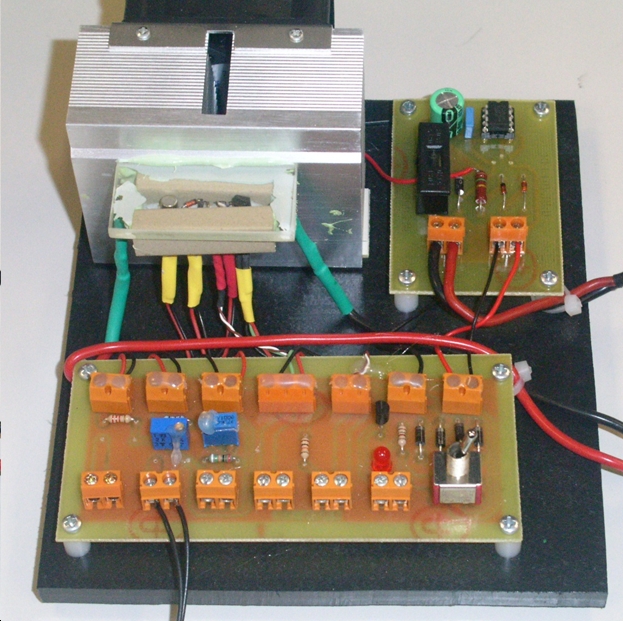
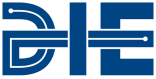
***Sensores Térmicos***



 ***Departamento de Ingeniería Electrónica -* ETSIT *- Universitat Politècnica de València***

**Sensores Térmicos**

1.- INTRODUCCIÓN.

2.- DESARROLLO TEÓRICO.

2.1.- ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES

2.2.- DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES

3.- DESARROLLO PRÁCTICO.

3.1.- CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.

3.2.- ACONDICIONADORES DE SEÑAL.

3.2.1- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON TERMOPAR

3.2.2- AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON Pt100

3.2.3- MEDIDADE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN

4.- ESPECIFICACIONES.

1. **INTRODUCCIÓN.**

El objetivo de la práctica es familiarizarse con la utilización de diferentes sensores de temperatura midiendo sus características y diseñando circuitos de aplicación. La práctica consistirá en la caracterización de los transductores utilizados, y posteriormente en su aplicación práctica mediante el diseño de circuitos de acondicionamiento. Los sensores térmicos utilizados son:

* Una resistencia termométrica de platino Pt100, modelo PTFC clase B.
* Un diodo 1N4148
* Un AD590 K, con salida por corriente de 1ºC, modelo K.
* Un LM35 D, con salida por tensión de 10 mV/ºC, modelo D.
* Un termopar tipo T.

Los sensores de temperatura están colocados entre dos resistencias de potencia, que se conectaran a la fuente de tensión en modo limitación de corriente. Al incrementar la corriente por las resistencias estas se calientan, variando de este modo la temperatura de los sensores. El conjunto de sensores y resistencias van pegadas a un disipador que tiene adosado un ventilador, de este modo podemos disminuir la temperatura de los sensores de forma más rápida.

La placa donde tenemos accesibles las conexiones a los sensores incorporan resistencias de polarización y de protección. En el siguiente esquemático se muestran estos circuitos para tenerlos en cuenta en el desarrollo de la práctica.



1. **DESARROLLO TEÓRICO.**
   1. **ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES**
      * 1. Para cada uno de los sensores leer detenidamente las especificaciones y determinar las siguientes características (para el diodo 1N4148 debe obtenerse una estimación de la sensibilidad de las especificaciones gráficas):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Diodo 1N4148** | **Pt100** | **AD 590 K** | **LM 35 D** | **Termopar T** |
| **Rango medida** | –65 to +200 | -50 to 600°C | ––55 to+150 | −55˚ to +150˚C | -40ºC to  +350ºC |
| **Sensibilidad** | -2.5mV/ºC | 3850± 13 ppm/°C | 1 uA/K | 10.0 mV/˚C | 40.6 uV/ºC |
| **Exactitud** | ------------- | Ro± 0.12 % | +-0.5°C | 0.6˚C | ±1ºC |

* + - 1. En el módulo de prácticas, los sensores tienen circuitería adicional de protección o de polarización. Los circuitos implementados en el módulo de prácticas son los siguientes:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  | |

Para cada uno de los sensores determinar la sensibilidad obtenida a la salida de los circuitos anteriores:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Diodo 1N4148** | **Pt100** | **AD 590 K** | **LM 35 D** | **Termopar T** |
| **Sensibilidad** | -2.5mV/ºC | 3850± 13 ppm/°C | 1mV/K | 10.0 mV/˚C | 40.6 uV/ºC |

* + - 1. El Termopar tipo T presenta una característica no lineal, con un coeficiente Seebeck de S = 40,6 V/ºC a 25ºC. A continuación se suministra la tabla de tensión termoeléctrica para un termopar tipo T, en el rango de 0 a 70ºC.

Tabla para un termopar tipo T. Tensión termoeléctrica en mV

**°C 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10**

**0 0.000 0.039 0.078 0.117 0.156 0.195 0.234 0.273 0.312 0.352 0.391**

**10 0.391 0.431 0.470 0.510 0.549 0.589 0.629 0.669 0.709 0.749 0.790**

**20 0.790 0.830 0.870 0.911 0.951 0.992 1.033 1.074 1.114 1.155 1.196**

**30 1.196 1.238 1.279 1.320 1.362 1.403 1.445 1.486 1.528 1.570 1.612**

**40 1.612 1.654 1.696 1.738 1.780 1.823 1.865 1.908 1.950 1.993 2.036**

**50 2.036 2.079 2.122 2.165 2.208 2.251 2.294 2.338 2.381 2.425 2.468**

**60 2.468 2.512 2.556 2.600 2.643 2.687 2.732 2.776 2.820 2.864 2.909**

A partir de estos datos, determinar un polinomio de 5 orden que mejor se ajuste a los datos de la tabla. Una vez obtenido dicho polinomio determinar el error máximo respecto a la aproximación lineal de la recta que pasa por 0ºC y 70ºC.

P(T)=1.57exp(−11)\*T5−3.71exp(−9)\*T4+3.08exp(−7)\*T3+3.14exp(−5)\*T2+3.87exp(−2)\*T+2.94exp(−4)

 V en mV

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **a0** | **a1** | **a2** | **a3** | **a4** | **a5** |
| 2.94exp(−4) | 3.87exp(−2) | 3.14exp(−5) | 3.08exp(−7) | −3.71exp(−9) | 1.57exp(−11) |

* + - 1. Dibujar la función polinómica en el intervalo y determinar el coeficiente Seebeck medio, a través de la regresión lineal.

Gráfico, Gráfico de líneas

Descripción generada automáticamente

* + - 1. Coeficiente Seebeck en el intervalo de 0 a 70 ºC: S = 4.155×10−2T+3.94exp(−1)
      2. Al no disponer de un patrón de temperatura para la calibración de los sensores, utilizaremos como referencia el sensor más exacto de los cinco utilizados, esto es, la resistencia termométrica de platino, Pt100.

Dada la sensibilidad de la Pt100 según especificaciones, determinar una expresión que nos de la temperatura en función de la tensión obtenida a la salida del circuito (tensión en la Pt100). Esta expresión es la que se utilizará en la práctica para determinar la temperatura de calibración “real” de los sensores.

T = 𝟏𝟎^3\*(𝟏𝟎∗𝑽𝒐𝒖𝒕 −𝟏)/𝟎.𝟑𝟖𝟓(𝟏𝟎 −𝑽𝒐𝒖𝒕)

* + - 1. Dibujar sobre unos mismos ejes las dos gráficas teóricas siguientes (considerando la sensibilidad nominal de la Pt100):

1. Tensión de salida del circuito, VPt100 (T).

Vout=VA/9k9/(1/9k9+1/Pt100)

1. Tensión en la Pt100, VPt100 (T), considerando una corriente constante de 1mA.

VPt100= Pt100\*1mA

* + - 1. De las dos gráficas obtener el error, en ºC y en %, que se comente en la medida de temperatura en función de T, por el hecho de no ser constante la corriente que circula por la Pt100. Determinar la expresión teórica que nos da el error en temperatura del circuito real respecto al ideal (corriente constante de 1mA).

Error T(ºC) = 0.0514

* 1. **DISEÑO DE LOS ACONDICIONADORES**
     + 1. Diseñar un circuito acondicionador para el termopar de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 ºC y 5V para 50 ºC. Utilizar el circuito propuesto a continuación, y utilizar para la compensación de la unión fría el LM35 presente en la placa del módulo. Determinar los valores de los componentes del circuito (Considerar que R2 puede tomar un valor muy pequeño, por ejemplo, del orden de 10y que se cumple la condición R2<<R1). Explicar el proceso de diseño, las ecuaciones de cálculo, y los valores elegidos.

R1 = R2= R3 =



Nota: (1) no conecte las masas en el borne de masa de la fuente de alimentación. Conecte las masas en un único punto común de la placa de montage, a donde conectará la masa de la fuente de alimentación. (2) el terminal del termopar a conectar a masa es el identificado con el color blanco.

* + - 1. En todos los circuitos se utilizará el A.O. OP27 de baja tensión de offset y baja deriva térmica. Obtener de las especificaciones el valor de estos parámetros del OP27:

Tensión de offset = 10 V Deriva térmica del offset = 0.2 V/ºC

* + - 1. Diseñar un circuito acondicionador para la Pt100 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 ºC y 5V para 50 ºC. Utilizar el circuito propuesto a continuación. Determinar los valores de los componentes del circuito. Tomar Ro = 10K. Utilizar un REF-01 para generar los +10V de la rama izquierda del puente (La rama derecha, con la Pt100 es la montada en el módulo de prácticas). El AD620 es un amplificador de instrumentación integrado, en el cual se selecciona la ganancia diferencial, Gd, mediante la resistencia RG, y según la expresión:



Determinar los valores de las resistencias para el diseño según especificaciones.

Rp = 100 RG= 190



* + - 1. Diseñar un circuito acondicionador para el diodo 1N4148 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 ºC y 5V para 50 ºC. Dar el esquema del circuito propuesto así como los valores de los componentes elegidos. (Utilizar un seguidor de tensión para no cargar el diodo, y un REF-01 para generar la tensión que permite obtener 0V a 0ºC.)
      2. Diseñar un circuito acondicionador para el LM35 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 ºC y 5V para 50 ºC. Dar el esquema del circuito propuesto así como los valores de los componentes elegidos.
      3. Diseñar un circuito acondicionador para el AD590 de modo que se obtenga a la salida 0V para 0 ºC y 5V para 50 ºC. Dar el esquema del circuito propuesto así como los valores de los componentes elegidos.

1. **DESARROLLO PRÁCTICO.**
   1. **CARACTERIZACIÓN DEL TRANSDUCTOR.**

Para la caracterización de los transductores se irá incrementando la temperatura y midiendo la respuesta del transductor. Se obtendrá de este modo la curva de calibración. Para ello, conectar los terminales de las resistencias calefactoras a la fuente variable, con la limitación de corriente a mínimo, y la tensión a máximo. La fuente de tensión actuará de este modo como una fuente de corriente. La potencia disipada por las resistencias será; , y la temperatura proporcional a la potencia disipada.

* + 1. Deberá completarse la tabla siguiente, teniendo en cuenta para ello que una vez fijada una corriente deberá esperarse un tiempo hasta que la temperatura final esté estabilizada (chequear para ello la tensión en al Pt100, y esperar hasta que el cambio sea inferior a 0,01mV en 5 segundos). Una vez estabilizada la temperatura, medir las salidas de cada sensor. Calcular los valores de la última columna de la tabla, Pt100 (ºC), a partir de la expresión de la temperatura “real” determinada en el apartado teórico.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **I / Sensor** | **Vd (mV)** | **Pt100 (mV)** | **AD 590 (mV)** | **LM 35 (mV)** | **Termopar T (V)** | **Pt100 (ºC)** |
| **0 A** | 681.56 | 109.229 | 297.15 | 238.12 | 13 | 24.24 |
| **1 A** | 667.19 | 112.12 | 303.67 | 297.86 | 328 | 31.84 |
| **1,4 A** | 651.74 | 115.220 | 310.54 | 364.11 | 671 | 40.0 |
| **1.7(2) A** | 635.85 | 118.378 | 317.95 | 430.74 | 975 | 48.31 |
| **1,9 A** | 627.48 | 119.94 | 321.66 | 463.44 | 1170 | 52.42 |
| **2,11 A** | 612.43 | 122.97 | 328.33 | 526.04 | 1484 | 60.41 |

* + 1. Para cada uno de los sensores, dibujar la gráfica de tensión de salida en función de la temperatura “real” (última columna de la tabla anterior). Para el AD590 expresar la temperatura en grados Kelvin.

A graph with numbers and a line

Description automatically generatedA graph with a dotted line and numbers

Description automatically generatedA graph with a dotted line

Description automatically generatedA graph with a dotted line

Description automatically generated

A graph with a dotted line

Description automatically generated

* + 1. Para cada uno de los sensores realizar una aproximación lineal por regresión lineal (T = a + b V) y obtener los parámetros de la aproximación lineal (a,b). De la regresión lineal obtener para cada sensor la sensibilidad, así como el error máximo obtenido por la aproximación lineal (error de linealidad).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Diodo 1N4148** | **Pt100** | **AD 590 K** | **LM 35 D** | **Termopar T** |
| **Regresión**  **Lineal**  **V = a + b T** | y = -1.9147(T)+ 728.12 | y = 0.3799(T)+ 100.02 | y = 0.8656(T)+ 39.655 | y = 7.9844(T)+ 44.427 | y = 40.557(T) - 965.17 |
| **Sensibilidad**  **b** | -1.91 mV/ºC | 0.38 mV/ ºC | 0.87 mV/ K | 7.98 mV/ ºC | 40.56 uV/ ºC |
| **Error Lin. (%)** |  |  |  |  |  |

* + 1. Comparar estos resultados con los obtenidos en el apartado teórico. En el caso del termopar, con la regresión lineal se habrá obtenido el coeficiente Seebeck medio en el intervalo de medida. Comparar el valor experimental obtenido con el determinado en el apartado teórico.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Diodo 1N4148** | **Pt100** | **AD 590 K** | **LM 35 D** | **Termopar T** |
| **Sensibilidad**  **Teórica** | -2.6mV/ºC | 3850± 13 ppm/°C | 1mV/ºC | 10mV/ºC | 40.6uV/ºC |
| **Sensibilidad**  **Experimental** | -1.91 mV/ºC | 0.38 mV/ ºC | 0.87 mV/ K | 7.98 mV/ ºC | 40.56 uV/ ºC |

* 1. **ACONDICIONADORES DE SEÑAL**

Montar los dos circuitos diseñados en el apartado teórico: acondicionador para termopar tipo T, y Pt100. Dada la imposibilidad de disponer de una referencia de temperatura para el ajuste de del acondicionadaor, y con objeto de simplificar el ajuste del acondicionador, se realizará el siguiente proceso para cada uno de los acondicionadores:

* + 1. **AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON TERMOPAR**

1. De la regresión lineal de la relación tensión-temperatura del termopar, en el rango de 25ºC a 50ºC, obtenemos un coeficiente Seebeck de 41,67 V/ºC. Consideraremos este valor la sensibilidad del termopar en el rango de medida y determinaremos la ganancia del circuito para obtener la sensibilidad deseada a la salida del acondicionador.



1. La ganancia del acondicionador de la señal del termopar, G, toma la expresión:



1. Tomaremos la resistencia  de valor nominal.
2. La resistencia R1 será la combinación en serie de una resistencia de 2K2 y un potenciómetro de 470Inicialmente ajustaremos el valor del conjunto a 2400
3. La resistencia R3 será la combinación en serie de una resistencia de 22K y un potenciómetro de 5K
4. Mediremos el valor resistivo que toma el paralelo de R1 y R2 ( Rp ).
5. Ajustaremos el valor de R3 a 2399· Rp. 23890
6. Finalmente, compensaremos la temperatura de la unión de referencia del termopar mediante el ajuste de R1, de forma que a temperatura ambiente se obtenga la tensión esperada:



* + 1. **AJUSTE DEL ACONDICIONADOR CON Pt100**

1. Para una corriente de excitación de 1mA, la tensión medida en la Pt100 tendrá una sensibilidad teórica de 0.385mV/ºC.
2. Dada la sensibilidad de la Pt100, determinar la ganancia diferencial requerida en el acondicionador, Gd, según la expresión:



1. Ajustar la ganancia del acondicionador colocando la RG determinada teóricamente según la expresión de ganancia del AD620. Para ello, poner una resistencia de 100 en serie con un potenciómetro de 100y ajustar el conjunto a 191
2. Una vez ajustada la ganancia del acondicionador, conectar el sensor al acondicionador y ajustar el offset del circuito mediante Rp, de forma que a temperatura ambiente se obtenga la tensión esperada:



* + 1. **MEDIDA DE LAS CURVAS DE CALIBRACIÓN**

1. Una vez montados y ajustados los acondicionadores tomar medidas y rellenar la siguiente tabla de calibración. En la última columna poner el valor “real” de la temperatura, obtenida de la medida de la caída de tensión en la Pt100, y la ecuación que relaciona dicha tensión con la temperatura real (ecuación determinada en el apartado teórico).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **I / Sensor** | **Pt100 (ºC)** | **Termopar T (ºC)** | **Pt100 (ºC) real** |
| **0 A** | 29.75ºC |  | 111.15mV=29.29 ºC |
| **1 A** | 31.79 ºC |  | 112.013mV=31.56 ºC |
| **1,4 A** | 39.81 ºC |  | 115.037mV=39.51 ºC |
| **1.7 A** | 44.02 ºC |  | 116.54 mV=43.47 ºC |
| **1,9 A** | 49.58 ºC |  | 118.7 mV=49.15 ºC |
| **2,13A** | 57.68 ºC |  | 121.8mV=57.32 ºC |

1. Dibujar las gráficas de la salida de cada acondicionador respecto a la temperatura real, y determinar el error de linealidad en la medida en % y en ºC.

A graph with a dotted line

Description automatically generated

Error de linealidad:

**4.- ESPECIFICACIONES.**

Se adjuntan las especificaciones de los sensores utilizados: Pt100, 1N4148, AD590, LM35, Termopar tipo T. En archivo: “Práctica Temperatura Especificaciones Sensores 2013.pdf”