



Ingeniería, investigación y tecnología

ISSN: 1405-7743

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

Gómez-Ramírez, Emmanuel; Álvarez-Simon, Luis Carlos;
Flores-García, Francisco Gerardo; Chávez-García, Carlos
Circuito de acondicionamiento con amplio rango dinámico para sensores resistivos basado en PSoC
Ingeniería, investigación y tecnología, vol. XXIII, núm. 3, e1964, 2022, Julio-Septiembre
Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

DOI: <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.3.022>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40475447006>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto



Circuito de acondicionamiento con amplio rango dinámico para sensores resistivos basado en PSoC

Wide dynamic range conditioning circuit for resistive sensor based on Programmable System-on-Chip (PSoC)

Gómez-Ramírez Emmanuel
Conacyt-Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Correo: egomez@conacyt.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7104-9520>

Álvarez-Simon Luis Carlos
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico Superior de Huachuquínango
Correo: luis.as@huachuquínango.tecnm.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1389-3931>

Flores-García Francisco Gerardo
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Correo: fgfloresg@correo.itlalaguna.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-6661-8191>

Chávez-García Carlos
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de La Laguna
Correo: chavezccg1408@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-3767-2148>

Resumen

Este trabajo presenta la implementación de una interface de acondicionamiento para sensores resistivos, basado en la técnica ratiométrica. Las aplicaciones de los sensores resistivos han tenido un aumento en la industria para la medición de diferentes variables físicas o químicas. Estos sensores deben convertirse en una señal digital compatible con una computadora, sistema de adquisición de datos, microcontrolador o microprocesador, utilizando una interface. La interface propuesta consiste de un convertidor de resistencia a periodo. La implementación del circuito se realizó en una tarjeta PSoC (Sistema Programable en un Chip) modelo 5LP utilizando bloques analógicos programables. Se obtuvo un rango dinámico de 136dB, con una entrada de 5Ω a $36M\Omega$. Además, se probó el desempeño del circuito con tres sensores comerciales.

Descriptores: Circuitos de lectura de señal, PSoC, Sensores resistivos, convertidor de periodo a digital.

Abstract

This paper presents the implementation of an interface for resistive sensors, based on the ratiometric technique. Resistive sensors applications have been increasing in the industry for the measurement of different physical and chemical variables. These sensors must be converted into a digital signal to be compatible with a computer, DAQ system, microcontroller or microprocessor using an interface. The proposed interface consists of a resistance to period converter. The Proposed circuit was implemented in a PSoC PL5 board using programmable analog blocks. A dynamic range of 136dB was obtained, with an input of 5Ω to $36M\Omega$. In addition, performance of the circuit was tested with three commercial sensors.

Keywords: ReadOut Circuit, PSoC, Resistive Sensors, Period-to-Digital Converter.

INTRODUCCIÓN

Los sensores resistivos en los últimos años han tenido un aumento en cuanto a su aplicación en el área tecnológica para la medición de diferentes variables como desplazamiento, fuerza, flujo, presión, temperatura, concentración de gases y humedad, entre otras. La resistencia de dichos sensores varía en proporción del parámetro que se está midiendo en el orden de los Ω a varios $M\Omega$. Si el sensor es alimentado con un voltaje constante el cambio se ve reflejado en el valor de la corriente que lo atraviesa, o de la caída de voltaje que se genera entre sus terminales si se polariza con una corriente constante. Esta señal en voltaje o corriente debe convertirse en una señal digital compatible con un microprocesador o microcontrolador a través de una interface para poderse interpretar. De acuerdo con Sergey (2016), las interfaces de los sensores resistivos pueden ser divididos en dos tipos: las interfaces directas con salida digital y las interfaces cuasi-digitales. Estas últimas se implementan con una conversión intermedia, esto es, una conversión de resistencia a frecuencia, a periodo, a pulso o a ciclo de trabajo. Las interfaces cuasi-digitales no usan un convertidor analógico-digital, tienen la característica de tener un amplio rango dinámico y comúnmente dependen del tiempo de carga y descarga de un circuito RC, utilizando un oscilador (Kirianaki *et al.*, 2002; Kokolanski *et al.*, 2013). Típicamente, el oscilador se implementa con una celda de integración seguido de un comparador de voltaje para producir una señal periódica dependiente de la resistencia del sensor. En la literatura se han propuesto numerosos circuitos de interfaz cuasi-digitales para sensores resistivos (Mohan *et al.*, 2010, 2009; Choi *et al.*, 2015), al igual que se han propuesto diferentes tecnologías para desarrollar estas interfaces (Jayaraman & Bhat, 2007; Álvarez, 2014; Fatecha *et al.*, 2013; Nakagawa *et al.*, 2018; Reverter, 2012). El objetivo de este trabajo es mostrar el diseño y el desempeño de una nueva interfaz cuasi-digital para sensores resistivos, implementada en una tarjeta de desarrollo programable basada en la tecnología PSoC (por sus siglas en inglés, Programmable System on Chip), la cual permite programar componentes analógicos. Ofreciendo con esta implementación un amplio rango dinámico de entrada y robustez a variaciones en el voltaje de alimentación, esto sin el uso de voltajes de referencia ni bloques de alto desempeño. La solución propuesta consiste en usar una arquitectura basada en la técnica ratiométrica (Anderson, 2004). Resultando en una solución simple, económica, compacta y de bajo consumo de potencia.

El sistema consta de dos partes: primero, un circuito de acondicionamiento que transforma la corriente del

sensor a una señal periódica; y segundo, un algoritmo simple que monitorea la corriente de polarización y permite modificar la relación entre la corriente de polarización y la de integración del sistema obteniendo un mayor rango dinámico.

El documento se organiza de la siguiente manera: En la sección sensores resistivos se muestran las características de algunos sensores resistivos que se encuentran en el mercado y que se utilizaron para demostrar el desempeño del circuito propuesto. En la sección siguiente se describe el diseño y funcionamiento de los bloques de la interface. La sección contigua muestra la implementación del circuito propuesto en una tarjeta PSoC. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos a partir de la experimentación y las conclusiones.

SENSORES RESISTIVOS

SENSOR DE POSICIÓN

El primer sensor resistivo que se revisó fue un sensor de posición modelo SoftPot de SpectraSymbol. El funcionamiento y características se muestran en (SoftPot, 2022), sin embargo, aquí se describen los parámetros de interés. El sensor, a su salida entrega una respuesta lineal respecto a la posición dentro de su membrana resistiva (como se muestra en la Figura 1). Tiene un recorrido de 10 mm a 100 mm con una variación en resistencia de 1 k Ω a 10 k Ω , por lo que su resolución puede definirse con la siguiente expresión:

$$\Delta A = \Delta d / \Delta R_s \quad (1)$$

donde d es la posición en milímetros y R_s es la resistencia en K Ω del sensor.

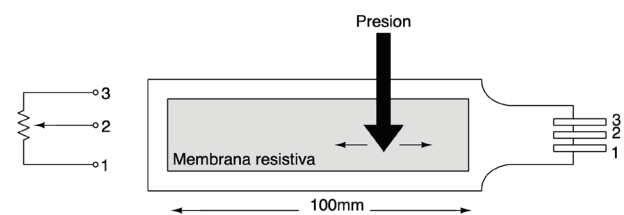


Figura 1. Diagrama y modelo esquemático del sensor SoftPot de SpectraSymbol

SENSOR DE DESPLAZAMIENTO ANGULAR

El sensor de desplazamiento angular (FlexSensor de la familia SpectraSymbol) varía su resistencia de manera lineal al flexionarse su membrana. Tiene un rango de desplazamiento de 0 a 90° con un cambio de resistencia

de salida de 25 KΩ a 120 KΩ. Su salida está dada por la siguiente ecuación:

$$RS = 1110g + 25000\Omega \quad (2)$$

donde g es la entrada en grados. Sus especificaciones técnicas se pueden encontrar en (FlexSensor, 2022) y su construcción física se puede observar en la Figura 2.

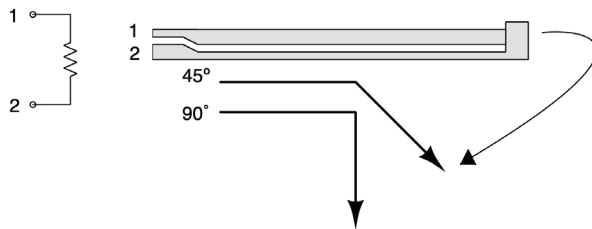


Figura 2. Diagrama y modelo esquemático del sensor FlexSensor de SpectraSymbol

SENSOR DE FUERZA

El sensor de fuerza es una membrana flexible de 0.5 mm de espesor aproximadamente. La cual varía su resistencia con el incremento de la fuerza aplicada en la misma. En la Figura 3 se muestra el modelo de un sensor de fuerza de la familia Alpha. Sus características eléctricas se pueden encontrar en (Alpha, 2022). Su variación en resistencia está en el rango de los 2 KΩ a los 2 MΩ. El peso que puede detectar está en el orden de los 10 g a los 1000 g.

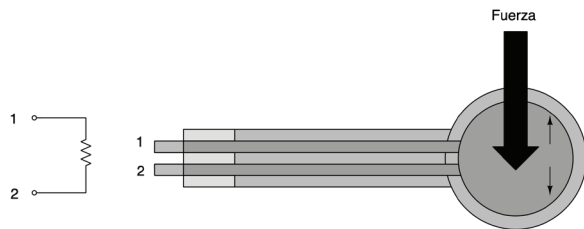


Figura 3. Diagrama y modelo esquemático del sensor de fuerza de la familia Alpha

De los sensores antes revisados se puede observar que el rango de variación de la resistencia va desde unidades de KΩ hasta MΩ, sin embargo, en la literatura se han encontrado sensores que van desde unidades de Ω hasta cientos de MΩ. El diseño de una interfaz que permita tomar la lectura de estos sensores requiere tener un amplio rango dinámico. En la siguiente sección se muestra el desarrollo de la interfaz propuesta abarcando dichas características.

DESCRIPCIÓN Y OPERACIÓN DEL CIRCUITO

El principio de operación de la interfaz se muestra de forma simplificada en la Figura 4, el cual consiste en un convertidor de resistencia a periodo. En la primera etapa de la interfaz (Bloque 1), el sensor R_s (el cual representa un sensor resistivo cuyo valor puede estar entre las unidades Ω hasta los cientos de MΩ), es polarizado con un lazo de corriente programable I_{in} . A través de espejos de corriente, esta corriente se hace pasar hacia el interruptor SW1 con un factor de copia de $\beta:1$. La corriente de salida I_{out} , carga y descarga el capacitor C . Cabe mencionar que el voltaje en un capacitor es la integral de la corriente dividida entre la capacitancia de dicho capacitor, en este caso la corriente de carga es una fuente de corriente constante, por lo que el voltaje en el capacitor queda determinado por la ecuación 3. De esta manera, el voltaje en el capacitor es una línea recta cuya pendiente depende de la magnitud de la corriente y de la capacitancia, tal como se muestra en la Figura 5.

$$V_c(t) = \frac{I}{C} \int_0^t dt \quad (3)$$

En la segunda etapa de la interfaz (Bloque 2), la señal $V_c(t)$ se compara con el voltaje de referencia V_H cuando el capacitor se está cargando, y con el voltaje de referencia V_L cuando se está descargando, siendo $V_H > V_L$. Cada vez que $V_c(t)$ alcanza el valor de V_H o V_L , la dirección de la corriente a través del capacitor se invierte. De esta manera, el periodo de la señal de salida está dada por:

$$t_{out} = 2C (V_H - V_L) / I_{out} \quad (4)$$

Para que el sistema se vuelva independiente a cualquier voltaje de referencia e inmune a cambios en el voltaje de polarización se utiliza la técnica ratiométrica (Álvarez, 2014). La cual, en este caso particular, se aplica al igualar el voltaje diferencial del sensor y los voltajes de referencia en la etapa de comparación. De igual forma, el voltaje $(V_H - V_L)$ se puede definir en términos de la corriente de entrada y del sensor. De esta manera la señal de salida ahora está dada por:

$$t_{out} = 2CI_{in}R_s / \beta I_{out} \quad (5)$$

con una ganancia $\beta = 1$ en el espejo de corriente, donde la corriente I_{in} es igual a la corriente I_{out} , la salida del sistema queda como:

$$t_{out} = 2CR_s \quad (6)$$

donde queda explícita la linealidad del sistema, debido solo a la dependencia del valor de resistencia del sensor y del capacitor de carga.

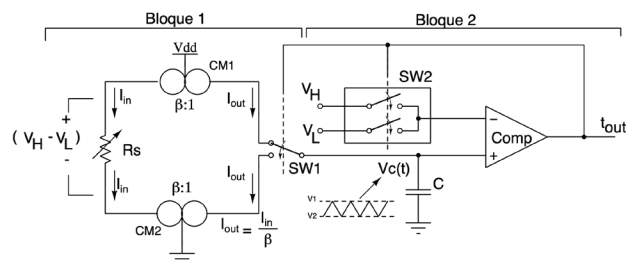


Figura 4. Diagrama y modelo esquemático del circuito propuesto

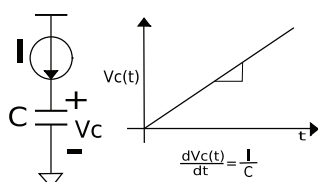


Figura 5. Carga y descarga lineal del capacitor con fuente de corriente constante

IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO EN TARJETA PSoC

Las tarjetas PSoC, son una serie de tarjetas creadas y desarrolladas por la empresa Cypress encargada de diseño de sistemas embebidos (Cypress Semiconductor Corporation, 2022). El uso de este tipo de tarjetas en el acondicionamiento de señales ha sido muy estudiado (Fatecha, 2013; Castellanos *et al.*, 2020; Massot *et al.*, 2020). Las tarjetas PSoC cuentan con un conjunto de bloques digitales y analógicos programables, memorias y microcontroladores. La facilidad de programación de dichos bloques permite que el acondicionamiento de señales sea de manera fluida y sin problemas de adquisición.

En la Figura 6 se muestra la implementación del circuito propuesto en la tarjeta PSoC modelo 5LP. Se observa un bloque denominado R-I (convertidor de Resistencia a Corriente) donde se polariza al sensor resistivo con una corriente I_{in} ; para ello la tarjeta PSoC cuenta con un bloque generador de corriente, el cual ofrece tres rangos de corriente programable, de 0 a $31.875 \mu A$ con pasos de $0.125 \mu A/bit$, de 0 a $255 \mu A$ con pasos de $1 \mu A/bit$ y de 0 a $2040 \mu A$ con pasos de $8 \mu A/bit$, cada rango es un número formado por 8 bits; se utilizaron dos generadores de corriente en la resistencia para generar un voltaje diferencial en la misma, esto para obtener los voltajes V_H y V_L que son utilizados por el comparador del bloque siguiente para implementar la técnica ratiométrica. El ADC configurado en una resolución de 8-bits, ayuda a inyectar la corriente adecuada a la resistencia para evitar saturaciones o daños a la tar-

jeta. En el bloque denominado CCO (Oscilador Controlado por Corriente) se utilizaron dos bloques de generación de corriente que copian la corriente de los dos generadores de la etapa anterior con una ganancia β programable. La corriente de carga y descarga llega al capacitor C , a través de un bloque multiplexor (Mux1). El voltaje del capacitor se compara con el voltaje $V_H - V_L$ de la etapa de polarización con el bloque Mux2. Por último, se muestra un bloque denominado COM, el cual activa el puerto UART de la tarjeta para tener una visualización de datos en el puerto serial de la PC.

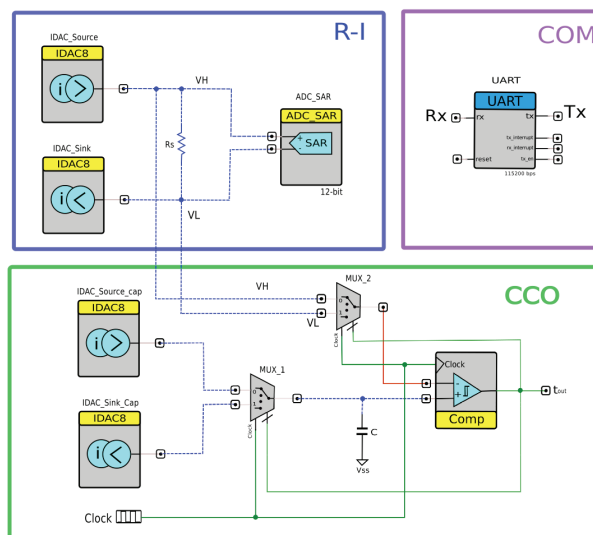


Figura 6. Diagrama esquemático del circuito propuesto implementado en PSoC Creator

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El circuito fue probado inicialmente con resistores comerciales en un rango de unidades de Ω a cientos de $M\Omega$ para emular al sensor. Los resultados mostraron lecturas eficientes desde 490Ω hasta $8M\Omega$, tal como se muestra en la Figura 7. Se obtuvo un rango dinámico a la salida de 84.25dB con un coeficiente de correlación de 0.997.

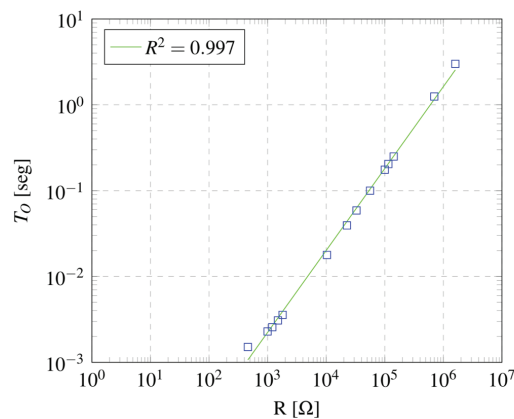


Figura 7. Rango de lectura de salida del circuito propuesto

La implementación del circuito tiene una respuesta lineal con un rango dinámico amplio, sin embargo, como se mencionó anteriormente, existen sensores que van más allá de este rango obtenido. Para aumentar esta característica se implementó un algoritmo en la tarjeta que compara el voltaje ($V_H - V_L$) con un voltaje de referencia V_{META} . De tal forma que, al suponer que el voltaje V_{META} varía en un rango respecto al incremento en el paso de la corriente de polarización, de acuerdo con el algoritmo mostrado en la Figura 8, el rango dinámico a la salida del circuito aumenta.

```

1:  $A_1 \leftarrow 0$ 
2:  $V_1 \leftarrow 0$ 
3:  $V_{SAT} \leftarrow 5$ 
4: while  $V_{adc} \geq V_{SAT}$  do
5:   Restart A1, V1                                ▷ Sensor No Conectado
6: end while
7: while  $V_{adc} \leq V_{META}[V_1]$  do
8:    $A_1 \leftarrow A_1 + 1$ 
9:    $V_1 \leftarrow V_1 - 1$ 
10: end while
11:  $I_{out} \leftarrow I_{in}[A_1]$                         ▷ Inicializa carga/descarga de C

```

Figura 8. Pseudocódigo del algoritmo

El algoritmo modifica el valor de V_{META} con cada paso de corriente, esto es, se realiza un barrido de corriente de polarización I_{in} . Se verifica que el valor del voltaje V_{ADC} sobrepase el valor de V_{META} , si este sobrepasa, activa la corriente de salida I_{out} . En caso de que no sobrepase sigue aumentando los pasos de corriente y a su vez disminuyendo el voltaje V_{META} hasta que sobrepase el valor.

Por lo tanto, el algoritmo permite “predecir” el valor de resistencia del sensor, haciendo que la corriente I_{out} sea lo más adecuada posible.

La Figura 9 muestra los resultados experimentales con la implementación del algoritmo, donde se observa un aumento en el rango dinámico, obteniendo 136.7dB,

en un rango de resistencia medida de 5Ω a $36M\Omega$ y un coeficiente de correlación de 0.99766 por lo que la linealidad se mantiene con respecto a la implementación anterior.

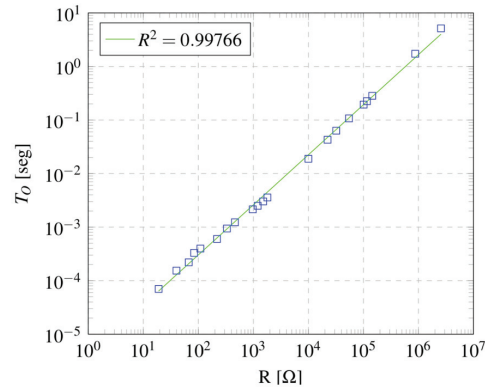


Figura 9. Rango de lectura de salida del circuito propuesto con Vbias variable

El rango dinámico obtenido con el algoritmo se puede comparar con otros trabajos similares donde se puede observar que se está logrando ampliar el rango de lectura (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación del rango dinámico con trabajos encontrados en la literatura

	Rango de resistencia de entrada	Rango dinámico
Gómez <i>et al.</i> , 2019	1kΩ → 1MΩ	60
Jayaraman & Bhat, 2007	150Ω → 85MΩ	115
Nakagawa <i>et al.</i> , 2018	3kΩ → 100kΩ	30
Chiang <i>et al.</i> , 2017	10kΩ → 1MΩ	40
Circuito propuesto	490Ω → 8MΩ	84
Circuito propuesto con algoritmo	5Ω → 36MΩ	136

Cabe mencionar que el desempeño del circuito propuesto con la implementación del algoritmo, fue probado con tres sensores comerciales descritos anteriormente. Inicialmente se determinó la resistencia de los sensores a partir de la variable de entrada (en este caso posición, desplazamiento angular y peso), utilizando un multímetro digital modelo 5491A de la familia BK PRECISION.

En la Figura 10 se muestran las mediciones con el sensor de posición SoftPot de SpectraSymbol como entrada. Se obtuvo un error relativo $((R_{fit} - R_{medido})/R_{fit})$ menor a 0.6 % respecto a las mediciones de resistencia.

De igual forma, en la Figura 11 se muestran las mediciones experimentales con el sensor de despla-

miento angular FlexSensor de SpectraSymbol. Donde se obtuvo un error relativo menor a 0.15 %.

Y finalmente, en la Figura 12 se muestran los resultados con el sensor de fuerza de Alpha. Se obtuvo un error relativo menor a 0.4 %.

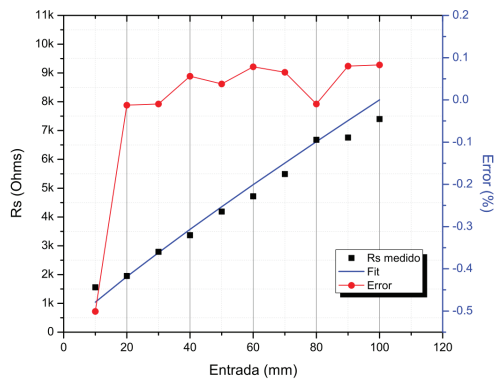


Figura 10. Mediciones experimentales con el sensor de posición SoftPot como entrada

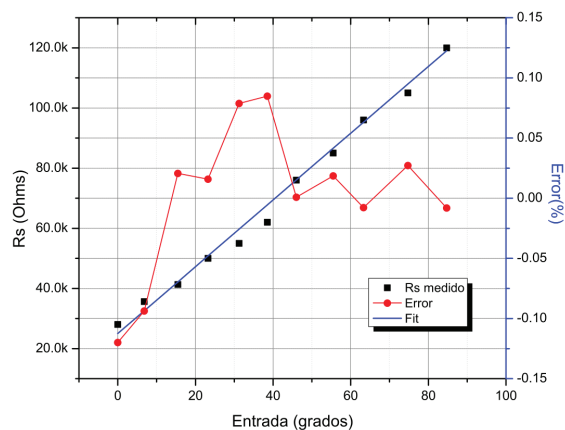


Figura 11. Mediciones experimentales del sensor desplazamiento angular FlexSensor

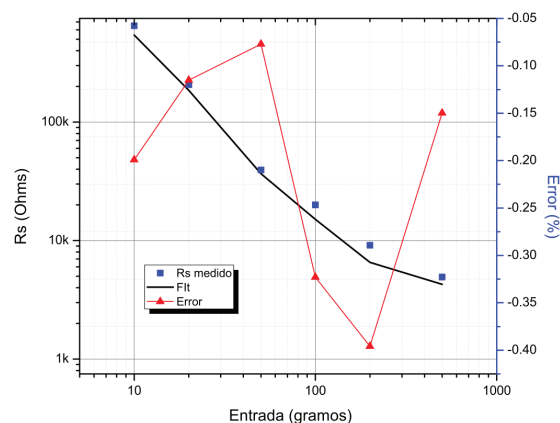


Figura 12. Mediciones experimentales del sensor de fuerza Alpha

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó una interfaz cuasi-digital para sensores resistivos. La solución propuesta está basada en la técnica ratiométrica, la cual permite que el circuito sea independiente de cualquier voltaje de referencia. El circuito se implementó en una tarjeta programable PSoC, con bloques analógicos programables. El circuito propuesto entrega a la salida una señal cuadrada que es fácilmente leída por un sistema de procesamiento digital de bajo costo. El rango dinámico obtenido por el circuito es mejorado con la implementación de un algoritmo debido a las ventajas que ofrece la tecnología PSoC. Se han reportado varios trabajos en el acondicionamiento de sensores resistivos, sin embargo, la interfaz presentada en este trabajo tiene la ventaja de tener un amplio rango dinámico, exactitud y sobre todo una alta tolerancia a variaciones en los voltajes de alimentación. El desempeño de la interfaz fue probado con tres sensores comerciales, los cuales tienen variables físicas de sensado diferentes.

De acuerdo con las mediciones experimentales, se puede concluir que el esquema propuesto tiene un buen desempeño y puede ser utilizado en aplicaciones portables, con resistencia de entrada de amplio rango y de bajo consumo de potencia.

REFERENCIAS

- Álvarez, L. (2014). *CMOS interface circuits for metal-oxide gas sensors*. (Tesis doctoral). National Institute for Astrophysics, Optics and Electronics. Tonantzintla, Puebla.
- Anderson, R. (2004). Understanding ratiometric conversions. Texas Instruments, Tech. Rep.
- Castellanos, J., Trujillo, A., Navas, R., Barbero, F., Sánchez, J. A., Oballe, O., & Vidal, F. (2020). Adding proximity sensing capability to tactile array based on off-the-shelf fsr and psoc. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69 (7), 4238-4250.
- Chiang, C., Lu, Y., & Lin, L. A CMOS fish resistance to period converter with calibration circuits for fish spoilage detecting applications. In 2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), 51-55.
- Choi, M., Gu, J., Blaauw, D., & Sylvester, D. (2015). Wide input range 1.7μW 1.2kS/s resistive sensor interface circuit with 1 cycle/sample logarithmic sub-ranging. In Proceedings of the Symposium on VLSI Circuits, Kyoto, Japan, C330-C331.
- Cypress Semiconductor Corporation. Microcontrollers (MCUs) Products. (2022). Recuperado de <https://www.cypress.com/products/microcontrollers-mcus>.
- Fatecha, A., Guevara, J., & Vargas, E. (2013). Reconfigurable architecture for smart sensor node based on IEEE 1451 standard. *SENSORS IEEE*, 1-4. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2013.6688425>

- Gómez, E., Maeda, L., Álvarez, L., & Flores-García, F. (2019). A highly robust interface circuit for resistive sensors. *MDPI Electronics*, 8 (3), 263. <https://doi.org/10.3390/electronics8030263>
- Hoja de datos, sensor de posición, SoftPot SpectraSymbol. (2022). Recuperado de <http://www.spectrasymbol.com/wp-content/uploads/2016/12/SOFTPOT-DATA-SHEET-Rev-F3.pdf>.
- Hoja de datos, sensor de flexión, FlexSensor SpectraSymbol. (2022). Recuperado de <https://www.spectrasymbol.com/wp-content/uploads/2019/07/flexsensordatasheetv2019revA.pdf>.
- Hoja de datos, galga extensiométrica, Alpha. (2022). Recuperado de <http://www.taiwanalpha.com/pdf/force.p>
- Jayaraman, B., & Bhat, N. (2007). High precision 16-bit readout gas sensor interface in 0.13 μ m cmos. In 2007 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 3071-3074.
- Kirianaki, N., Yurish, S., Shpak, N., & Deynega, V. *Data acquisition and signal processing for smart sensors*. John Wiley & Sons, 2002. Recuperado de <https://doi.org/10.1002/acs.997>
- Kokolanski, Z., Gavrovski, C., Dimcev, V., & Makraduli, M. (2013). Simple interface for resistive sensors based on pulse width modulation. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 62 (11): 2983-2992. <https://doi.org/10.1109/TIM.2013.2266025>
- Massot, B., Gehin, C., Nocua, R., Dittmar, A., & McAdams, E. A wearable, low-power, health-monitoring instrumentation based on a programmable system-on-chipTM. 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 4852-4855.
- Mohan, N. M., George, B., & Jagadeesh, V. K. (2009). Analysis of a sigma-delta resistance-to-digital converter for differential resistive sensors. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 58, (5), 1617-1622.
- Mohan, N. M., George, B., & Jagadeesh, V. K. (2010). A novel dual-slope resistance-to-digital converter. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 59 (5), 1013-1018.
- Nakagawa, S., Horikoshi, K., & Ishikuro, H. A. (2018). High-resolution time-based resistance-to-digital converter with tdc and counter. In 2018 IEEE 61st International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), 242-245.
- Reverter, F. (2012). The art of directly interfacing sensors to micro-controllers. *MDPI Journal of Low Power Electronics and Applications*, 2 (4), 265-281. <https://doi.org/10.3390/jlpea2040265>
- Sergey, Y. Y. (2016). Low Power, Low Voltage, Resistance-to-Digital Converter for Sensing Applications. *Sensors & Transducers*, 204(9), 1-10.

Cómo citar:

Gómez-Ramírez, E., Álvarez-Simón, L. C., Flores-García, F. G., & Chávez-García, C. (2022). Circuito de acondicionamiento con amplio rango dinámico para sensores resistivos basado en PSoC. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 23 (03), 1-7. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2022.23.3.022>