

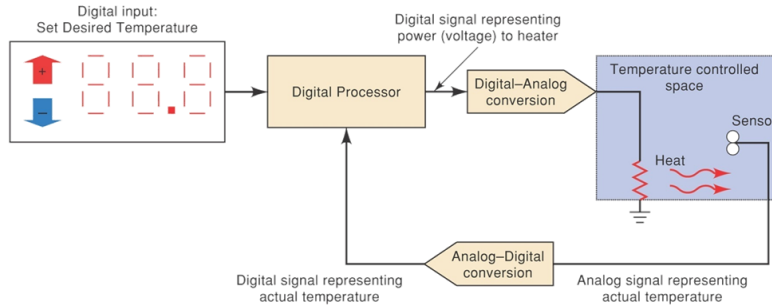
CONVERSIÓN DIGITAL - ANALÓGICA

Temario

- ▶ Conceptos generales
- ▶ Configuración sumador - inversor
- ▶ Configuración R – 2R
- ▶ Especificaciones de un DAC
- ▶ DAC integrados

Conceptos Generales

- ▶ En un sistema de control digital, se indica cual es el nivel deseado de la variable (set point), el procesador recibe la información y envía la señal, de corriente o voltaje requerida



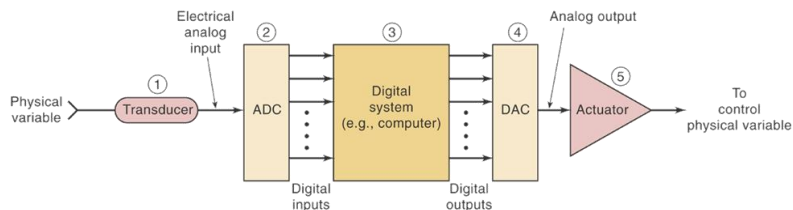
3

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ El transductor es un elemento que transforma una variable física (temperatura, presión, etc) en una variable eléctrica (corriente o voltaje)



4

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ El convertidor ADC (analog to digital converter) recibe la señal proveniente del transductor y la transforma en información binaria
- ▶ El microprocesador o microcontrolador recibe la información binaria proveniente del ADC, la procesa y genera una respuesta en base a su programación, en formato binario
- ▶ El convertidor DAC transforma la señal binaria que proviene del procesador y la transforma en el equivalente analógico
- ▶ El actuador recibe la información del DAC y genera la acción de control sobre la variable física

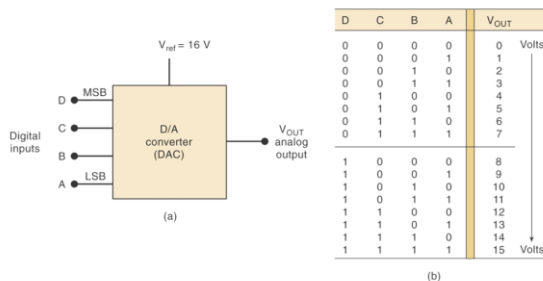
5

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ El convertidor digital - analógico (DAC) es un circuito que recibe un número binario y lo transforma en su equivalente decimal



- ▶ Para cada combinación binaria de la entrada, existe un nivel de voltaje analógico a la salida

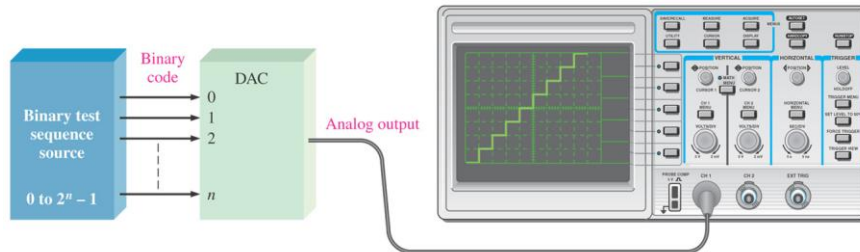
6

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ Forma de onda de un DAC vista en un osciloscopio



7

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ La salida de los DAC puede tener forma de voltaje o de corriente
- ▶ En general, la salida se puede expresar así:

$$\text{salida analógica} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$V_{\text{SAL}} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$I_{\text{SAL}} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

K = factor de proporcionalidad

8

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales



Ejemplo: Un DAC de cinco bits tiene una salida de corriente. Para una entrada digital de 10100 se produce una corriente de salida de 10mA ¿ Cual es el valor de I_{SAL} para una entrada digital de 11101?

$$I_{SAL} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$10\text{mA} = K \times (10100)_{10}$$

$$10\text{mA} = K \times 20$$

$$K = 0.5\text{mA}$$

$$I_{SAL} = 0.5\text{mA} \times (11101)_{10}$$

$$I_{SAL} = 0.5\text{mA} \times 29$$

$$I_{SAL} = 14.5\text{mA}$$

9

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales



Ejemplo: Cual es el valor más grande del voltaje de salida proveniente de un DAC de ocho bits que produce 1V para una entrada digital de 00110010?

$$V_{SAL} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$1\text{V} = K \times (00110010)_{10}$$

$$1\text{V} = K \times 50$$

$$K = 20\text{mV}$$

$$V_{SAL} = 20\text{mV} \times (11111111)_{10}$$

$$V_{SAL} = 20\text{mV} \times 255$$

$$V_{SAL} = 5.1\text{V}$$

10

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ Ponderación de la entrada: cada entrada digital contribuye distinta para construir la salida analógica.
- ▶ Las contribuciones de cada entrada digital se ponderan de acuerdo a su posición en el número binario

D	C	B	A	V_{SAL}
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	1	0	0	3
1	0	0	0	4

11

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ Resolución: es el cambio más pequeño que ocurrir en la salida analógica como resultado de un cambio en la entrada digital
- ▶ La resolución siempre es igual a la ponderación del LSB
- ▶ La resolución se conoce como el "tamaño del escalón"

$$\text{entrada analógica} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$\text{resolución} = \frac{A_{FS}}{2^N - 1}$$

12

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales



Ejemplo: Cual es la resolución de un DAC de cinco bits que produce 0.2V para una entrada digital de 00001?

$$V_{SAL} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$0.2V = K \times (00001)_{10}$$

$$0.2V = K \times 1$$

$$K = 200mV$$

$$V_{SAL} = K \times (\text{entrada binaria})_{10}$$

$$V_{SAL} = K \times (11111)_{10}$$

$$V_{SAL} = 200mV \times 32$$

$$V_{SAL} = 6.2V (\text{escala completa})$$

$$\text{resolución} = \frac{A_{FS}}{2^N - 1}$$

$$\text{resolución} = \frac{6.2V}{2^5 - 1}$$

$$\text{resolución} = 0.2V$$

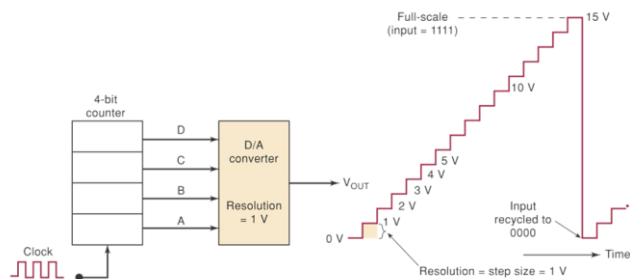
13

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ▶ El proceso de crear una señal analógica proporcional a la señal digital, pero con forma escalonada es mediante el uso de un contador binario
- ▶ Cada paso de conteo tiene un peso o ponderación



14

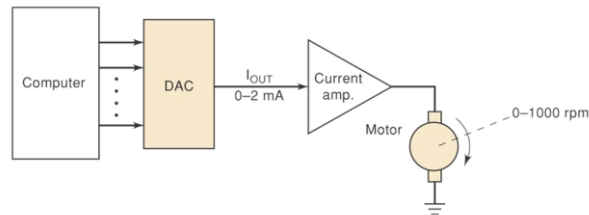
Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales



Ejemplo: La figura muestra una computadora que controla la velocidad de un motor. La corriente analógica de 0 a 2 mA que proviene del DAC se amplifica para producir velocidades de 0 a 1000 rpm (revoluciones por minuto) ¿Cuántos bits deben utilizarse para que la computadora pueda hacer que el motor gire a la velocidad deseada con una diferencia no mayor de 2 rpm?



15

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Conceptos Generales

- ☑ Solución: 2 mA equivalen a 1000 rpm y 2 rpm equivalen al paso mínimo que puedo apreciar en la velocidad del motor, es decir 2 rpm por paso.

$$1000 \text{ rpm} / 2(\text{rpm/paso}) = 500 \text{ pasos}$$

$$2^N - 1 = 500 \Rightarrow N = 8 \text{ permite } 256 \text{ pasos y } N = 9 \text{ permite } 512 \text{ pasos}$$

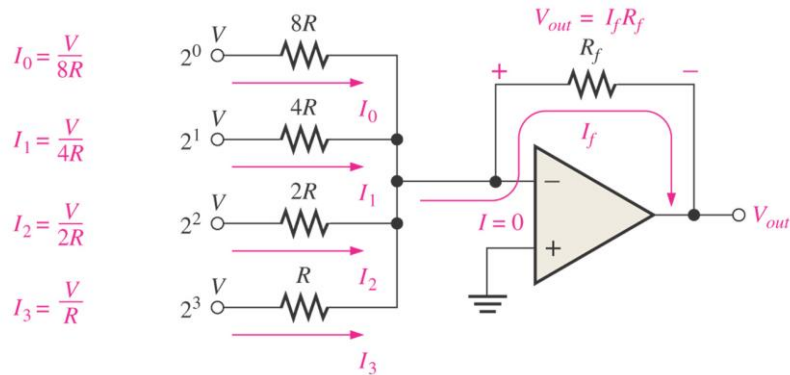
16

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración Sumador - Inversor

- ▶ EL DAC más sencillo consiste de un amplificador sumador – inversor con resistores de ponderación binaria



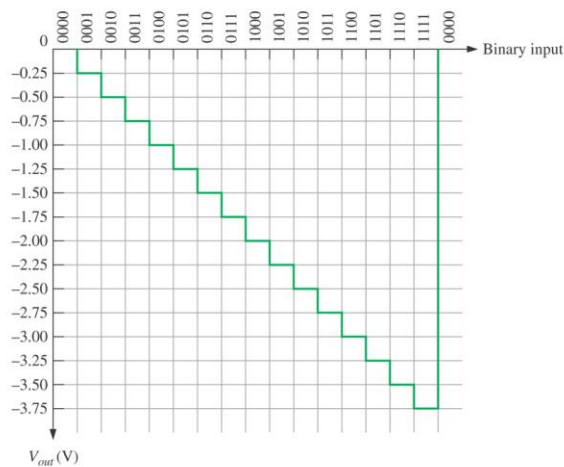
17

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración Sumador - Inversor

- ▶ Aspecto de la señal de salida en función de las señales digitales de entrada



18

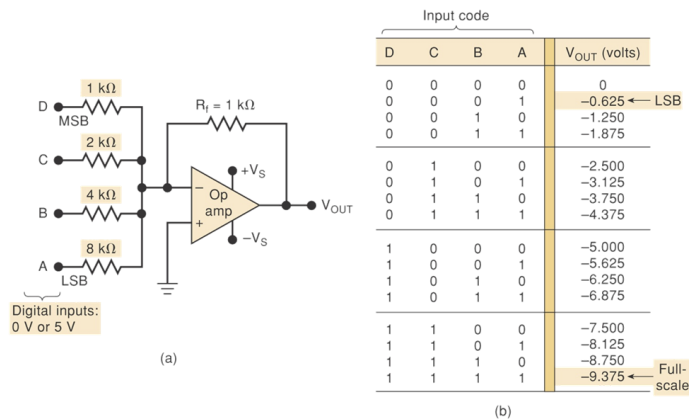
Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración Sumador - Inversor



Ejemplo: para el circuito DAC mostrado, se pide cuantificar los niveles de la señal de salida



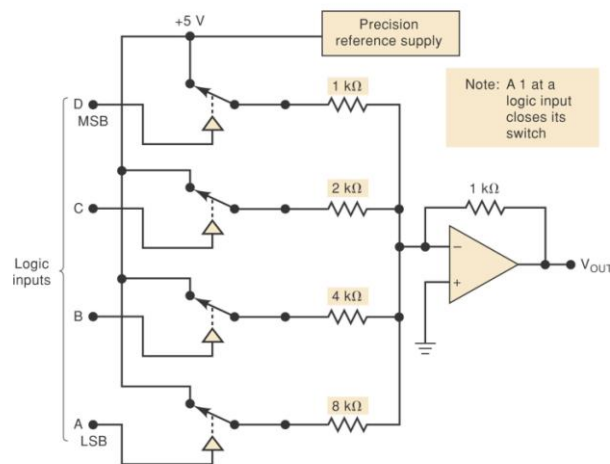
19

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración Sumador - Inversor

- ▶ DAC de 4 bits con fuente de referencia de precisión



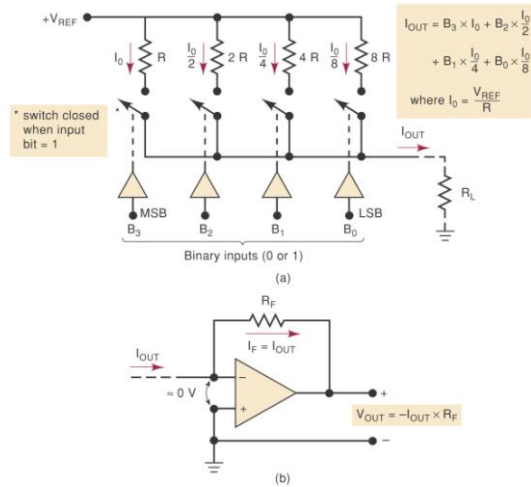
20

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración Sumador - Inversor

- ▶ DAC con salida de corriente



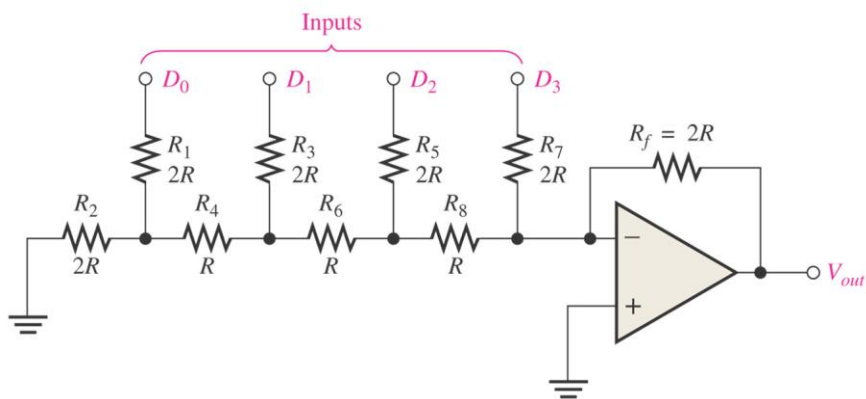
21

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Configuración R - 2R

- ▶ DAC con arreglo R - 2R



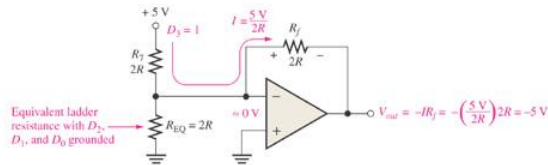
22

Conversión Digital - Analógica

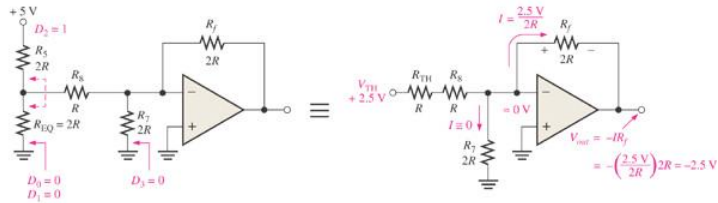
EC2112

Configuración R - 2R

- Proceso de conversión digital – analógico con el arreglo R – 2R



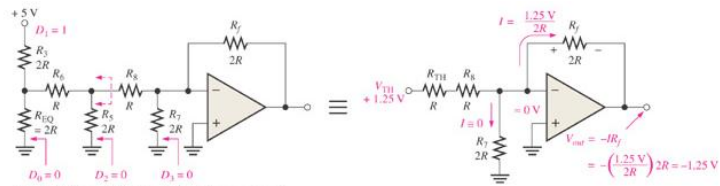
(a) Equivalent circuit for $D_3 = 1, D_2 = 0, D_1 = 0, D_0 = 0$



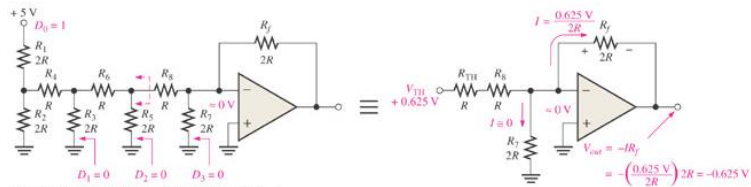
(b) Equivalent circuit for $D_3 = 0, D_2 = 1, D_1 = 0, D_0 = 0$

Configuración R - 2R

- Proceso de conversión digital – analógico con el arreglo R – 2R



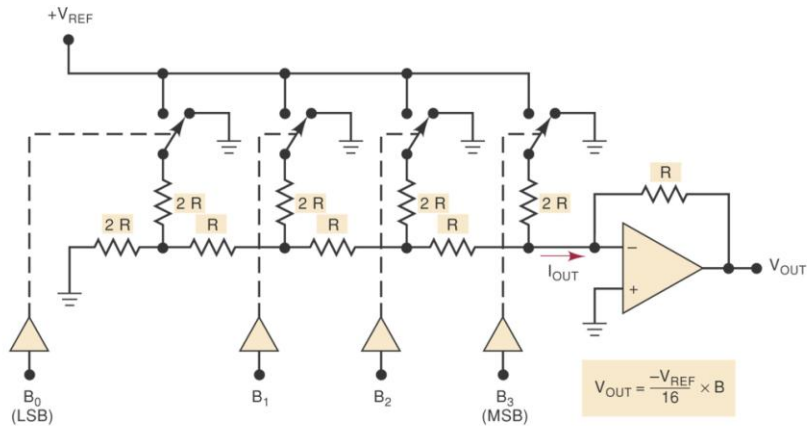
(c) Equivalent circuit for $D_3 = 0, D_2 = 0, D_1 = 1, D_0 = 0$



(d) Equivalent circuit for $D_3 = 0, D_2 = 0, D_1 = 0, D_0 = 1$

Configuración R - 2R

- ▶ DAC con arreglo R – 2R con fuente de referencia



25

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Especificaciones de un DAC

- ▶ Precisión: la salida del DAC presenta escalones del mismo tamaño y el valor de la salida a escala completa es distinto al ideal
- ▶ Error de desplazamiento: la salida del DAC es distinta de cero al colocar todos los bits de la entrada en cero
- ▶ Tiempo de estabilización: tiempo requerido para que la salida del DAC cambie de cero a escala completa cuando la entrada binaria cambia de todos los bits en cero a todos los bits en uno
- ▶ Monotonicidad: la salida no presenta escalones descendentes a medida que se incrementa la entrada

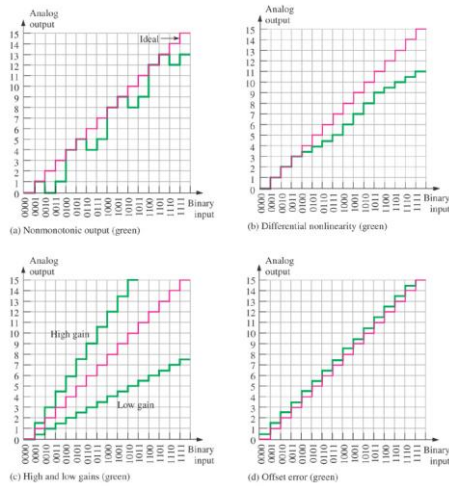
26

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Especificaciones de un DAC

► Errores típicos de un DAC



27

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Circuitos Integrados

- El DAC integrado DAC0808 tiene las siguientes características:
 - Relative accuracy: $\pm 0.19\%$ error maximum
 - Full scale current match: ± 1 LSB typ
 - Fast settling time: 150 ns typ
 - Noninverting digital inputs are TTL and CMOS compatible
 - High speed multiplying input slew rate: 8 mA/ μ s
 - Power supply voltage range: $\pm 4.5V$ to $\pm 18V$
 - Low power consumption: 33 mW @ $\pm 5V$

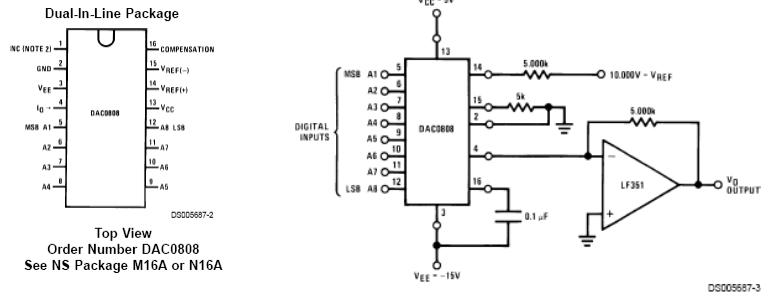
28

Conversión Digital - Analógica

EC2112

Circuitos Integrados

- ▶ El DAC integrado DAC0808:



Bibliografía

- ▶ Electrónica Digital: Principios y Dispositivos. Roger Tokheim. Capítulo 14. Editorial McGraw Hill