

**UNIVERSIDAD VERACRUZANA**  
**Doctorado en Materiales y Nanociencia**

<b>DATOS GENERALES</b>
Nombre del Curso
<b>Diseño de circuitos para acondicionamiento de señal y sensores de estado sólido</b>

<b>PRESENTACIÓN GENERAL</b>
<b>Justificación</b>
Una de las tendencias más marcadas en nuestra época es la integración de múltiples funciones en un solo chip de silicio, dando origen al término Sistemas en Chip (SoC). Una de las funciones que más se han venido integrando en tecnología modernas CMOS es la recolección e interpretación de datos a partir del monitoreo de una variable física proveniente de un sensor. Sin embargo, al integrar dichos sistemas surgen nuevas problemáticas a resolver. Ejemplos de dichas problemáticas son las contribuciones de ruido térmico y flicker, mismatch, la implementación de grandes constantes de tiempo RC, el área de silicio disponible, consumo de potencia, etc.

<b>OBJETIVOS GENERALES DEL CURSO</b>
El objetivo de esta experiencia educativa es que el alumno sea capaz de modelar, simular, diseñar e implementar en tecnología moderna CMOS la etapa de censado y de acondicionamiento de señal de cualquier sistema de adquisición de datos no importando si es en modo discreto o integrado.

<b>UNIDADES, OBJETIVOS PARTICULARES Y TEMAS</b>
-------------------------------------------------

<b>UNIDAD 1</b>
Adquisición de datos y características generales de un sensor
<b>Objetivos particulares</b>
Definir los conceptos y parámetros necesarios para llevar a cabo la descripción y caracterización de un sensor de estado sólido
<b>Temas</b>
1.1 Sensores, señales y sistemas. 1.2 Clasificación de sensores y unidades de medición. 1.3 Función de transferencia de un sensor. 1.4 Rangos de entrada y salida, resolución, precisión, calibración y error de calibración. 1.5 Efectos no-lineales: histéresis y saturación. 1.6 Impedancia de salida. 1.7 Repetividad y confiabilidad.

<b>UNIDAD 2</b>
Principios físicos del censado
<b>Objetivos particulares</b>
Entender y explicar los fenómenos físicos que dan origen a los diferentes tipos de sensores o transductores a implementar en tecnología CMOS o dispositivos discretos.
<b>Temas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>2.1 Sensores resistivos.</li> <li>2.2 Sensores capacitivos.</li> <li>2.3 Sensores magnéticos.</li> <li>2.4 Sensores de inducción.</li> <li>2.5 Sensores piezoeléctricos.</li> <li>2.6 Sensores de efecto Hall.</li> <li>2.7 Sensores de efecto Seebeck y Peltier</li> </ul>

<b>UNIDAD 3</b>
Circuitos para interfaz electrónica
<b>Objetivos particulares</b>
Comprender y aprender a diseñar la etapa de acondicionamiento de señal de cualquier tipo de sensor sin modificar la respuesta de este debido a fenómenos parásitos propios de las interfaces.
<b>Temas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>3.1 Características de entrada de una interfaz electrónica.</li> <li>3.2 Impedancia de salida de un sensor e impedancia de entrada de una interfaz.</li> <li>3.3 Obtención de señal en modo voltaje.</li> <li>3.4 Obtención de señal en modo corriente.</li> <li>3.5 Amplificadores CMOS de baja frecuencia. <ul style="list-style-type: none"> <li>3.5.1 Amplificador de instrumentación.</li> <li>3.5.2 Amplificador de carga.</li> <li>3.5.3 Amplificador chopper.</li> <li>3.5.4 Amplificador locking.</li> </ul> </li> <li>3.6 Circuitos de excitación, referencias de voltaje-corriente, osciladores.</li> <li>3.7 Conversión analógica-digital</li> <li>3.8 Conversión digital-analógica.</li> </ul>

<b>UNIDAD 4</b>
Acondicionamiento de sensores resistivos y capacitivos
<b>Objetivos particulares</b>
Diseñar e implementar los circuitos de acondicionamiento de señal de los dos tipos de sensores más implementados en tecnología CMOS. Se analizarán los pros y contras de cada una de las técnicas propuestas hasta la fecha para poder seleccionar las más adecuadas a las especificaciones impuestas por el sensor y el consumidor.

<b>Temas</b>
<p>4.1 Acondicionamiento de sensores resistivos.</p> <p>4.1.1 Sensores resistivos.</p> <p>4.1.1.1 Potenciómetros.</p> <p>4.1.1.2 Fotorresistencias.</p> <p>4.1.1.3 Detectores de temperatura.</p> <p>4.1.1.4 Termistores NTC y PTC.</p> <p>4.1.2 Puente de Wheatstone.</p> <p>4.1.2.1 Puente de Wheatstone de un solo sensor.</p> <p>4.1.2.2 Puente de Wheatstone de cuatro sensores.</p> <p>4.1.2.3 Puente de Wheatstone modificado.</p> <p>4.1.3 Amplificadores de instrumentación (AI).</p> <p>4.1.3.1 Configuración restadora.</p> <p>4.1.3.2 AI de dos opamps.</p> <p>4.1.3.3 AI de tres opamps.</p> <p>4.1.3.4 AI en modo corriente.</p> <p>4.1.4 Convertidores resistencia-periodo.</p> <p>4.1.4.1 Osciladores controlados por voltaje.</p> <p>4.1.4.2 Osciladores controlados por corriente.</p> <p>4.2 Acondicionamiento de sensores capacitivos.</p> <p>4.2.1 Sensores capacitivos.</p> <p>4.2.1.1 Variación de distancia entre placas.</p> <p>4.2.1.2 Variación de área entre las placas.</p> <p>4.2.1.3 Variación de la constante dieléctrica.</p> <p>4.2.2 Circuitos de acondicionamiento.</p> <p>4.2.2.1 Circuitos osciladores.</p> <p>4.2.2.2 Detección en tiempo continuo.</p> <p>4.2.2.3 Detección síncrona.</p> <p>4.2.2.4 Detección asíncrona.</p> <p>4.2.2.5 Detección en tiempo discreto.</p> <p>4.2.3 Compensación de no-idealidades.</p>

<b>UNIDAD 5</b>
Corrección de no idealidades
<b>Objetivos particulares</b>
<p>Minimizar los efectos no-lineales de los sensores por medio de técnicas de diseño de circuitos integrados analógicos. A su vez, minimizar los defectos que ocurren en los procesos de fabricación micrométricos mediante técnicas de PTV y obtener sensores con un mayor grado de repetitividad.</p>
<b>Temas</b>
<p>5.1 Introducción</p> <p>5.1.1 Variaciones estadísticas.</p> <p>5.1.2 Variaciones determinísticas.</p> <p>5.2 Ruido</p> <p>5.2.1 Potencia de ruido promedio.</p> <p>5.2.2 Análisis espectral, densidad espectral y potencia total.</p>

- 5.2.3 Ruido blanco, flicker, térmico, rosa, sal y pimienta.
- 5.2.4 Ancho de banda del ruido y filtrado.
- 5.2.5 Ruido en el transistor MOS y resistencias.
- 5.2.6 Ruido en amplificadores.
- 5.3 Técnicas de reducción de ruido
  - 5.3.1 Auto-zero.
  - 5.3.2 Chopping.
  - 5.3.3 Ping-pong.
- 5.4 Técnicas para mejorar SNR
- 5.5 Técnicas de calibración

### **TÉCNICAS DIDÁCTICAS Y ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Exposiciones del maestro (teóricas y prácticas). Trabajo individual o en grupo (dinámicas grupales). Resolución de problemas individualmente y en equipo. Diseño de Actividades de enseñanza-aprendizaje de contenidos matemáticos: resolución de diversas situaciones problemáticas, formulación de conjeturas, razonamiento. Trabajos extra-clase (Investigaciones documentales y reportes técnicos de prácticas). Tipos de asesoría (presencial y virtual).

### **EQUIPO NECESARIO**

Aula equipada con: pintarrón, mesas duplex, sillas, escritorio con silla, computadora con proyector digital [cañón] y conexión a internet, pantalla, marcador y borrador, apuntador láser, biblioteca con ejemplares de los textos señalados en la bibliografía y en casos específicos reproductores multimedia. Se requiere de programas de diseño mecánico y electromagnético como COMSOL, ADS, SONET, HFSS. Además, es necesario el uso de herramientas de diseño asistido por computadora para diseño de circuitos integrados como CADENCE, SYNOPSIS Y TANNER EDA.

### **BIBLIOGRAFÍA**

1. MOS (Metal Oxide Semiconductor), Physics and Technology, E. H. Nicollian and R. J. Brews, Wiley Interscience, 2002.
2. Device Electronics for Integrated Circuits, Richard S. Muller, Theodore I. Kamins & Mansun Chan, John Wiley & Sons, 2002.
3. Operation and Modeling of the MOS Transistor, Yannis Tsididis, Oxford University Press, 2003.
4. Macromodeling with SPICE, J.A. Conelly, P. Choi, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1997.
5. The Spice Book, Andrei Vladimirescu, Wiley, 1993.
6. Physical Design of CMOS Integrated Circuits Using L-EDIT, John P. Uyemura, PWS Publishing Company, 1995.
7. CMOS analog Circuit Design, P.E. Allen, D.R. Holberg, Oxford University Press, February 2002.
8. Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, P.R. Gray, P. Hurst, et all,
9. Design of Analog CMOS Integrated Circuits, Behzad Razavi, McGraw-Hill Science Engineering, 2000.

10. Analog Integrated Circuits and Systems, D.A. Johns and K. Martin, McGraw-Hill, NY, 1994.
11. Design of Analog Integrated Circuits & Systems, K.R. Laker, W.M.C. Sansen, McGrawHill, New York, 1994.
12. Analog Circuits and Signal Processing. Ismail, Mohammed, Sawan, Mohamad. Springer. ISSN: 1872-082X.
13. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. Jacob Fraden. Springer, 2015.
14. Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning. Prentice Hall.

#### REFERENCIAS ELECTRÓNICAS (Última fecha de acceso:)

<https://www.mosis.com/>  
<http://www.europractice.com/>  
<http://www.tsmc.com/english/default.htm>  
<http://www.silterra.com/>  
<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>  
<http://www.springer.com/la/>  
<https://www.elsevier.com/>  
[http://apps.webofknowledge.com/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=2F9cguXXXXUyNxjApSV&preferencesSaved=](http://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=2F9cguXXXXUyNxjApSV&preferencesSaved=)  
<https://www.cadence.com/>  
<https://www.synopsys.com/>

#### Otros Materiales de Consulta:

Publicaciones IEEE, Springer, Elsevier  
 Copias selectivas de artículos en revistas y notas

#### EVALUACIÓN

##### SUMATIVA

Aspecto a Evaluar	Forma de Evaluación	Evidencia	Porcentaje
Examen final	Instrumento de evaluación	Solución del examen	30 %
Proyecto final	Instrumento de evaluación	Reporte del proyecto	30 %
Investigación documental	Instrumento de evaluación	Reporte del manuscrito	20 %
Prácticas y problemas	Instrumento de evaluación	Reporte de solución de prácticas y problemas	20 %
Total			100 %

