

LIBRERÍA DE SENSORES PARA SIMULACION CON PSPICE

Asun Pérez Pascual¹, Trini Sansaloni Balaguer², Marga Costa³

Dpto Ingeniería Electrónica. Escuela Politécnica Superior de Gandía.

Universidad Politécnica de Valencia

¹ asperez@eln.upv.es ² tmsansal@eln.upv.es ³ margaco@epsg.upv.es

RESUMEN

En este artículo se presenta una librería de sensores para realizar simulaciones con el programa Pspice. Es una herramienta útil para los alumnos de Ingeniería Electrónica ya que les permite diseñar y simular sus propios circuitos de medida sin necesidad de acudir al laboratorio. Los modelos implementados son fácilmente editables de esta forma se permiten cambios en los parámetros de cada sensor. Se han escogido los principales sensores estudiados en la asignatura de Transductores y Acondicionadores Electrónicos. También se han implementado varios circuitos típicos de acondicionamiento y ejemplos de aplicación de los mismos.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de programas de simulación como medio de realizar una primera aproximación al diseño de circuitos electrónicos es práctica habitual en el trabajo del ingeniero electrónico. Existen en el mercado numerosos programas que permiten estas simulaciones ofreciendo para ello varias librerías de componentes, y la posibilidad de personalizar éstas o incluso crear nuevas librerías. El Pspice es el programa que se utiliza comúnmente en el ámbito universitario, siendo fácil de manejar y permitiendo la realización de diferentes tipos de análisis. En la asignatura de Transductores y acondicionadores electrónicos que se imparte en la Escuela Politécnica Superior de Gandía nos encontramos con la necesidad de tener una librería de los dispositivos estudiados en clase para poder implementar y simular diferentes circuitos sensores y de acondicionamiento. Con esa finalidad se desarrolló el trabajo que se expone en el presente artículo. La idea principal del mismo es obtener unos modelos ideales de varios sensores cuyos parámetros se obtienen directamente de los catálogos de diferentes fabricantes, pudiendo modificarse fácilmente. Aparte de estos modelos se crearon numerosos ejemplos de aplicaciones reales en los que se incluyeron tanto el sensor como el acondicionador.

La simulación de estos circuitos no pretende sustituir la implementación de los mismos en el laboratorio, pero sí que supone una gran ayuda para que el alumno comience a familiarizarse con los circuitos que tendrá que montar en el mismo. Gracias a estos modelos el alumno puede practicar con los circuitos en su PC, estudiar diferentes configuraciones y realizar los diseños antes de acudir al laboratorio. Además los modelos realizados son fácilmente editables, por lo que proporcionan el conocimiento de las características físicas de los sensores.

La clasificación que se hace de los transductores modelados sigue los mismos criterios que se utilizan para su exposición en clase, esto es en base a qué característica eléctrica varía. Así pues se han dividido en sensores resistivos, capacitivos, inductivos y generadores, siendo estos últimos los que son capaces de generar una tensión o corriente eléctrica proporcional al parámetro a medir. Esta clasificación facilita el estudio de los acondicionadores comúnmente empleados.

Cabe destacar que además de dispositivos sensores discretos también se han modelado algunos circuitos sensores integrados que incluyen acondicionadores dado que es la alternativa a la que tiene el mercado actual.

En el presente artículo vamos a presentar todos los sensores que se han incluido en esta librería describiendo el modelo implementado, citando los posibles acondicionadores que se pueden emplear y finalmente exponiendo algunas de las aplicaciones típicas de estos circuitos.

2. SENSORES IMPLEMENTADOS EN LA LIBRERÍA

Como se ha comentado anteriormente se han clasificado los transductores en resistivos, capacitivos, inductivos y generadores. El modelado de los sensores se ha realizado dibujando el circuito equivalente con el programa “schematics” y creando un símbolo para cada modelo. Todos los dispositivos se han incluido en una librería de usuario a la que llamamos sensores.

A continuación se enumeran los dispositivos modelados.

- Sensores resistivos:

- galgas extensométricas;
- fotorresistencias (LDR);
- magnetorresistencias;
- termistores.

- Sensores capacitivos:

- sondas capacitivas cilíndricas;
- condensadores variables planos.

- Sensores inductivos:

- transformadores variables de dependencia lineal (LVDT);
- synchro;
- resolver.

- Sensores generadores:

- hall;
- piezoeléctricos.

2.1. Sensores resistivos

Llamamos sensores resistivos a aquellos en los que se produce una variación de la resistencia eléctrica linealmente proporcional al parámetro que se pretende medir. Son numerosas las magnitudes físicas que afectan al valor de la resistencia eléctrica de un material, entre ellas caben destacar el esfuerzo, la luz, el campo magnético y la temperatura.

A continuación se describen los diferentes sensores resistivos modelados.

2.1.1. Galgas extensométricas

En ellas se produce la variación de la resistencia cuando son sometidas a un esfuerzo mecánico [1]. La forma habitual en la que se presentan estos dispositivos en el mercado es en configuración de puente de Wheastone, ya que de esta manera se consigue mayor sensibilidad. Así pues se ha modelado un sensor que contiene cuatro galgas dispuestas en un puente de Wheastone, éstas son sensibles a deformaciones en distintos ejes tal y como se describe en [1].

Un posible circuito acondicionador de este tipo de sensores es el amplificador de instrumentación el cual, gracias a su elevada impedancia de entrada, ofrece una elevada amplificación de la tensión diferencial de salida del sensor y un alto rechazo al modo común.

2.1.2. Fotorresistencias (LDR)

Se trata de semiconductores en los que la variación de la resistencia eléctrica viene provocada por una radiación óptica incidente de cierta longitud de onda. En este caso la relación entre la resistencia y la radiación óptica es no lineal tal y como muestra la ecuación (1). En esta ecuación E representa la densidad superficial de energía luminosa expresada en lux, mientras que los parámetros A y α dependen del semiconductor y del proceso de fabricación y han sido obtenidos a partir de las gráficas de los catálogos [2].

$$R = A \cdot E^{-\alpha}$$

(1)

Este tipo de sensores se utilizan como detectores de luminosidad, detectores de humo y en barreras luminosas.

2.1.3. Magnetorresistencias

En los materiales ferromagnéticos la resistencia depende del campo magnético aplicado. Esta dependencia es, en principio cuadrática, pero se puede linealizar utilizando distintas técnicas de polarización. De esta forma las magnetorresistencias son sensores resistivos capaces de medir el campo magnético aplicado en una determinada dirección. En el modelo se ha implementado un puente de Wheastone con cuatro magnetorresistencias con variaciones inversas dos a dos, tal y como se muestra en [3].

Algunas de las aplicaciones de este tipo de sensores es la medida directa de campos magnéticos así como de aquellas magnitudes que los originan o incrementan como la corriente eléctrica, desplazamientos de materiales ferromagnéticos en el entorno de un campo magnético etc...

2.1.4. Termistores

Se trata de resistencias semiconductoras variables con la temperatura. Se han modelado aquellas que poseen un coeficiente de temperatura positivo, llamadas PTCs, y las de coeficiente negativo, NTCs.

La ley de variación de estos dispositivos es no lineal, pudiéndose modelar utilizando una expresión exponencial o una tabla de valores que normalmente ofrecen los catálogos. Se ha optado por utilizar la ecuación expresada en (2), donde R_0 es la resistencia a la temperatura T_0 , y B es la temperatura característica del material.

$$R_T = R_0 \cdot \exp\left(B \cdot \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)\right)$$

(2)

Estos sensores tienen la ventaja de poseer una sensibilidad a la temperatura mayor que otro tipo de sensores de temperatura, aunque su principal desventaja es la falta de linealidad. Esta no linealidad puede evitarse incluyendo una resistencia en serie y otra en paralelo al sensor tal y como se explica en [4]. Sin embargo el cálculo matemático de los valores que se deben dar a estas resistencias es bastante engorroso. La simulación en el PC de este circuito de

linealización nos ayuda a realizar el diseño sin necesidad de hacer complicados cálculos matemáticos.

2.2. Sensores capacitivos

Se trata de condensadores variables que se pueden utilizar para medir cualquier magnitud dependiente de la distancia entre las placas del condensador, del área de estas placas o de la permitividad del dieléctrico. Se han modelado dos tipos de sensores capacitivos, los diferenciales planos y las sondas cilíndricas.

2.2.1. Condensadores diferenciales planos

Consisten en la unión en serie de dos condensadores los cuales comparten una de las placas. El desplazamiento de esta placa provoca variaciones de sentido opuesto en la capacidad de cada condensador. Realizando un acondicionamiento adecuado se consigue que la señal de salida de este sistema sea linealmente proporcional al desplazamiento de la placa.

En el modelo de este sensor se han utilizado las ecuaciones mostradas en (3), donde C_1 y C_2 son cada uno de los dos condensadores, C_T es la capacidad total del sensor, a es el área de las placas, d la distancia inicial y x el parámetro distancia a medir.

$$C_1 = \frac{\epsilon \cdot a}{(d+x)} \quad C_2 = \frac{\epsilon \cdot a}{(d-x)} \quad C_T = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

2.2.2. Sonda capacitiva cilíndrica

Se modela como dos condensadores cilíndricos en paralelo. En su interior existe un líquido cuyo nivel queremos medir. Al variar el nivel del líquido variará el área de las placas de cada uno de los condensadores, obteniéndose así una medida proporcional a la altura del líquido.

Las ecuaciones utilizadas en este modelo son las siguientes.

$$C_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot (H-h)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad C_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot (H+h)}{\ln\left(\frac{d_2}{d_1}\right)} \quad C_T = C_1 + C_2 \quad (4)$$

2.3. Sensores inductivos

Son sensores basados en la variación de la reluctancia. Esta característica varía debido a cualquier cambio en la permeabilidad del material, número de vueltas del bobinado o a la geometría de la bobina.

2.3.1. Transformador Diferencial de Variación Lineal (LVDT)

Este sensor utiliza la variación de la inductancia mutua entre un primario y dos secundarios al desplazarse por su interior un núcleo de material ferromagnético. Con él podremos medir el desplazamiento de este núcleo ya que a la salida del sensor se obtiene una señal alterna cuya

amplitud está relacionada linealmente con este desplazamiento [4]. Para diseñar el modelo se han utilizado dos transformadores en los que se ha modificado el acoplamiento entre los devanados para que se detecte el movimiento del núcleo cuando éste se desplaza. Se ha diseñado también un rectificador de media onda junto con un filtro paso bajo que permiten obtener una señal de salida constante y proporcional al desplazamiento del núcleo. El LVDT se utiliza para medir desplazamientos, vibraciones, fuerza y presión.

2.3.2. Transformador Síncrono Trifásico (SYNCHRO)

Este sensor consta de un estator cilíndrico de material ferromagnético, con tres devanados dispuestos a 120° conectados en estrella, y un rotor móvil con un devanado también ferromagnético, tal y como muestra la Figura 1. El desplazamiento del rotor hace que varíe el acoplamiento con los devanados del estator de manera que se generan tensiones proporcionales al ángulo que se ha desplazado el rotor.

Para implementar el modelo se han utilizado multiplicadores y fuentes senoidales de manera que se generen las llamadas señales en formato sincro (5).

$$\begin{aligned} e_{s13} &= \sqrt{3} \cdot K \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \text{sen}(\alpha) \\ e_{s32} &= \sqrt{3} \cdot K \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \text{sen}(\alpha + 120^\circ) \\ e_{s21} &= \sqrt{3} \cdot K \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \text{sen}(\alpha + 240^\circ) \end{aligned} \quad (5)$$

2.3.2. RESOLVER

Los resolver son similares a los sincros pero con devanados dispuestos formando 90° (Figura 2). Para modelarlo se ha utilizado el mismo método que con el sensor síncrono trifásico, teniendo en cuenta que en este caso las señales que se generan son las llamadas señales en formato resolver, mostradas en las ecuaciones (6).

$$\begin{aligned} e_{s13} &= K \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \cos(\alpha) \\ e_{s24} &= K \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \text{sen}(\alpha) \end{aligned} \quad (6)$$

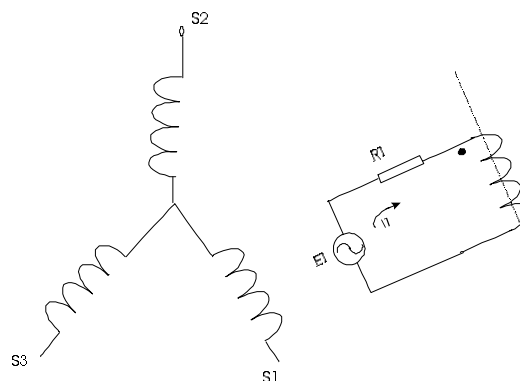


Figura 1 Esquema eléctrico del sensor síncrono trifásico

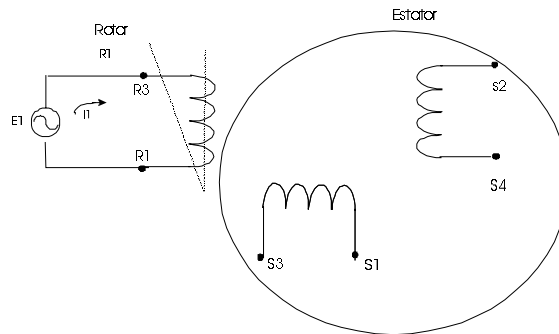


Figura 2 Esquema eléctrico del resolver

2.4. Sensores Generadores

El último tipo de sensores diseñados se han denominado generadores porque generan una señal de tensión o corriente proporcional a la magnitud que se desea medir. De entre todos los posibles sensores generadores se han elegido el sensor Hall y los sensores piezoeléctricos ya que son los que más se utilizan actualmente.

2.4.1. Sensor Hall

El efecto Hall consiste en la aparición de una tensión transversal en un semiconductor por el que circula una corriente y se halla sometido a un campo magnético perpendicular a la dirección de la corriente. Esta tensión será proporcional tanto a la corriente que circula por el sensor como al campo magnético aplicado.

El modelo consta de una fuente de tensión proporcional al campo magnético aplicado. Se ha incluido también un pequeño circuito de acondicionamiento tal y como muestra la Figura 3, de esta manera se obtiene un sensor tipo interruptor. Este circuito se ha obtenido del catálogo [5].

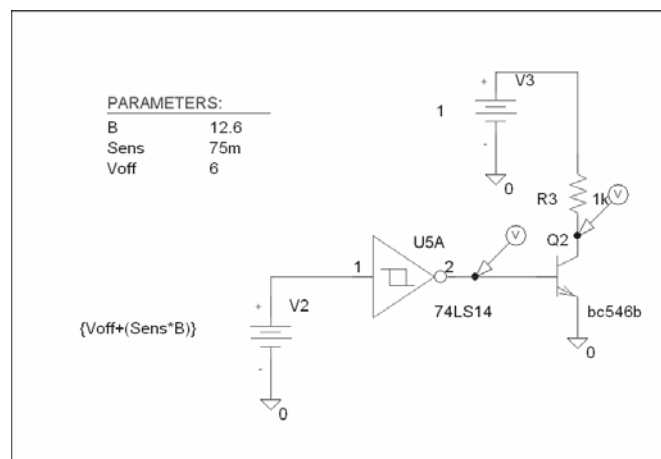


Figura 3. Sensor Hall interruptor

2.4.2. Piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico es una propiedad que poseen ciertos cristales los cuales se polarizan eléctricamente cuando se les aplica una fuerza en sus caras. Estos materiales también presentan el efecto inverso, esto es son capaces de deformarse al aplicarles una tensión. El funcionamiento de estos sensores depende de la frecuencia a la que se está trabajando presentando un pico en su respuesta a la frecuencia de resonancia.

En un primer momento se pensó en diseñar el sensor utilizando el típico modelo de un cristal con una red RLC en paralelo con una capacidad C_0 que simula a la capacidad existente entre los devanados. Estudiando diversos catálogos se observó que este tipo de sensores suelen aparecer integrados con varios elementos de acondicionamiento que provocan una respuesta de tipo paso alto. Así pues se ha implementado este caso obteniendo como salida una tensión proporcional a la magnitud a medir (que puede ser cualquier magnitud derivada de la deformación: fuerza, masa o aceleración). Esta tensión depende de la frecuencia de la magnitud a medir siendo su dependencia de tipo paso alto como ya se ha adelantado.

3. EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se va a incluir un ejemplo de aplicación de la librería de sensores creada. En este caso se ha escogido un circuito detector de nivel de iluminación, Figura 4. Se utiliza una LDR para detectar el nivel de iluminación y se compara con un nivel constante. Se activará un relé cuando el nivel detectado supere al constante.

Se ha realizado un análisis del tipo barrido en continua “DC Sweep”, variando el parámetro E (energía luminosa expresada en lux). El nivel de comparación se ha situado en torno a los 715 luxes. En la simulación mostrada en la Figura 5 se observa que el transistor Q3 conducirá cuando se supera el nivel fijado, esto hace que el relé conmute haciendo pasar la corriente hacia la resistencia de salida R19. Esta resistencia podría sustituirse por una alarma o cualquier dispositivo que indique que se ha superado el nivel establecido.

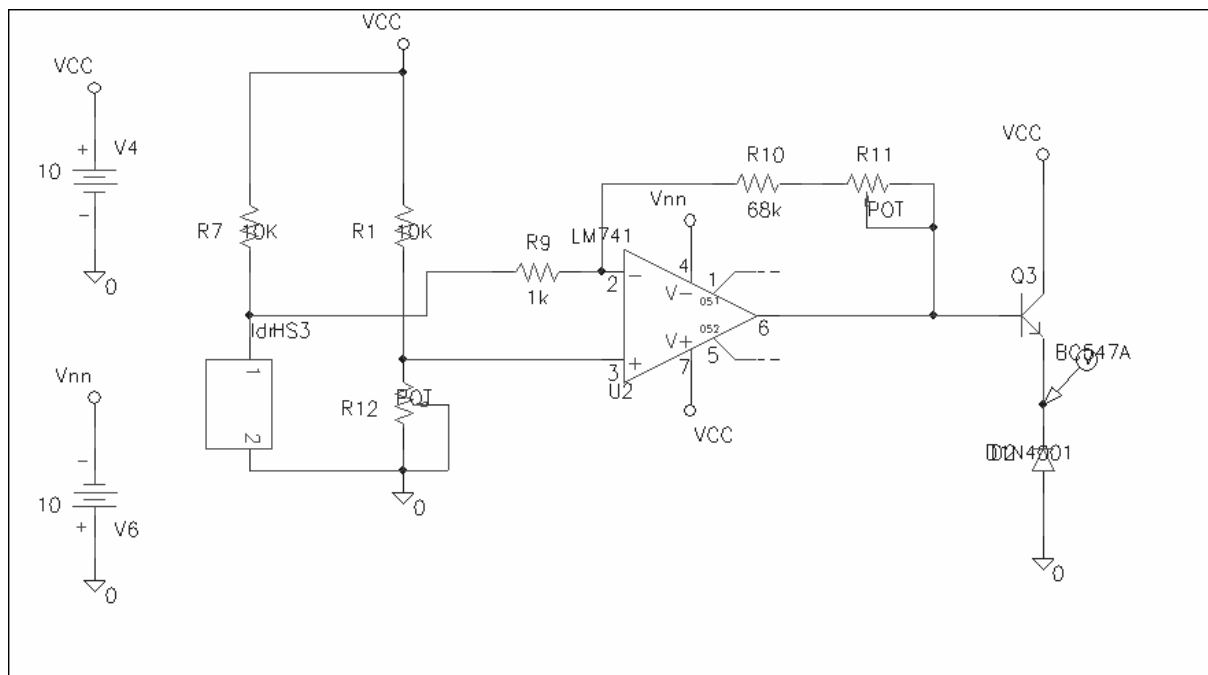


Figura 4. Circuito detector de iluminación

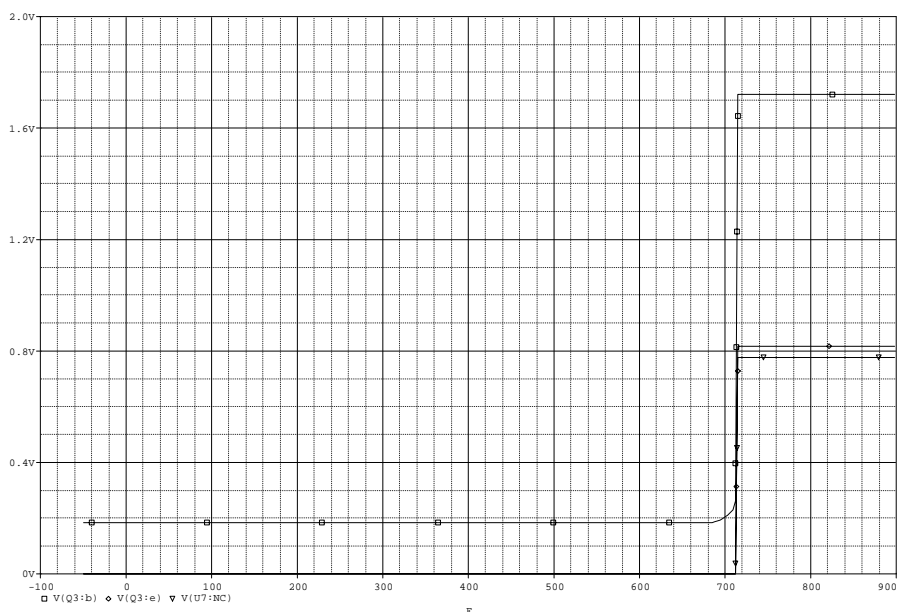


Figura 5. Simulación del circuito detector de iluminación

4. CONCLUSION

Se ha implementado una librería que contiene varios sensores preparados para realizar simulaciones con el programa Pspice. El acceso a los parámetros de cada sensor es sencillo, de esta manera los alumnos pueden adaptar éstos en función de la aplicación deseada.

Se han incluido varios circuitos de acondicionamiento con el fin de poder diseñar sistemas de medida casi completos. Con estos diseños el alumno puede practicar en su PC con las configuraciones presentadas en clase. Además el programa utilizado, Pspice, permite realizar diferentes tipos de análisis por lo que cada diseño puede ser estudiado en el dominio que mejor muestre sus peculiaridades.

Estos dispositivos creados no tienen en cuenta derivas de ningún tipo, sin embargo si fuese necesario utilizarlas podrían añadirse a las ecuaciones asociadas a cada uno de una manera sencilla.

Cabe resaltar que todos los valores dados a los parámetros de los sensores se han obtenido de diversas hojas de características.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Strain gauges and load cells,” RS Data Sheet, nº 232-5957, March 1997.
- [2] “Light dependent resistors,” RS Data Library, nº 14188, November 1992.
- [3] “Magnetic field sensor KMZ10A1,” Philips Data Sheet, April 1998.
- [4] R. Pallás Areny, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Marcombo, 1994.
- [5] “Hall effect devices,” RS Data Sheet, nº 249-4700, March 1999.