Práctica 8: Convertidores A/D

Objetivo: Análisis de los convertidores A/D de doble rampa y de sus aplicaciones.

1. Introducción

Muchos de los parámetros que interesan en un sistema físico (temperatura, presión, etc.) son variables analógicas, es decir, cantidades que varían continuamente con el tiempo. Aunque es perfectamente posible procesar, manipular y almacenar datos analógicos empleando sistemas electrónicos puramente analógicos, por diversos motivos (precisión, versatilidad, fiabilidad, coste, etc.), la mayor parte de los sistemas de proceso de datos utilizan técnicas digitales. Dichas técnicas necesitan que la información obtenida de un sistema físico se convierta a formato digital. A los sistemas electrónicos que realizan esta función se les denomina convertidores analógico-digitales, o simplemente convertidores A/D (ADC). Un ADC, por tanto, acepta como entrada una señal analógica (tensión o corriente) y proporciona a su salida la combinación binaria representativa de dicha señal.

Se han desarrollado diversas técnicas de conversión que, gracia a los avances tecnológicos en la fabricación de circuitos integrados, han ido evolucionando y como consecuencia de ello en el mercado existe un gran número de convertidores A/D. Se puede afirmar que, en general, los tipos de ADC más comunes son: de aproximaciones sucesivas, paralelo o flash y de integración con doble rampa.

Los ADC de aproximaciones sucesivas se caracterizan por una elevada velocidad de conversión y una excelente precisión. Se suelen emplear en sistemas de adquisición de datos basados, por ejemplo, en un microprocesador.

Los ADC paralelo se suelen emplear en aquellas aplicaciones en las que se requiere una velocidad de conversión extremadamente elevada, como por ejemplo en sistemas de adquisición y tratamiento de señales de vídeo.

Los ADC de doble rampa emplean un método de conversión indirecta tensión-tiempo que se caracteriza por una gran precisión, elevada inmunidad al ruido y una excelente estabilidad con el tiempo y la temperatura, aunque es relativamente lento (tiempos de conversión entre los 10 y 100 milisegundos). Esto hace de ellos un tipo de

convertidores muy utilizados en aparatos de medida, por ejemplo en voltímetro digitales (el operador humano necesita varios segundos para leer el resultado de la medida), y en general en sistemas destinados a la digitalización de señales de variación lenta.

En esta práctica se realiza un montaje basado en un convertidor A/D comercial, denominado ICL7106 (fabricado por MAXIM, INTERSIL o HARRIS, por ejemplo). Se trata de un convertidor A/D de 3½ dígitos que emplea el método de conversión tensión-tiempo con doble rampa. Posee una elevada precisión, bajo consumo y salidas para gobernar directamente (sin necesidad de un interfaz externo) un visualizador de cristal líquido (LCD) de 3½ dígitos, todo ello en un único circuito integrado (ver las hojas de características). Además, incluye algunas facilidades adicionales a la técnica básica, como por ejemplo, el auto-cero y la auto-polaridad. A partir de este circuito se puede construir fácilmente un medidor digital de bajo coste, muy versátil y de elevadas prestaciones. Para ello basta con añadir un visualizador y algunas componentes pasivas.

2. Desarrollo

La práctica se divide en dos partes: en la primera se comprueban las características de la técnica de conversión de doble rampa y en la segunda se realiza el montaje de un termómetro centígrado como aplicación práctica del convertidor A/D.

Para evitar una innecesaria pérdida de tiempo y la posibilidad de errores de montaje, se dispone de una placa de circuito impreso que contiene en convertidor ICL7106, un visualizador LCD y las componentes pasivas necesarias. Dicha placa constituye un voltímetro de CC con fondo e escala de 200mV aunque se puede considerar como un medidor completo con posición seleccionable del punto decimal. El esquema de la placa se muestra en la figura 1.

Además de la placa que contiene el ADC, también utilizaremos la placa A/D-D/A cuya descripción aparece en el Anexo B de la práctica 7.

2.1 Análisis de la técnica de conversión de doble rampa

Para analizar el comportamiento del convertidor utilizaremos la configuración de la figura 2. En ella la señal analógica de entrada (señal a convertir) se conecta al convertidor a través de un divisor de tensión constituido por resistores de 2KΩ y 18KΩ.

El divisor permite medir tensiones continuas de hasta ±2V con un fondo de escala de 200mV

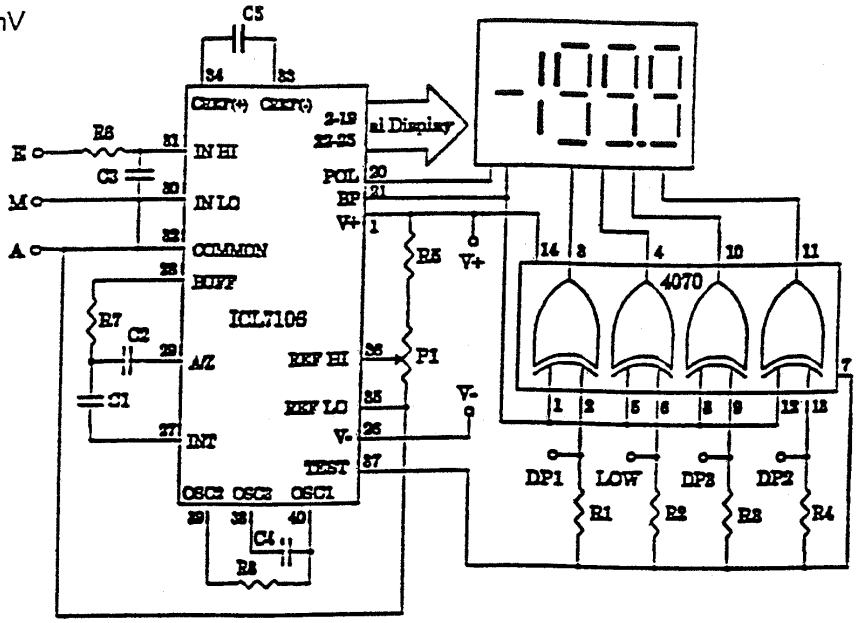


Figura 1. Esquema del medidor digital.

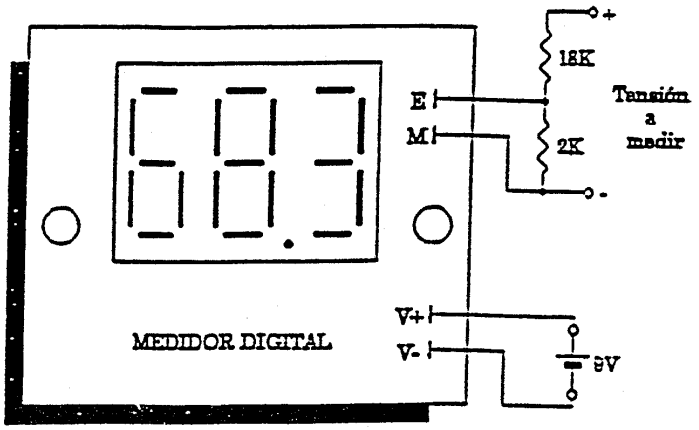


Figura 2. Esquema del montaje que se propone.

Para comprobar el funcionamiento de este circuito es necesario configurar el sistema según los siguientes criterios:

1.- Cerciórese de que las placas **NO ESTÁN ALIMENTADA.**

2.- En la placa A/D-D/A conecte las posiciones **A1-2** y **B2-3** de **J3** mediante dos jumpers. La figura 3 muestra el esquema eléctrico de la Zona II de la placa A/D-D/A, cuya descripción aparece en el Anexo B de la práctica 7.

- La conexión A1-2 de J3 une un terminal del resistor de 2KΩ a masa (GND). El otro terminal de este resistor está directamente conectado a uno de los extremos del resistor de 18KΩ.
- La conexión B2-3 de J3 une el terminal libre del resistor de 18KΩ a la entrada de tensión de ±2V. Esta entrada corresponde a la hembrilla ±V (color verde).

3.-Conecte las entradas E y M de la placa que contiene el ADC con las salidas de igual nombre de la placa A/D-D/A.

4.- Antes de dar tensión al circuito comprobar la configuración correcta de los jumpers.

5.- La tensión de **alimentación de la placa que contiene el ADC es de 9V.**

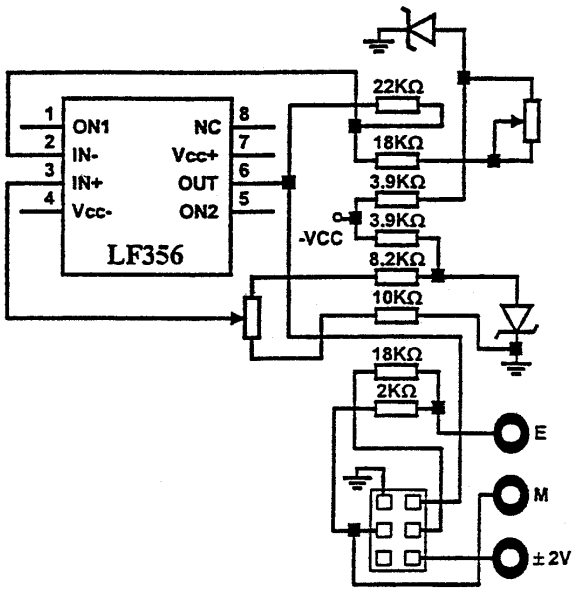


Figura 3. Esquema eléctrico de la Zona II de la placa A/D-D/A.

a) Una vez configurado el sistema medir con el osciloscopio la forma de onda que se obtiene en la salida del integrador del ADC, cuando a la entrada del divisor de tensión se aplica una tensión continua de 0,5V y otra de 1,5V [estas tensiones se aplican entre las entradas ±V (hembrilla color verde) y GND (hembrilla color negro)].

   Para realizar esta medida se utiliza una sonda de alta impedancia con el fin de no interferir en el correcto funcionamiento del convertidor. Dicha sonda se coloca sobre el terminal dispuesto a tal efecto en la placa del ADC (se corresponde con el terminal 27 o INT del ICL7106).

b) Identificar, si es posible, las tres fases en las que se divide cada ciclo de medida (ver hojas de características del ADC): auto-cero, integración de la entrada e integración de la referencia. Comprobar que la duración del intervalo de integración

de la señal de entrada es constante, con independencia del nivel de dicha señal, mientras que en el intervalo de integración de la referencia la pendiente de la forma de onda es constante y, por tanto, la duración de dicho intervalo depende de la magnitud de la señal de entrada.

2.2 El convertidor A/D como medidor de temperatura

Hasta este momento hemos comprobado las características de la conversión de un ADC de doble rampa. A continuación analizaremos, a modo de ejemplo, una de las múltiples aplicaciones de este tipo de convertidor: la medida de temperatura.

En la figura 4 se muestra un circuito que se puede utilizar para tal fin. En él se emplea el sensor de temperatura LM335, cuya tensión de salida cambia linealmente en función de la temperatura (10mV/ºK) y cuyo rango de funcionamiento está comprendido entre -40ºC y 100ºC (ver hojas de características en el Anexo C de la práctica 7). Puesto que el LM335 está directamente calibrado en ºK, la salida del sensor (punto A) se aplica a un circuito de acondicionamiento de señal que calibra dicha salida en grados centígrados (10mv/ºC).

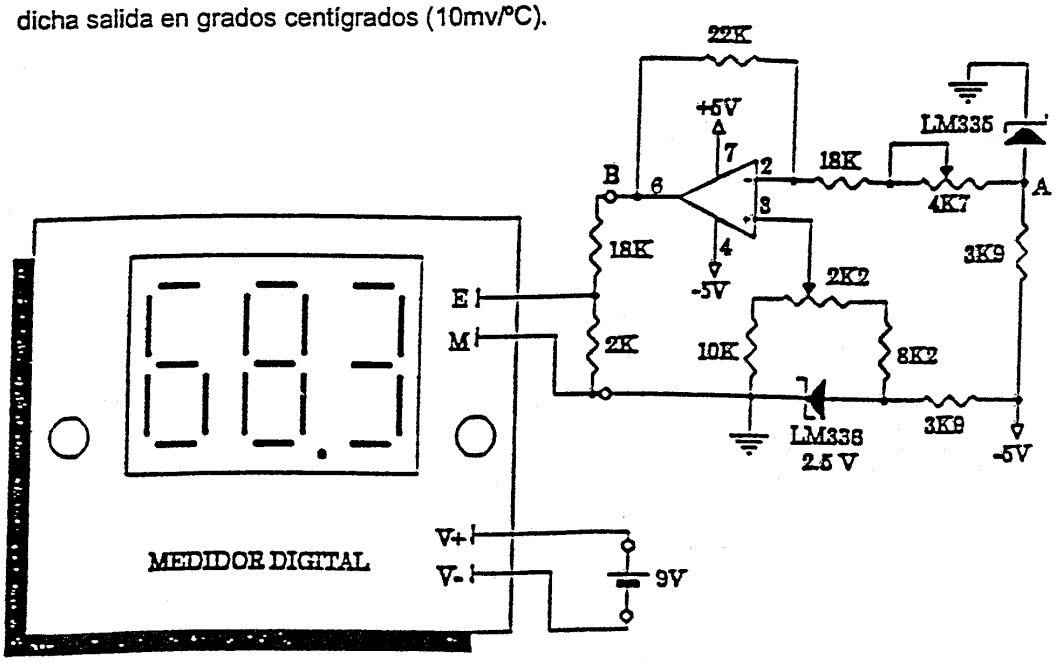


Figura 4. Sistema de medición de temperatura. Termómetro centígrado.

El circuito de acondicionamiento está constituido por un amplificador operacional en configuración inversor, a cuya entrada no inversora se aplica una tensión fija procedente de una fuente de referencia estable, en este caso el LM336-2.5V (ver hojas de características en el Anexo C de la práctica 7). La salida del amplificador se

aplica a la entrada del medidor digital a través del divisor de tensión utilizado en el apartado anterior.

El sistema formado por el sensor de temperatura, el circuito de acondicionamiento y el divisor de tensión constituye la Zona II de la placa A/D-D/A. Por ello para comprobar el funcionamiento del medidor de temperatura es necesario configurar la placa A/D-D/A según los siguientes criterios:

1.- Cerciórese de que la placa **NO ESTA ALIMENTADA.**

2.- Mediante dos jumpers conecte las posiciones **A1-2 y B1-2 de J3.**

- La conexión A1-2 de J3 une un extremo del divisor de tensión (terminal del resistor de 2KΩ) a masa (GND).
- La conexión B1-2 de J3 une el otro extremo del divisor de tensión a la salida del circuito de acondicionamiento (punto B en la figura 4).

3.-Conecte las entradas E y M de la placa que contiene el ADC con las salidas de igual nombre de la placa A/D-D/A.

4.- Antes de dar tensión al circuito comprobar la configuración correcta de los jumpers.

5.- La tensión de **alimentación de la placa del ADC es de 9V y la de la placa A/D-D/A es de ±5V:**

- Hembrilla +Vcc (color rojo) → +5V
- Hembrilla -Vcc (color azul) → -5V
- Hembrilla GND (color negro) → Masa

a) Una vez configurada la placa determinar teóricamente la ganancia que debe poseer el amplificador y la tensión que se debe aplicar al terminal no inversor del operacional, para que la salida del mismo esté calibrada en °C (10mV/°C). Para facilitar estos cálculos se incluye la siguiente tabla en la que se muestra la relación que existe entre °K, °C y la tensión de salida del sensor de temperatura.

GRADOS KELVIN (°K)	GRADOS CELSIUS (°C)	SALIDA DEL SENSOR (V)
0	-273	-
233	-40	2.330
273	0	2.730
373	+100	3.730

b) Sin conectar la placa del ADC, que constituye el medidor digital y con el sensor de temperatura también desconectado (LM335), conectar a 0V (masa) la salida del

sensor (punto A). Esto equivale a una medida de temperatura de 0ºK si el sensor fuera capaz de llegar a medir dicha temperatura. Para ello basta con conectar el jumper J5.

A continuación realizar los siguientes ajustes:

- Ajustar la tensión en la patilla no inversora del operacional al valor adecuado para el correcto funcionamiento del circuito.
- Ajustar la ganancia del amplificador para que la tensión de salida del mismo en tales condiciones (VA=0) sea la adecuada.

Una vez realizados estos ajustes, el montaje estará perfectamente calibrado y listo para funcionar. Para comprobarlo será necesario conectar el sensor de temperatura y el medidor digital:

- **Preste especial atención a la polaridad del sensor.** Utiliza la misma polaridad que el circuito de referencia de tensión LM336.
- Para conectar el medidor digital una las entradas E y M con las salidas de igual nombre de la placa A/D-D/A.

Si tras dar tensión al circuito se observa que el valor mostrado por el visualizador no es coherente con la temperatura a la que se realiza la medida, apagar inmediatamente y revisar el circuito en busca de posibles causas de fallos.

Anexo A: Conversión A/D de doble rampa

El principios de funcionamiento de esta técnica de conversión puede entenderse fácilmente con referencia al circuito simplificado mostrado en la figura 1. Es un proceso de dos rampas; en la primera, la señal de entrada a convertir se aplica a un integrador, cuya salida ha sido previamente puesta a cero. La señal de entrada se integra durante un intervalo de tiempo fijo, Ti, que normalmente corresponde con la capacidad máxima del contador interno (1000 impulsos de reloj en un convertidor A/D de 3½ dígitos). Si la señal de entrada permanece constante durante este tiempo, la salida del integrador es una rampa lineal.

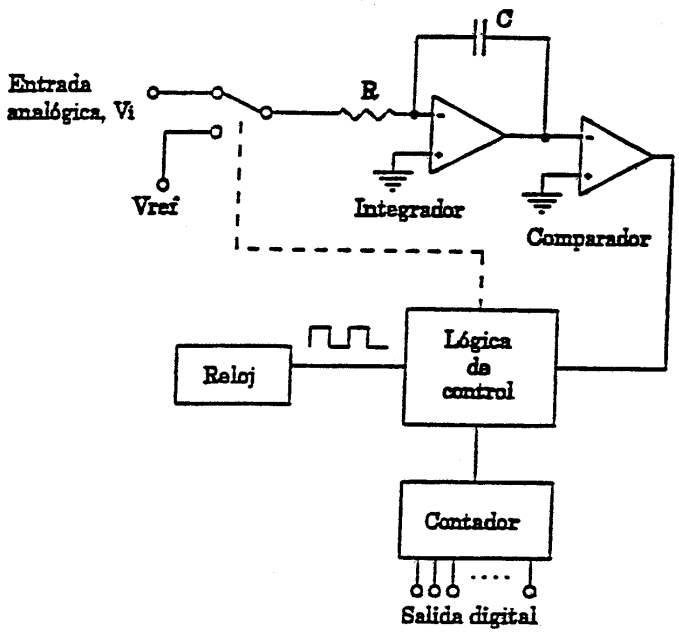


Figura 1

La segunda etapa del proceso comienza al final del intervalo T_i, instante en el cual el contador vuelve a cero y la lógica de control desconecta de la entrada del integrador la señal analógica de entrada, V_i, conectando en su lugar la tensión de referencia, V_{ref}. Esta tensión de referencia es de polaridad opuesta a la de la señal de entrada, por lo que la salida del integrador disminuye linealmente hasta hacerse cero (se emplea un comparador para detectar el paso por cero). En ese momento, el contador se detiene y el integrador se pone a cero. El tiempo invertido, T_r, para que la integración de la referencia lleve la salida del integrador a cero, es directamente proporcional al valor medio de la señal analógica de entrada durante el intervalo T_i.

El intervalo de tiempo T_i es el tiempo durante el cual se cuentan un número fijo de impulsos de reloj

$$T_i = N_i \, T_{cp}$$

donde T_{cp} es el periodo de reloj y N_i es normalmente el número de impulsos que son necesarios para que el contador alcance su capacidad máxima y vuelva a cero. El intervalo T_r se mide con relación al número de impulsos de reloj que son contados en el intervalo T_r

$$T_r = N_r \, T_{cp}$$

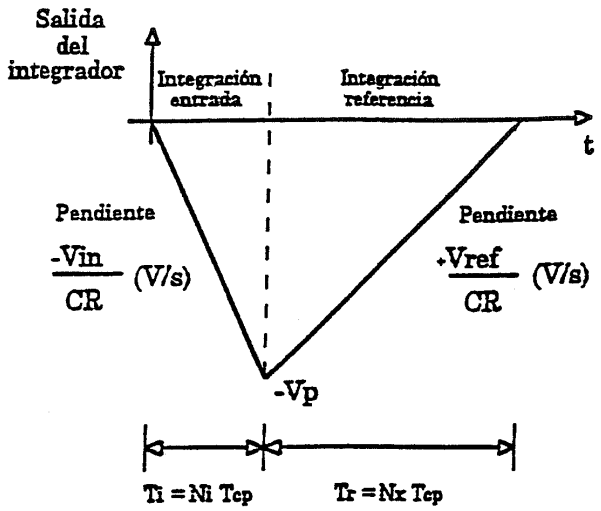


Figura 2

Durante la fase de integración de la señal, la tensión alcanzada por la rampa (descendente) al cabo del tiempo fijo $T_i = N_i T_{cp}$ será (ver figura 2):

$$-V_P = -\frac{1}{CR}\int_0^{T_i} V_I \, dt$$

por lo que la variación de tensión en la salida del integrador es

$$\Delta V = V_P = \frac{1}{CR}\int_0^{T_i} V_I \, dt$$

A su vez durante la fase de integración de la referencia, la rampa (ascendente) de salida del integrador retorna a cero en un tiempo $T_r = N_x T_{cp}$:

$$\Delta V = V_P = \frac{1}{CR}\int_0^{T_r} V_{ref} \, dt$$

En consecuencia, se puede poner que:

$$\frac{1}{CR}\int_0^{T_i} V_I \, dt = \frac{1}{CR}\int_0^{T_r} V_{ref} \, dt$$

Sustituyendo y reorganizando resulta:

$$N_x = \frac{N_I}{V_{ref}} \frac{\int_0^{N_I T_{cp}} V_I \, dt}{N_I T_{cp}}$$

o también

$$N_x = \frac{N_I}{V_{ref}} V_{I(av)}$$

donde $V_{i(av)}$ es el valor medio de la señal analógica de entrada durante la fase de integración de la misma. La cuenta N_x es proporcional a la tensión a medir y no depende de R, ni de C, ni de la frecuencia del reloj, sino solamente de la tensión de referencia V_{ref} y de la igualdad de los períodos de reloj durante el ciclo de conversión.

Otros aspectos importantes de esta tecnica de conversión son, por ejemplo:

- La cuenta N_x entregada por el contador al final del intervalo T_1 es la representación en forma digital de la señal de entrada (es decir, la combinación binaria equivalente).

- El tiempo de conversión no es fijo, sino que depende del valor de la señal analógica de entrada (esta característica supone un inconveniente en algunas aplicaciones).

- Posee una gran inmunidad al ruido para ciertas frecuencias. La mayoría de las señales de ruido están relacionadas con la red de alimentación alterna y son generalmente formas de onda con la misma frecuencia que la de la red. Puesto que la señal de entrada se integra a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, cualquier ruido de estas características, superpuesto a la misma, será eliminado si el periodo de integración de la señal de entrada del convertidor es múltiplo del periodo de la onda de red. Esta característica de filtrado se manifiesta no sólo para la frecuencia de red, sino también par cualquier múltiplo de ella (la integral de una señal sinusoidal es cero si la integración se realiza a lo largo de un intervalo de tiempo igual a un número entero de periodos de la señal).

- La resolución sólo está limitada por la resolución de la circuitería analógica.

Referencias a componentes utilizados en esta práctica

ICL7106
http://www.intersil.com/data/FN/FN3082.pdf

LM335
http://www.national.com/mpf/LM/LM335.html#Overview