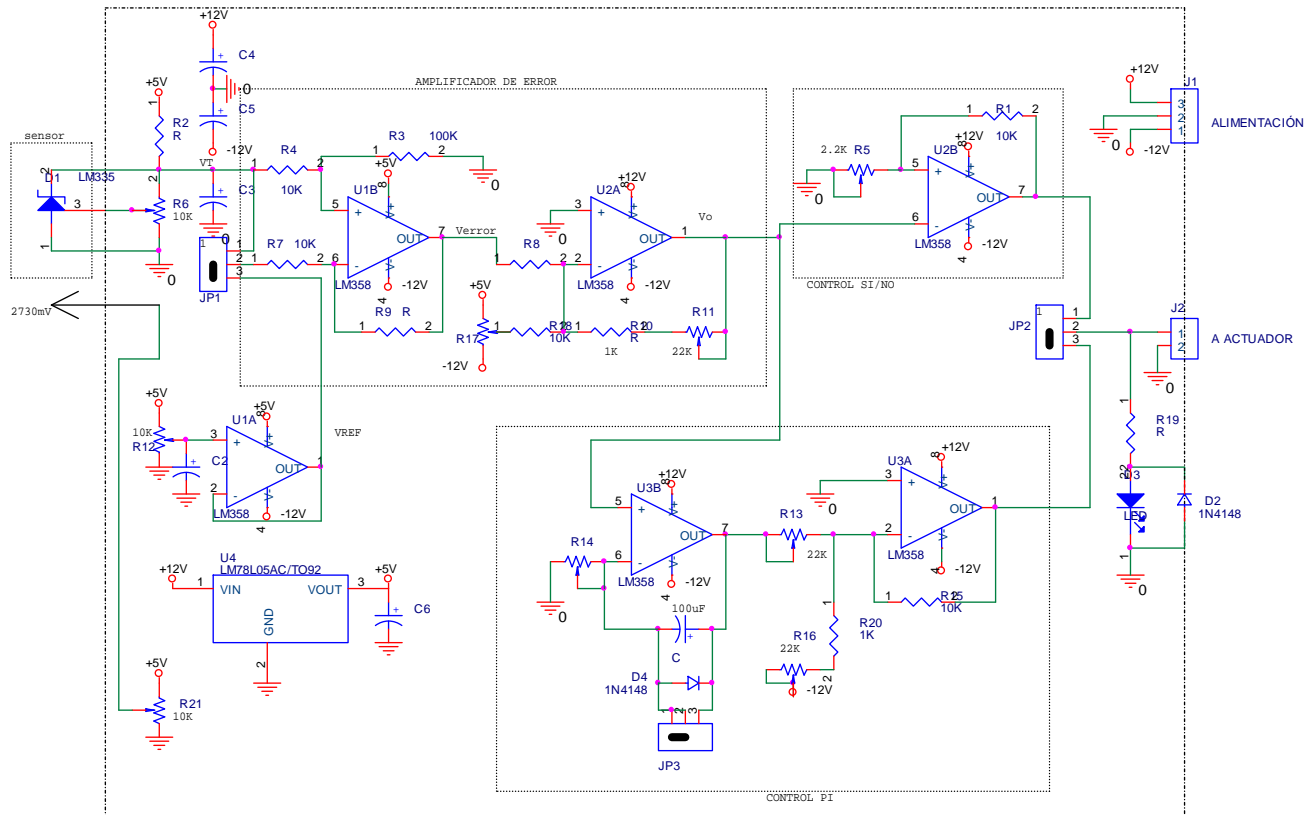


## Laboratorio 6: Control de temperatura on/off

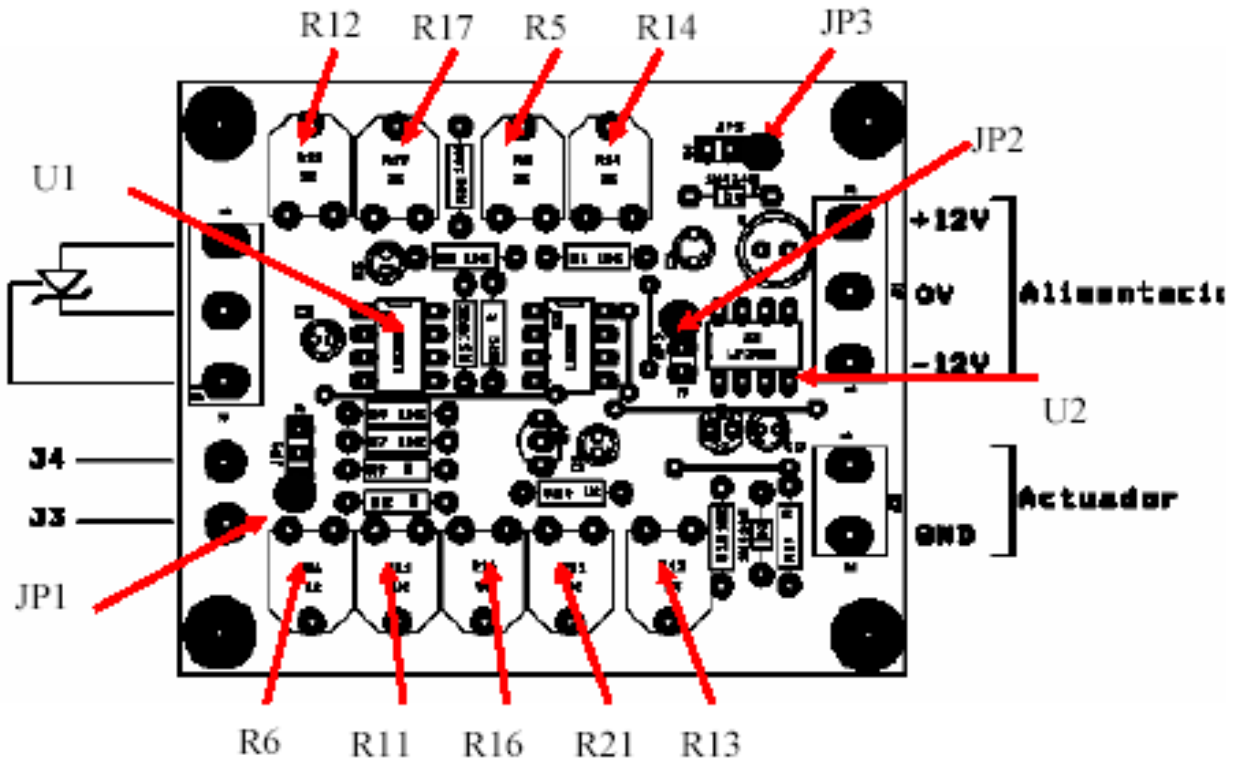
En este laboratorio se analizará un circuito de control de temperatura basado en el sensor de temperatura integrado LM335. Se utilizará el siguiente circuito, que se entregará armado, y sobre el que se realizarán las mediciones y ajustes necesarios para su correcto funcionamiento.



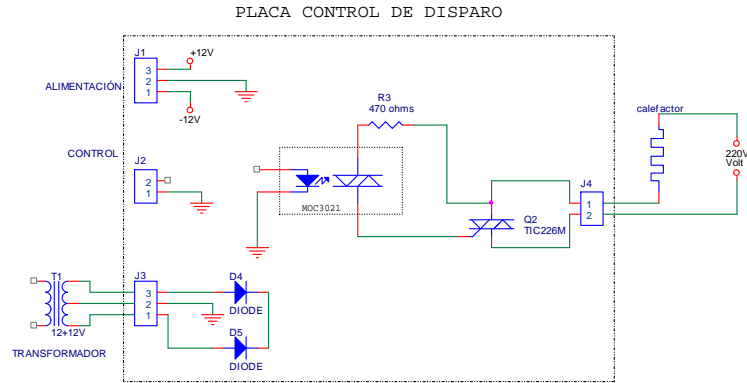
La placa correspondiente presenta disposición de componentes mostrada en la siguiente figura.

El circuito se utilizará para proveer una tensión de control al circuito ensayado en el laboratorio de triac (placa de control del triac, PCT), circuito que permitía el control del ángulo de disparo de un triac. En este caso, el triac controlará el encendido y apagado de una resistencia calefactora, la que calentará un recipiente con agua.

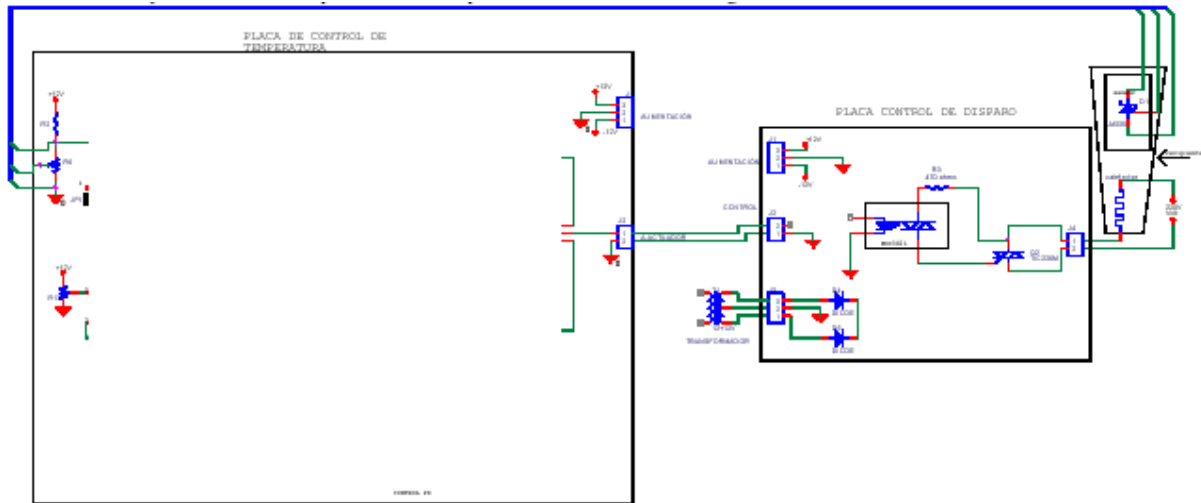
**El punto en JP1,JP2 y JP3 indica pin 1.**



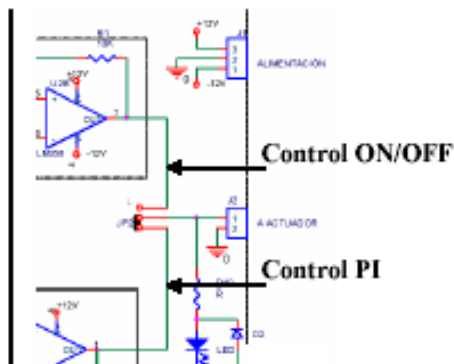
La siguiente figura ilustra la placa utilizada en el laboratorio de triac. El transformador se utilizará para sincronizar el disparo del triac, y el triac conectará o desconectará la resistencia calefactora directamente a la red de 220V. Debido al peligro que significa trabajar con 220V, el alumno trabajará en este laboratorio, en su mesa, calibrando el circuito de control, el que opera a baja tensión, sin conectar su placa a la PCT. ***Ningún alumno estará autorizado a manipular una placa que contenga 220V.*** Cuando todas las comisiones tengan el circuito de baja tensión calibrado en su mesa de trabajo, el personal docente de la cátedra armará un circuito completo, incorporando la PCT que involucra los 220V, y procederá a demostrar el funcionamiento del sistema, sin que el alumno intervenga en el armado o en las mediciones que se hagan sobre el circuito. El alumno sólo observará y anotará lo que le indiquen los ayudantes, cuidando de no tocar nada conectado al circuito y manteniendo en todo momento una distancia prudencial al mismo. Recuérdese del laboratorio de triac, que ingresando al conector “CONTROL” de la PCT una tensión en el rango 0-10V, se podía variar linealmente el ángulo de disparo del triac. Una tensión de 0V hacía que el triac disparara continuamente (los 180 grados), y una tensión de 10V hacía que el triac no disparara nunca. El circuito del presente práctico proveerá, como se dijo, esta tensión de “CONTROL”, que se ajustará automáticamente de manera que la temperatura del agua colocada dentro de un recipiente, se mantenga en los **50 grados**. Sumergido en el agua se encontrará el sensor de temperatura LM335, el que se utilizará para medir su temperatura.



La disposición completa a utilizar será la siguiente:



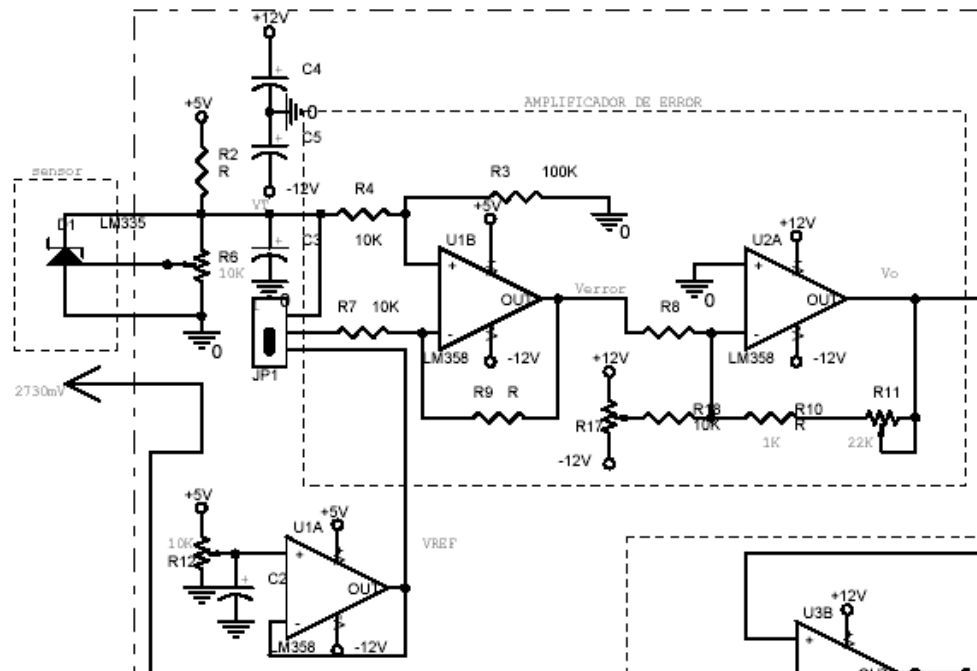
La salida “A ACTUADOR” de la placa de control de temperatura (ver siguiente figura), puede seleccionarse de dos partes distintas del circuito, a través del jumper JP2. Colocando el jumper en la posición “1”, el circuito realiza un control de temperatura tipo SI/NO (ON/OFF). Colocando el jumper en la posición “3”, el circuito realizará un control tipo P o PI. En este laboratorio se ensayará en control tipo ON/OFF.



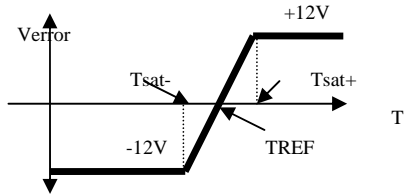
### Introducción al funcionamiento del circuito:

Observe el circuito e identifique en la primer figura, las partes que lo componen. El circuito se alimentará con una fuente de tensión partida de  $\pm 12V$  (J1). Se utiliza un sensor LM335 para medir la temperatura (ver hoja de datos en el apéndice). La siguiente figura ilustra la etapa de medición y el amplificador de error

utilizado en el circuito. El LM335 provee una tensión que varía  $10\text{mV}/^\circ\text{K}$ , con  $0\text{V}$  para  $0^\circ\text{K}$  en el rango  $-40^\circ\text{C}$  a  $100^\circ\text{C}$ . La calibración de este componente se hace mediante el ajuste del potenciómetro R6. El potencial del punto marcado  $2730\text{mV}$  se ajusta mediante el preset R21, para que sea de  $2730\text{mV}$ . Para calibrar el LM337, se mide la temperatura ambiente  $T_{\text{amb}}$  (en  $^\circ\text{C}$ ), y se ajusta R6 de modo que la tensión  $V_T$  resulte de un valor:  $V_T = 10\text{mV}/^\circ\text{K} (T_{\text{amb}} + 273)^\circ\text{K}$  (significa que midiendo respecto de  $2730\text{mV}$  debe obtenerse una tensión de  $10T_{\text{amb}}\text{mV}$ ). Por ejemplo, si  $T_{\text{amb}} = 30^\circ\text{C}$ , debe ajustarse R6 para que  $V_T = 3030\text{mV} = 3.03\text{V}$  y sea  $V_T - 2730\text{mV} = 300\text{mV}$ .



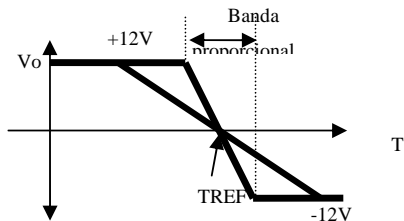
El OPAMP U1A actúa como seguidor de tensión. Junto al preset R12 provee una tensión VREF. Esta tensión es ingresada (con el jumper JP1 en la posición que indica la figura anterior) al amplificador restador conformado alrededor de U1B. La salida de este amplificador es proporcional a  $V_T - V_{\text{REF}}$ . Las resistencias R9 y R3 se calculan para que la constante de proporcionalidad sea 20 ( $V_{\text{error}} = 20(V_T - V_{\text{REF}})$ ). Obsérvese que cuando  $V_T = V_{\text{REF}}$ , resulta (teóricamente)  $V_{\text{error}} = 0$ . El preset R12 se ajusta de modo que VREF sea igual a la que proveería el LM335 cuando esté a la temperatura TREF deseada por el control (en este caso  $T_{\text{REF}} = 50^\circ\text{C}$ ). De este modo, se ingresará al circuito de control el punto de temperatura deseado del líquido. La tensión Verror será así, una medida de cuánto se aleja la temperatura del LM335 de la deseada. Considerando que el LM335 presenta una ganancia de  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$  resulta  $V_{\text{error}} = 200\text{mV}(T - T_{\text{REF}})$ , donde T es la temperatura del LM335. La excursión de salida teórica máxima de U1B es de  $\pm 12\text{V}$ , por lo que la salida de este operacional, considerando su saturación (y que el LM335 pudiera trabajar a  $T_{\text{sat}+}$  y  $T_{\text{sat}-}$ ) será la siguiente:



La diferencia  $T_{sat+}-T_{sat-}$  se denomina *banda proporcional*, pues con  $T$  dentro de esa banda, la tensión Verror varía proporcionalmente de  $T-T_{REF}$ . La resistencia  $R_2$  se calcula aquí de modo que la corriente por el LM335 a  $100^{\circ}C$  sea de  $1mA$ . A temperaturas menores, dicha corriente se incrementará, asegurando siempre la correcta operación del dispositivo, que requiere una corriente de operación de entre  $400\mu A$  a  $5mA$  (ver hoja de datos).

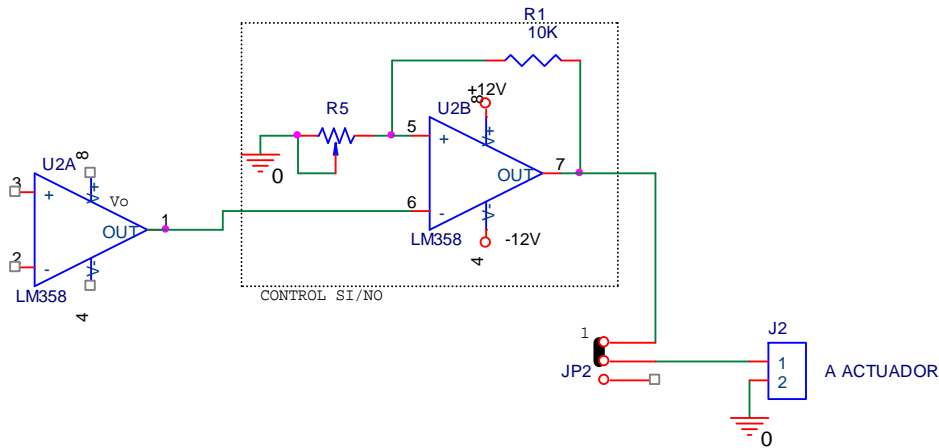
El operacional  $U_{2A}$  es un amplificador inversor, que amplifica  $V_{error}$  entre 1 y 101 veces, de acuerdo al ajuste que se haga en  $R_{11}$ . La red  $R_{17}-R_{18}$  se utiliza para ajustar el cero de la salida, de modo que para  $V_{error}=0$  resulte  $V_o=0$ . Teóricamente esta red no sería necesaria, pero las no idealidades de los OPAM reales hace que deba utilizarse una red de esta tipo (ante un OPAM ideal, resultaría la tensión de salida en el punto medio de  $R_{17}$  igual a  $0V$ )

La siguiente figura muestra la relación ente  $V_o$  y la temperatura medida  $T$ . Comparese con la figura anterior, y nótese la inversión provista por el amplificador inversor  $U_{2A}$ . Nótese que la banda proporcional puede variarse, simplemente ajustando el valor de  $R_{11}$ . Para los valores del circuito, la banda proporcional puede ajustarse hasta un valor cercano al grado.



El jumper  $JP_1$  se utiliza para calibrar el circuito. Cuando se coloca el jumper en la posición1, se cortocircuita la entrada del amplificador de error, con lo que debería resultar  $V_o=0$ . Con el jumper en esta posición, se ajusta el valor de  $R_{17}$  de modo que resulte  $V_o=0$ , para el valor de ganancia escogido para  $U_{2A}$ . Es de notar que este ajuste debe hacerse cada vez que se modifique el valor de la ganancia de  $U_{2A}$ , por lo que primero debe ajustarse la ganancia, y luego el cero de  $V_o$ . En el laboratorio se ajustará el valor de ganancia, para obtener una banda proporcional de  $\pm 1^{\circ}C$ ?

La salida  $V_o$  de  $U_{2A}$  ingresa a  $U_{2B}$ , que se encuentra operando como Schmitt trigger inversor. La resistencia  $R_5$  se ajusta para que cuando el error de temperatura sea de  $\pm 1^{\circ}C$  se produzcan las conmutaciones. Esto es, se ajusta para que cuando  $V_o$  sea la tensión error (positiva, ver figura anterior) correspondiente a  $49^{\circ}C$  la salida del Schmitt trigger pase a  $-12V$  y conecte la resistencia calefactora (pues esta tensión, ingresada a la PCT hace que el triac se encienda), y que para que cuando  $V_o$  sea la tensión error (negativa) correspondiente a  $51^{\circ}C$ , la salida del Schmitt trigger pase a  $12V$ , y desconecte la resistencia calefactora.



### Actividades en el laboratorio.

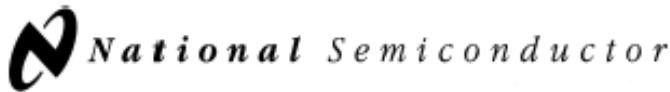
- 1) Alimente el circuito, sin colocar los integrados en los zócalos. Verifique los  $\pm 12V$  en el zócalo de U1, para asegurarse que ha conectado la fuente de alimentación correctamente.
- 2) Ajuste R6 de modo que VT se ajuste a la que corresponde a la temperatura ambiente, considerando en el LM335 una ganancia de  $10mV/^{\circ}C$ .
- 3) Ajuste VREF para tener una temperatura de operación de  $50^{\circ}C$ .
- 4) Ajuste el valor de R11 para tener una banda proporcional en U2A de  $\pm 12^{\circ}C$ . Este ajuste hágalo midiendo sobre el zócalo (recuerde que aún no debió haber insertado ningún integrado en su zócalo).
- 5) Ajuste R5 para que el Schmitt trigger conmute ante un error de temperatura de  $\pm 1^{\circ}C$ .
- 6) Desconecte la alimentación e inserte los integrados.
- 7) Verifique el valor de VREF y de VT.
- 8) Cortocircuite con JP1 (conectando el jumper entre los pines 1 y 2 de JP1) la entrada del amplificador de error y ajuste  $V_o=0$  mediante R17. Quite el cortocircuito colocando el jumper de JP1 entre los pines 2 y 3.
- 9) Mida con el tester VT, y con el osciloscopio  $V_o$ . Verifique que el valor de  $V_o$  a temperatura ambiente es el esperado. Sumerja el LM335 en agua hirviendo y confirme que  $V_o$  cambia a un valor negativo. Observe cómo varía  $V_o$  al sumergir y sacar del agua al sensor de temperatura.

**Las siguientes actividades son demostrativas.** (Ningún alumno debe tocar nada de lo que se arme ni manipular ningún equipo de medición).

El personal docente armará el sistema completo y demostrará el control de temperatura del agua. Se deberá medir con tester la tensión VT y con osciloscopio la tensión  $V_o$ . Con un osciloscopio aislado de red y la punta atenuada por 10, medirá también la tensión efectiva aplicada sobre la resistencia calefactora.

Verifique lo siguiente:

- a) El modo de operación del triac es o completamente encendido o completamente apagado. No se utiliza aquí el control de ángulo de conducción. Observe esto en el osciloscopio.
- b) Observe la frecuencia de encendido y apagado del triac, alrededor de los  $50^{\circ}C$ .
- c) Observe en el tester la evolución de la temperatura y en el osciloscopio la evolución del error. Grafique cualitativamente cómo varía la temperatura y el error de temperatura, en función del tiempo.
- d) Se ajustará el Schmitt trigger de modo que la banda de histéresis sea nula, y éste actúe simplemente como comparador. Verifique en este caso la frecuencia de conexión y desconexión de la resistencia calefactora, comparada con la observada en b).
- e) Obtenga y escriba conclusiones.



November 2000

## LM135/LM235/LM335, LM135A/LM235A/LM335A Precision Temperature Sensors

### General Description

The LM135 series are precision, easily-calibrated, integrated circuit temperature sensors. Operating as a 2-terminal zener, the LM135 has a breakdown voltage directly proportional to absolute temperature at +10 mV/K. With less than 1Ω dynamic impedance the device operates over a current range of 400 μA to 5 mA with virtually no change in performance. When calibrated at 25°C the LM135 has typically less than 1°C error over a 100°C temperature range. Unlike other sensors the LM135 has a linear output.

Applications for the LM135 include almost any type of temperature sensing over a -55°C to +150°C temperature range. The low impedance and linear output make interfacing to readout or control circuitry especially easy.

The LM135 operates over a -55°C to +150°C temperature range while the LM235 operates over a -40°C to +125°C

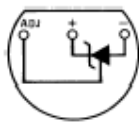
temperature range. The LM335 operates from -40°C to +100°C. The LM135/LM235/LM335 are available packaged in hermetic TO-46 transistor packages while the LM335 is also available in plastic TO-92 packages.

### Features

- Directly calibrated in °Kelvin
- 1°C initial accuracy available
- Operates from 400 μA to 5 mA
- Less than 1Ω dynamic impedance
- Easily calibrated
- Wide operating temperature range
- 200°C overrange
- Low cost

### Connection Diagrams

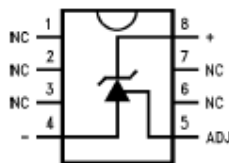
TO-92  
Plastic Package



D5000698-8

Bottom View  
Order Number LM335Z  
or LM335AZ  
See NS Package  
Number Z03A

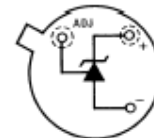
SO-8  
Surface Mount Package



D5000698-2b

Order Number LM335M  
See NS Package  
Number M08A

TO-46  
Metal Can Package\*



D5000698-2c

\*Case is connected to negative pin

Bottom View  
Order Number LM135H,  
LM135H-MIL, LM235H,  
LM335H, LM135AH,  
LM235AH or LM335AH  
See NS Package  
Number H03H

<b>Absolute Maximum Ratings</b> (Note 4)		Specified Operating Temp. Range	
If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/ Distributors for availability and specifications.			
Reverse Current	15 mA		
Forward Current	10 mA		
Storage Temperature			
TO-46 Package	-60°C to +180°C		
TO-92 Package	-60°C to +150°C		
SO-8 Package	-65°C to +150°C		
		Continuous	Intermittent (Note 2)
		LM135, LM135A	-55°C to +150°C
		LM235, LM235A	-40°C to +125°C
		LM335, LM335A	-40°C to +100°C
		Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
		TO-92 Package:	260°C
		TO-46 Package:	300°C
		SO-8 Package:	300°C
		Vapor Phase (60 seconds):	215°C
		Infrared (15 seconds):	220°C

<b>Temperature Accuracy</b> (Note 1)								
LM335, LM335A								
Parameter	Conditions	LM335A			LM335			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Operating Output Voltage	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$	2.95	2.98	3.01	2.92	2.98	3.04	V
Uncalibrated Temperature Error	$T_C = 25^\circ\text{C}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		1	3		2	6	°C
Uncalibrated Temperature Error	$T_{MIN} \leq T_C \leq T_{MAX}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		2	5		4	9	°C
Temperature Error with 25°C Calibration	$T_{MIN} \leq T_C \leq T_{MAX}$ , $I_R = 1\text{ mA}$		0.5	1		1	2	°C
Calibrated Error at Extended Temperatures	$T_C = T_{MAX}$ (Intermittent)		2			2		°C
Non-Linearity	$I_R = 1\text{ mA}$		0.3	1.5		0.3	1.5	°C

<b>Electrical Characteristics</b> (Note 1)								
Parameter	Conditions	LM135/LM235 LM135A/LM235A			LM335 LM335A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
		Operating Output Voltage	$400\ \mu\text{A} \leq I_R \leq 5\text{ mA}$		2.5	10		
Change with Current	At Constant Temperature							
Dynamic Impedance	$I_R = 1\text{ mA}$		0.5			0.6		$\Omega$
Output Voltage Temperature Coefficient			+10			+10		mV/°C
Time Constant	Still Air		80			80		sec
	100 ft/Min Air		10			10		sec
	Stirred Oil		1			1		sec
Time Stability	$T_C = 125^\circ\text{C}$		0.2			0.2		°C/hr