

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

2019-2020 *Trabajo de Fin de Grado*

# LINEALIZACIÓN DE OSCILADOR EN ANILLO CONTROLADO POR TENSIÓN MEDIANTE CAPACIDADES CONMUTADAS

---

Roberto Uceda Gómez

Tutor

Eric Gutiérrez Leganés, fecha



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons **Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada**



## **RESUMEN**

En este trabajo se desarrolla un estudio cuyo objetivo es el diseño de una nueva arquitectura de convertidor analógico digital por oscilador controlado por tensión que reduzca el ruido y el consumo en comparación con las arquitecturas habituales.

**Palabras clave:** ADC-VCO, Oscilador en anillo, Conversión Analógico-Digital, CMOS



## **DEDICATORIA**



## ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN. . . . .	1
1.1. Motivación del trabajo . . . . .	2
1.2. Objetivos . . . . .	2
1.3. Marco regulador . . . . .	2
1.4. Esquema de este documento . . . . .	2
2. ESTADO DEL ARTE. . . . .	3
2.1. Transistores MOS . . . . .	3
2.2. Tecnología CMOS . . . . .	4
2.3. Conversión analógico-digital . . . . .	5
3. MÉTODOS (?). . . . .	7
4. CONCLUSIONES (?). . . . .	8
5. ENTORNO SOCIOECONÓMICO (?) . . . . .	9
6. PRESUPUESTO / PLANIFICACIÓN / PROCESO (?) . . . . .	10
BIBLIOGRAFÍA . . . . .	11

## ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Corte de transistor MOSFET . . . . .	3
2.2	Transistor MOS, canal-p . . . . .	4
2.3	Transistor MOS, canal-n . . . . .	4
2.4	Inversor CMOS . . . . .	4
2.5	Señal analógica a digital . . . . .	5



## ÍNDICE DE TABLAS

1	Lista de abreviaturas . . . . .	x
---	---------------------------------	---

<b>ADC</b>	Analog to Digital Converter, Convertidor Analógico-Digital
<b>CMOS</b>	Complimentary Metal-Oxide Semiconductor
<b>MOSFET</b>	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, también llamados transistores MOS

TABLA 1. LISTA DE ABREVIATURAS



# 1. INTRODUCCIÓN

Los convertidores ADC<sup>1</sup> son onnipresentes en nuestro día a día. Sin ellos, no sería posible realizar una llamada con un teléfono móvil, o disfrutar de un sistema de climatización en nuestro hogar, o utilizar el control de crucero en nuestro coche. El objetivo de estos importantes bloques de la electrónica es convertir señales físicas, como ondas electromagnéticas, temperatura ambiente, o la posición de un eje, en señales digitales interpretables por un sistema basado en la electrónica digital. Una vez tenemos estas señales, normalmente compuestas por un flujo de bits, pueden ser procesadas por un microcontrolador para después tomar las decisiones necesarias para conseguir el objetivo deseado, como activar el compresor del aire acondicionado si la temperatura sube de cierto límite preestablecido.

Cada día que pasa aumenta la demanda de aparatos más rápidos, compactos, y eficientes. Por regla general, la miniaturización de la electrónica tiene un impacto positivo en estos criterios. Los transistores son los componentes fundamentales de los circuitos integrados, donde recae el grueso de consumo y tamaño en un sistema electrónico. Estos transistores aumentan su eficiencia energética según disminuye su tamaño, además de permitir mayores frecuencias de operación. Por esto, existe un gran incentivo en la búsqueda de arquitecturas y técnicas de fabricación que permitan transistores más pequeños.

La ley de Moore ayuda a poner un poco de contexto histórico a esta carrera por la disminución de los transistores. Gordon Moore anunció en 1965 una tendencia en la, por aquel entonces emergente, industria de la electrónica: cada dos años se duplicaba la cantidad de componentes presente en un circuito integrado en la misma superficie [1]. A más componentes, mayor poder de procesamiento, pero también mayor coste de fabricación por la complejidad y delicadeza requerida en los procesos.

---

<sup>1</sup>Analog to Digital Converter. En español, Convertidor Analógico a Digital

## **1.1. Motivación del trabajo**

Debido a las altas velocidades de reloj y los requisitos de consumo y fabricación (espacio ocupado, número de componentes), los ADC usados actualmente presentan problemas. Los ADC basados en la arquitectura sigma delta necesitan un amplificador operacional a modo de integrador. Los ADC basados en osciladores, bien necesitan un integrador de manera similar a los sigma-delta, o bien necesitan una compensación de linealidad mediante un circuito digital. Los amplificadores operacionales y los circuitos de compensación requieren de mucho espacio y gran número de componentes, además de consumir más de lo deseable. Este trabajo se centra en la búsqueda de una nueva arquitectura que permita ahorrar la necesidad de circuitos de compensación o amplificadores operacionales, manteniendo o mejorando el comportamiento lineal, la resolución, y el ancho de banda de las arquitecturas ya existentes.

## **1.2. Objetivos**

por decidir

## **1.3. Marco regulador**

preguntar a Eric

## **1.4. Esquema de este documento**

por decidir

## 2. ESTADO DEL ARTE

Para entender las arquitecturas de ADC modernas es imprescindible conocer primero los bloques fundamentales sobre los que se asienta la microelectrónica actualmente: los transistores MOSFET<sup>2</sup>.

### 2.1. Transistores MOS

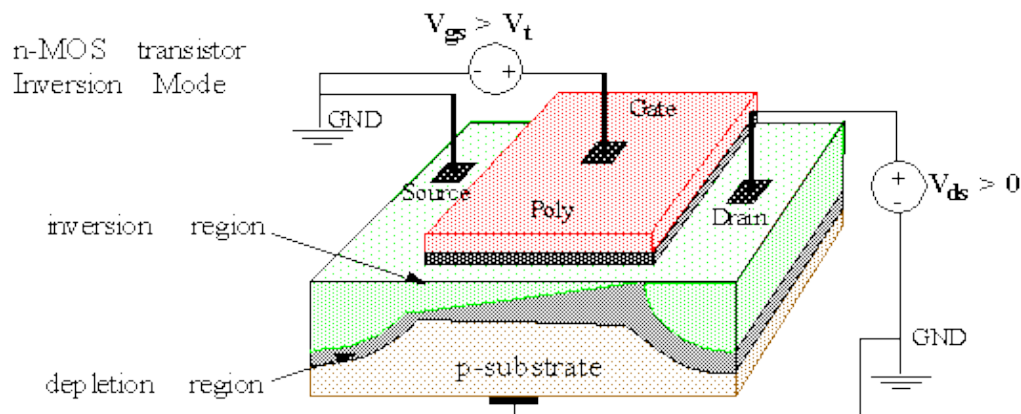


Fig. 2.1. Corte de transistor MOSFET<sup>3</sup>

Un transistor MOSFET es un tipo de transistor bipolar que se usa para amplificar y conmutar señales eléctricas dentro de un circuito. Se compone de cuatro entradas: fuente, puerta, drenador, y sustrato, que normalmente está conectado a la fuente. Cuando se aplica un voltaje en la puerta, se crea un canal en el medio semiconductor que permite el paso de corriente entre la fuente y el drenador. Podemos distinguir dos tipos de transistores MOS: los canal-n y los canal-p, dependiendo del dopaje del silicio usado en su fabricación. Los canal-n tienen un dopaje negativo en el silicio de la fuente y el drenador, que se consigue añadiendo impurezas de un elemento como fósforo, dejando electrones libres que actúan como portadores de carga. En el caso de los canal-p, se dopan con elementos como boro, que dejan huecos (ausencia de electrones en capas de valencia), y estos actúan como portadores de carga.

<sup>2</sup>Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

<sup>3</sup>Fuente: [http://ece-research.unm.edu/jimp/vlsi/slides/chap2\\_1.html](http://ece-research.unm.edu/jimp/vlsi/slides/chap2_1.html)

Estos son los símbolos más usados para representar transistores MOS:

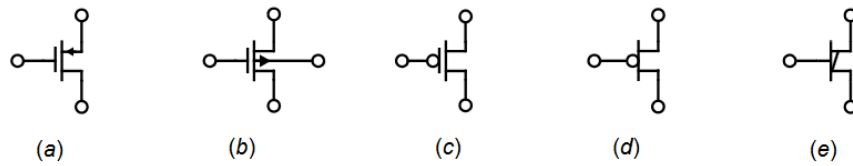


Fig. 2.2. Transistor MOS, canal-p<sup>4</sup>

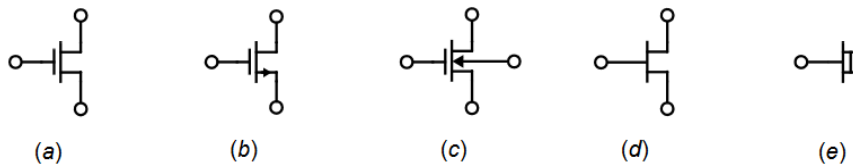


Fig. 2.3. Transistor MOS, canal-n<sup>5</sup>

## 2.2. Tecnología CMOS

La tecnología de fabricación CMOS<sup>6</sup> utiliza una combinación de transistores MOS de canal n y canal p para implementar las funciones de un microprocesador. Por ejemplo, un inversor (puerta lógica NOT) se consigue con la siguiente disposición:

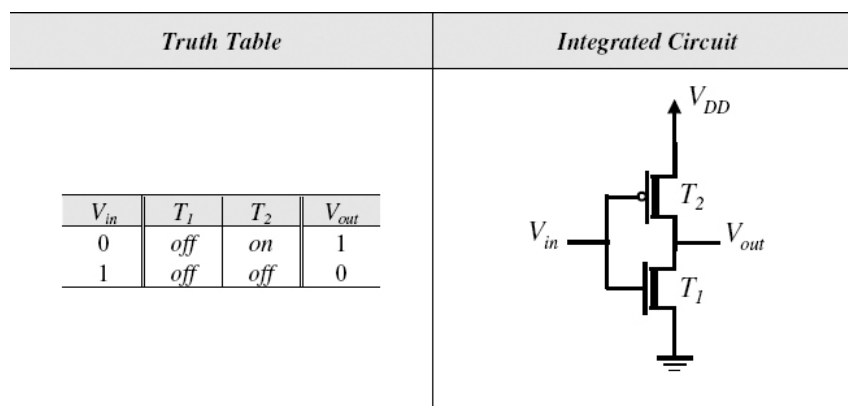


Fig. 2.4. Inversor CMOS<sup>7</sup>

<sup>4</sup>Fuente: Analog Integrated Circuit Design[2]

<sup>5</sup>Fuente: Analog Integrated Circuit Design[2]

<sup>6</sup>Complementary MOS

<sup>7</sup>Fuente: <https://www.oreilly.com/library/view/introduction-to-digital/9780470900550/chap5-sec008.html>

Los circuitos CMOS tienen un bajo consumo, tienen una buena resistencia al ruido, y son relativamente fáciles de diseñar. Es por esto que se ha convertido en la tecnología dominante en los microcircuitos.

### 2.3. Conversión analógico-digital

La tarea de un convertidor analógico-digital, o ADC, es convertir una señal de espectro continuo en el tiempo en una señal de valores discretos cuantizable.

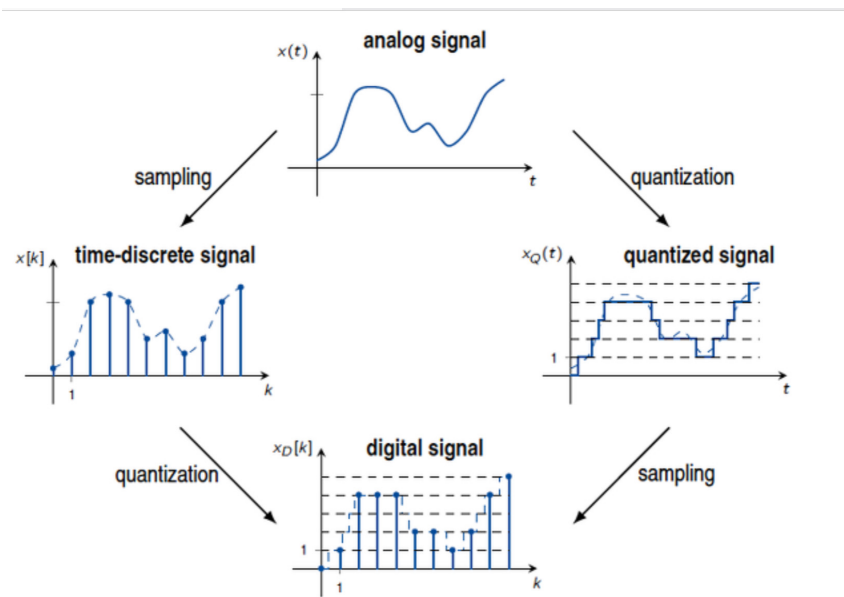


Fig. 2.5. Señal analógica a digital<sup>8</sup>

En un ADC, la señal analógica original sufre dos transformaciones: un muestreo y una cuantificación. El muestreo toma valores de la señal a una frecuencia concreta, descartando los intermedios. La cuantificación transforma el espectro continuo de la señal en un conjunto de valores finito. Esto es suficiente para lograr un conjunto de palabras (conjunto de bits de longitud definida) a una frecuencia de trabajo, para ser almacenadas o procesadas por un microcontrolador.

Estos son algunos de los parámetros básicos que describen el comportamiento y prestaciones de un ADC:

**Frecuencia de muestreo:** Frecuencia a la cual se toman medidas de la señal original.

<sup>8</sup>Fuente: <https://electronics.stackexchange.com/questions/352784/in-digital-systems-do-we-discretize-both-time-and-magnitude-or-only-time>



Determina el ancho de banda.

**Ancho de banda:** Rango de frecuencias de la señal original que puede ser correctamente muestreada, cuantizada, y posteriormente recreada.

**Resolución:** Número de pasos máximo entre rango de valores de la señal analógica. Determina el error de cuantificación y el SNR máximo.

**SNR:** Signal to Noise Ratio. Relaciona la potencia de la señal de interés y el ruido de fondo existente.

En cuanto a errores en la conversión, estas son las principales fuentes:

**Cuantificación:** Para una muestra dada en un momento determinado, diferencia entre el valor de la señal original y valor de la señal cuantificada. Surge porque para cada valor discreto de la señal cuantificada, existen infinitos niveles en cierto rango de la señal original.

**Linealidad:** Falta de correlación lineal entre entrada y salida del ADC. Necesita ser corregida para evitar divergencias entre entrada y salida que distorsionan la lectura.

**Offset:** Para valores muy bajos de señal original, la lectura puede ser distorsionada si no se corrige el offset.

**Ganancia:** Si no se ajusta correctamente, se puede inducir en un error creciente a medida que se recorre la curva de respuesta.

### **3. MÉTODOS (?)**

#### **4. CONCLUSIONES (?)**

## **5. ENTORNO SOCIOECONÓMICO (?)**

## **6. PRESUPUESTO / PLANIFICACIÓN / PROCESO (?)**

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. E. Moore, “Cramming more components onto integrated circuits,” *Electronics*, vol. 38, n.º 8, 1965.
- [2] K. W. M. Tony Chan Carusone David A. Johns, *Analog Integrated Circuit Design*, 2.<sup>a</sup> ed. John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [3] S. W. Smith, *The Scientist and Engineer’s Guide to Digital Signal Processing*, 2.<sup>a</sup> ed. California Technical Publishing, 1999.