

# IDEAS DE DISEÑO

## DISEÑO DE BARÓMETROS

### Introducción

La realización de barómetros a partir de sencillos circuitos electrónicos se ha visto facilitada debido a la aparición de los sensores de presión absoluta. El presente artículo describe cómo se pueden realizar dos modelos diferentes de barómetros de estado sólido y de bajo coste a partir del sensor de presión absoluta modelo SCX15ANC de Sensym. El primero de ellos emplea una tensión de alimentación de 15 voltios y genera una tensión de salida analógica que es proporcional a la presión barométrica, la cual se puede fácilmente dimensionar en mBar, mmHg o inHg. El segundo modelo emplea una batería de 9 voltios junto con un display de cristal líquido (LCD) de 3 dígitos, lo cual le convierte en un barómetro digital portátil que puede emplearse incluso por cualquier aficionado a los paseos a pie.

### Ejemplo de tensión analógica de salida (escala en mBar)

Para construir un barómetro con una tensión de salida directamente proporcional a la presión barométrica se debe emplear el circuito representado en la figura 1.

El amplificador operacional A1 se emplea para proporcionar la tensión regulada de 10 voltios al sen-

sor, consiguiendo de esta forma que el circuito sea independiente de las variaciones de la tensión de 15 voltios suministrada por la fuente de alimentación. Por otra parte, el amplificador operacional A2 junto con el potenciómetro R2 proporcionan la necesaria compensación de la altura (ajuste de offset). Los dos amplificadores operacionales de la etapa final de salida, A3 y A4, están configurados como un amplificador de instrumentación y proporcionan la ganancia al sensor. La ecuación de la ganancia viene dada por:

$$V_o/V_i = A_o = 2(1 + R_t/R_1)$$

### Cálculos de diseño

Los cálculos para el diseño parten de la base de que el barómetro debe disponer de una escala calibrada en mBar. La tensión de salida del circuito mostrado en el figura 1 se puede calibrar de tal forma que corresponda directamente con una presión barométrica en mBar (1 psi = 68.947 mBar).

Por ejemplo, para una presión de 1013,9 Mbar (a nivel del mar) la tensión de salida será igual a 10,138 V.

Igualmente, para una presión de 1310,3 mBar la tensión de salida será de 13,103 V.

Empleando esta escala directa, podemos afirmar que un cambio

de 10 mV es igual a un cambio en la presión de 1 mbar, por lo que una lectura de 296,5 mBar proporcionará un cambio de 2,965 V.

El valor de la resistencia  $R_t$  que fija la ganancia se calcula a partir de la ecuación anterior. El recorrido de la tensión de salida del sensor SCX15ANC para 15 psi es igual a 90 mV cuando se alimenta a partir de una tensión de 12 voltios. Esto eventualmente es igual a 0.5 mV por voltio y por psi.

A 10 voltios y con un cambio de 296,5 mBar (4.3 psi 9), la salida del sensor cambiará 21,5 mV. Debido a esto, es necesario que un cambio en la presión de 296,5 mBar genere un cambio en la tensión de salida de 2.965 V, es decir, que la ganancia necesaria del diseño debe ser de 137,9 V/V. Empleando la ecuación anterior y haciendo  $R_1$  igual a 10 k, obtenemos un valor para la resistencia de ganancia  $R_t$  de 147.

En el circuito práctico se puede emplear una resistencia fija de 137 junto con un potenciómetro multi-vuelta de 20, lo cual permite disponer de un margen de tolerancia en el circuito en orden a realizar un ajuste óptimo de la ganancia. Los valores de las resistencias  $R_s$  y  $R_g$  se ofrecen en la tabla adjunta.

### Calibración

Para calibrar el barómetro se pue-

den emplear dos métodos, cualquiera de los cuales necesita una breve explicación de los principios matemáticos en los que se basa antes de definir el procedimiento de ajuste o calibración.

Para una tensión de alimentación dada, la tensión de salida del sensor viene dada por la expresión:

$$V_o = (S \times P) + V_{os}$$

donde:

$V_o$  = tensión de salida (mV).

$S$  = sensibilidad del sensor (mV/psi).

$P$  = presión aplicada.

$V_{os}$  = tensión de offset del sensor (mV).

La sensibilidad se puede determinar por medio del empleo de dos presiones conocidas, dado que así se dispone de un sistema de dos ecuaciones en la que disponemos de dos valores desconocidos (incógnitas)  $V_{os}$  y  $S$ .

Para el valor de la presión atmosférica, se tiene:

$$V_{o1} = (S \times P_{atm}) + V_{os}$$

Si se aplica una presión conocida de 2 psig:

$$V_{o2} = [S \times (P_{atm} + 2 \text{ psig})] + V_{os}$$

Se puede observar que la sensibilidad del sensor  $S$  no cambia en función de la presión aplicada, por lo que:

$$V_{o2} - V_{o1} = S \times 2 \text{ psig}, \text{ o bien:}$$

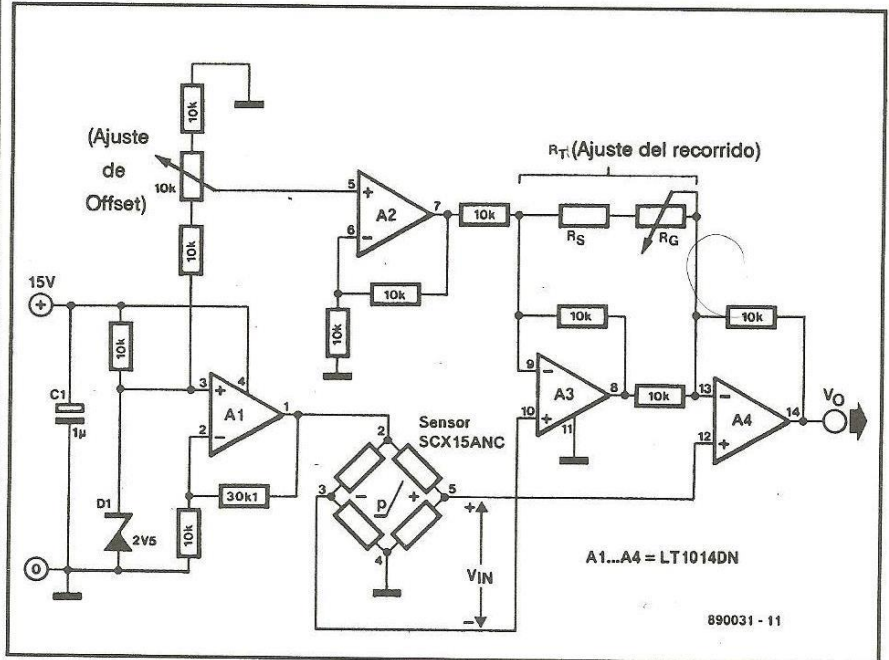
$$S = (V_{o2} - V_{o1}) / 2 \text{ voltios/psi}$$

El valor de la tensión de offset se puede calcular de igual forma a partir de la expresión:

$$V_{os} = V_o - S \times P_{atm}$$

TABLA 1  
VALORES DE LAS RESISTENCIAS  $R_S$  Y  $R_G$  PARA  
BAROMETROS DE SALIDA ANALOGICA

UNIDAD	GANANCIA	VALOR NOMINAL DE RESISTENCIA	$R_S$	$R_G$
mBar	138 V/V	147 $\Omega$	137 $\Omega$	20 $\Omega$
mmHg	103 V/V	197 $\Omega$	174 $\Omega$	50 $\Omega$
inHg	41 V/V	517 $\Omega$	464 $\Omega$	100 $\Omega$
inH <sub>2</sub> O	55 V/V	375 $\Omega$	348 $\Omega$	50 $\Omega$
KPascal	138 V/V	147 $\Omega$	137 $\Omega$	20 $\Omega$



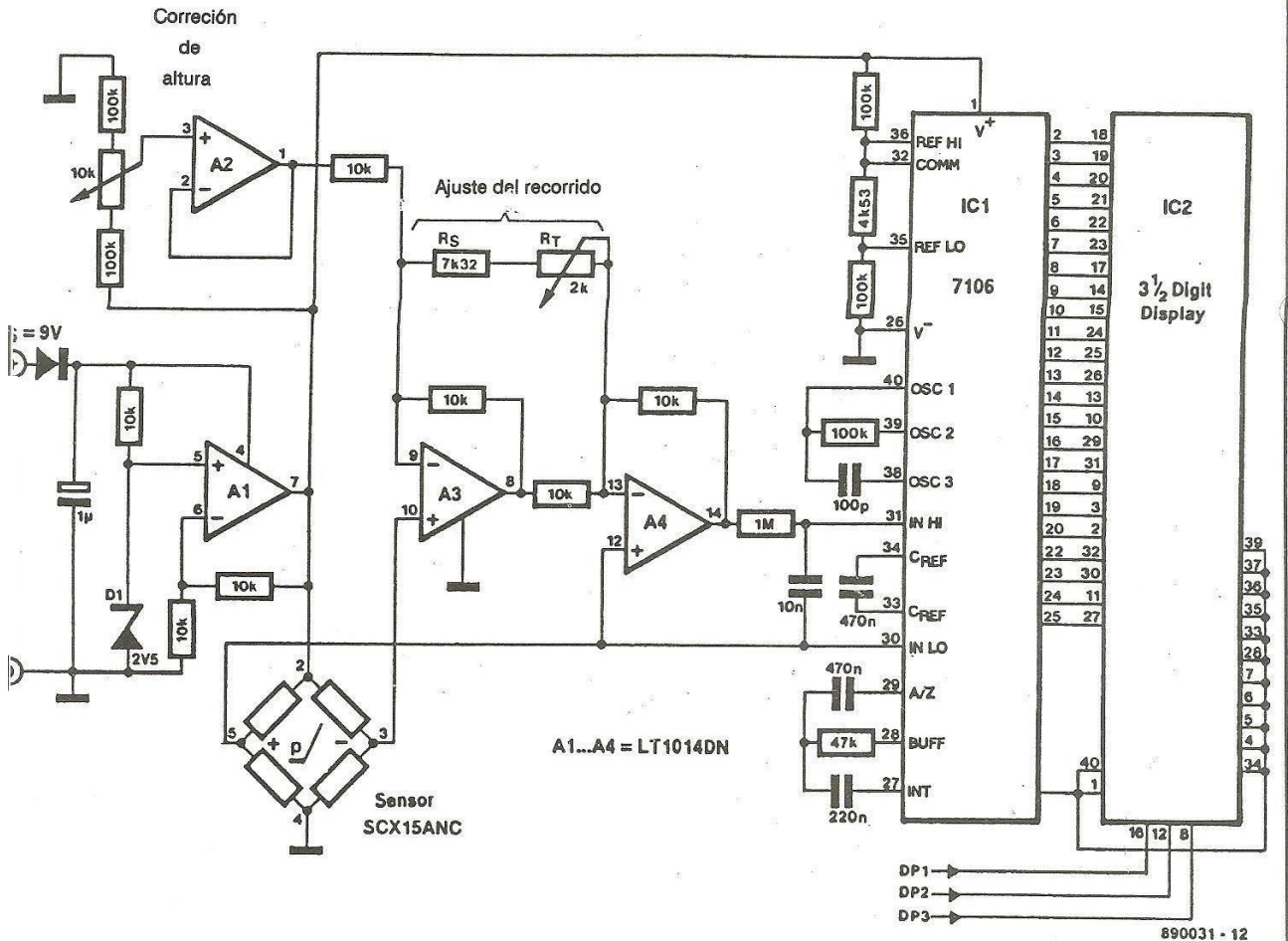
Cuando se conoce la tensión de offset, se puede ajustar el valor de  $R_3$  para hacer mínima su contribución al error de la medida. El resto del valor de error viene provocado por el recorrido de la tensión del sensor, el cual se puede eliminar ajustando el valor de  $R_t$  hasta que la lectura del barómetro sea exactamente igual a la actual presión barométrica.

### Primer procedimiento

Este procedimiento asume que se dispone de una fuente de presión adicional, lo cual hace más fácil el ajuste de la ganancia y la tensión de offset.

El barómetro debe encenderse y dejar que alcance la temperatura adecuada de funcionamiento du-

rante unos 10 minutos. Transcurrido este periodo de calentamiento, deberá anotarse la lectura del barómetro. Seguidamente, debe obtenerse la actual presión barométrica a partir de una fuente de presión conocida. La segunda fuente de presión desconocida se debe aplicar en este momento y anotar la lectura que produce sobre el barómetro. Realizados estos dos pasos, se puede calcular el recorrido de la tensión del sensor junto con su valor de offset a partir de las dos medidas de presión realizadas anteriormente por medio del modelo matemático anterior. El potenciómetro de recorrido debería ajustarse para minimizar su contribución al error, seguido por el ajuste del valor de offset hasta que la lectura del barómetro sea exactamente igual a la presión barométrica obtenida.



## Segundo procedimiento

Con este segundo procedimiento no es necesario disponer de otra fuente de presión distinta a la presión atmosférica, aunque el ajuste será menos preciso y el error, debido tanto a la tensión de offset como al recorrido de la tensión de salida del sensor, será desconocido.

Se deberá calcular el valor teórico de  $R_t$  y emplear el valor nominal de resistencia más próximo al valor teórico obtenido como valor fi-

jo de resistencia de ganancia, sin emplear un potenciómetro.

Después de esta fase, se deberá ajustar el potenciómetro de offset  $R_3$  hasta que la lectura del barómetro esté de acuerdo con el valor actual de la presión barométrica.

Si no se realiza el ajuste preciso del recorrido de la tensión de salida del sensor y el ajuste de offset, se puede esperar un error de aproximadamente el 3 %.

Si se va a emplear el barómetro para medir cambios relativos de pre-

sión este error no será crítico.

## Barómetro de mmHg

Para realizar un barómetro que disponga de una escala calibrada en milímetros de mercurio (mmHg) es preciso saber que 1 psi es igual a 51,714 mmHg por lo que se puede emplear el mismo circuito anterior y sólo habrá que volver a calcular el valor de  $R_t$ .

Para el ejemplo anterior, el margen de salida era desde 5,689 V (568,87 mmHg) a 9,286 V (982,59 mmHg). De esta forma, para

413,73 mmHg debemos disponer de un cambio de 4,137 V. Cuando se aplique el mismo método empleado en el ejemplo anterior se podrá comprobar que se obtiene un valor para  $R_t$  de 197,2. El ajuste es el mismo que el empleado en el barómetro calibrado en unidades de mBar.

## Barómetro portátil

El diagrama esquemático representado en la figura 2 muestra un barómetro digital portátil que dispone de un panel de presentación de cristal líquido (LCD) de 3 dígitos. El amplificador operacional A1 proporciona una tensión regulada de 5 V tanto al sensor como al excitador del display IC1. La precisión del barómetro no vendrá afectada hasta que la batería entregue una tensión por debajo de los 6,5 V. El ajuste de offset se realiza a través del amplificador operacional A2 y del potenciómetro R4. Los amplificadores operacionales A3 y A4 están configurados como amplificadores de instrumentación, cuya salida a fondo de escala viene determinada por el ajuste de  $R_g$ . Como circuito del interface entre los amplificadores de instrumentación y el display LCD de 3 dígitos se ha empleado un circuito convertidor analógico a digital modelo ICL 7106, fabricado por Intersil, el cual dispone de forma integrada el correspondiente excitador del display LCD.

Para el cálculo de la ganancia se debe emplear la misma expresión anterior, donde en este caso  $R_1$  es igual a 10 k.

## Cálculos de diseño

La salida del convertidor A/D re-

presentará la presión barométrica en PSI. Según las hojas de características del sensor de Sensym, la salida a fondo de escala del sensor, a 15 psia, corresponde con un valor de 90 mV. Puesto que esta tensión de salida es proporcional a la tensión de alimentación cuando ésta es de 12 voltios, la salida a fondo de escala resultante, a 15 psia, será de 37,5 mV cuando la tensión de alimentación sea de 5 V.

Si la salida a fondo de escala del convertidor A/D se considera que es de 166 mV, se puede deducir que la ganancia en tensión necesaria debe ser de 4,4 V/V. A partir de la expresión de la ganancia es posible deducir que el valor teórico para  $R_t$  es de 8.26 k, el cual se puede llevar a la práctica por medio de una resistencia fija de 7,23 k y un potenciómetro multivuelta de 2 k que constituirán los valores para  $R_s$  y  $R_g$ , permitiendo de esta forma una cierta tolerancia al circuito y un ajuste preciso de la ganancia.

## Realización final

Cuando se conocen todos los valores de los componentes, puede tener lugar la realización práctica del barómetro. Para minimizar el ruido y los errores debidos a los gradientes de temperatura, el circuito debería realizarse sobre una placa de circuito impreso.

Las conexiones al display están todas mostradas en la figura salvo las correspondientes al punto decimal. Éstas se pueden realizar de forma sencilla conectando la correspondiente señal del punto decimal (DP1, DP2 ó DP3) a un segmento del display que se visualice de forma permanente. Por ejem-

plo, para una salida en PSI, el punto decimal se deberá conectar al segmento 1bc del dígito más significativo, ya que éste siempre está alimentado bajo condiciones normales de funcionamiento del barómetro.

## Procedimiento de ajuste

El método de ajuste es exactamente el mismo que el empleado en el primer procedimiento para los barómetros de tensión de salida analógica cuando se disponía de una fuente de presión adicional.

Para anular tanto el error de recorrido de la tensión del sensor como el error de offset, se sugiere emplear un método de ajuste de dos puntos. Si no se dispone de la segunda fuente de presión, el empleo de un valor fijo de resistencia para  $R_t$  proporcionará un resultado realmente preciso.

## Conclusiones finales

Este artículo ha presentado dos modelos de barómetros que se pueden realizar a partir del sensor de presión de Sensym modelo SCX15ANC, junto con la correspondiente circuitería de amplificación de las señales, pero como podrá suponer el lector, se pueden realizar otros muchos modelos.

El barómetro de tensión continua es un buen instrumento de laboratorio, mientras que la versión portátil es, por supuesto, idónea para el trabajo fuera del laboratorio. Ambas versiones se pueden realizar a partir de componentes de bajo coste, garantizándose para cualquier modelo unos resultados fiables.