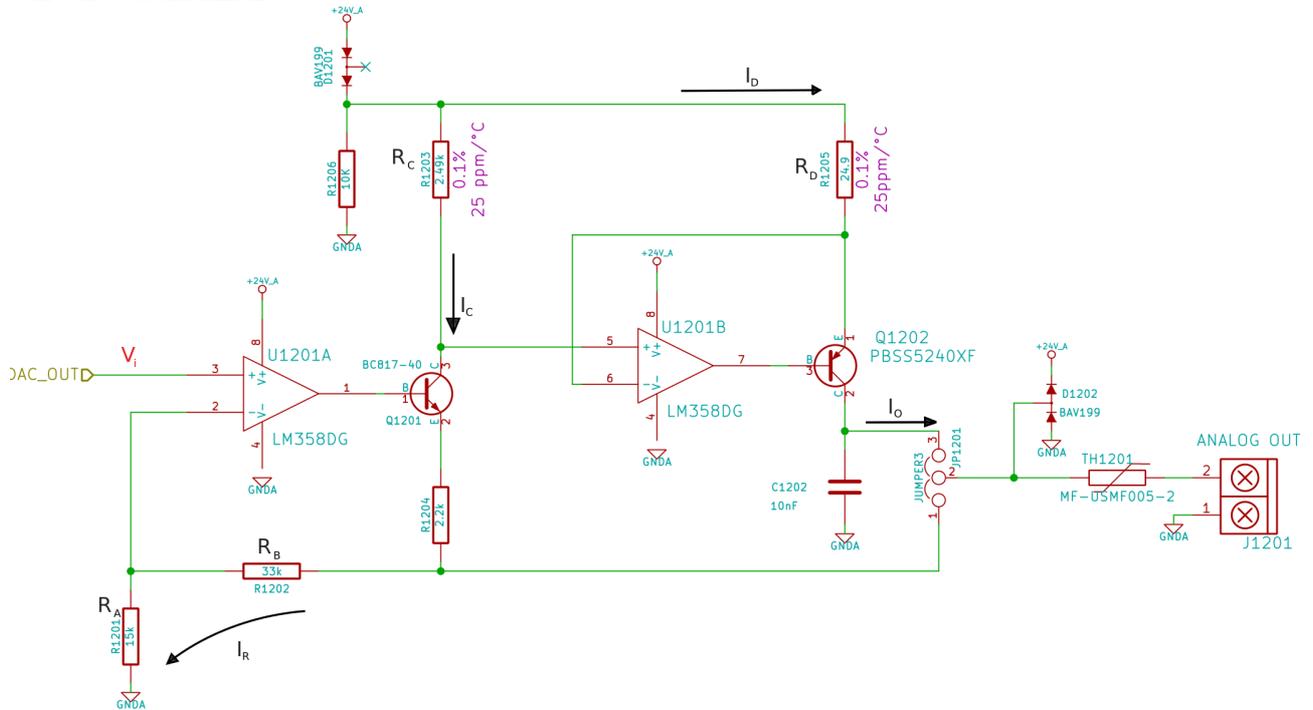


Análisis sobre las salida analógica

El texto aquí presentado, tiene por finalidad analizar el funcionamiento en detalle del circuito de las salidas analógicas, comprender cuales son los elementos que causan el error mayor y elaborar una conclusión que justifique la elección de los componentes.

Circuito a analizar



Si se toma al circuito ideal, pueden encontrarse las siguientes expresiones a través de su análisis:

$$I_R = \frac{V_i}{R_A}$$

Si se estima que: $I_C \approx I_R$

$$V_{R_C} = I_R R_C = V_{R_D} = I_D R_D$$

$$I_D = I_R \frac{R_C}{R_D} = V_i \frac{R_C}{R_A R_D}$$

Como $I_D \approx I_O$

$$I_O = V_i \frac{R_C}{R_A R_D}$$

Los 20mA se producen para una tensión de entrada de:

$$V_{i(20mA)} = 3V$$

Los 4 mA se producen para una tensión de entrada de:

$$V_{i(4mA)} = 0,6V$$

Estimación de los errores:

A continuación, se resumen los elementos que provocan el mayor error en la conversión tensión/corriente, ya que en la conversión de

Error del DAC:

Teniendo un DAC de 12bit, el paso mínimo, con una tensión de alimentación de 3.3V es de: 805,664 μ V. El error inferido por el DAC siempre será de medio bit, para el mejor de los casos, es decir de: 402,832 μ V . Este error acompañará a V_i .

Error de Offset de los operacionales:

Para el LM358, a 25°C, el offset máximo puede llegar a los 7mV.

Dispersión del hFE de los transistores:

El BC817 a 25°C, tiene un hFE de 400

El PBSS5240XF a 25°C, tiene un hFE de 450

Calculo real

$$I_R = \frac{V_i \pm (\Delta V_{DAC} + \Delta V_{OP})}{R_A}$$

$$\text{Como: } I_R = \frac{hfe_1 + 1}{hfe_1} I_C = \frac{1}{\Delta Q_1} I_C$$

$$V_{R_C} = I_C R_C = Q_1 R_C \frac{V_i \pm (\Delta V_{DAC} + \Delta V_{OP})}{R_A}$$

$$I_D = \frac{V_{R_C} \pm \Delta V_{OP}}{R_D} = \frac{Q_1 R_C \frac{V_i \pm (\Delta V_{DAC} + \Delta V_{OP})}{R_A} \pm \Delta V_{OP}}{R_D}$$

$$\text{Como } I_O = I_D \frac{hfe_2 + 1}{hfe_2} = I_D Q_2$$

$$I_O = \frac{Q_1 R_C \frac{V_i \pm (\Delta V_{DAC} + \Delta V_{OP})}{R_A} \pm \Delta V_{OP}}{R_D} Q_2$$

$$I_O = Q_1 Q_2 R_C \frac{V_i}{R_A R_D} \pm \left(Q_1 Q_2 \frac{R_C}{R_A R_D} (\Delta V_{DAC} + \Delta V_{OP}) + Q_2 \frac{\Delta V_{OP}}{R_D} \right)$$

Puede verse en esta última expresión, que los transistores bipolares introducen una variación en el valor de la conversión de la corriente.

El corrimiento producido debido a los transistores, respecto al valor ideal absoluto, es:

$$E_{I_{OQ}} = 100\% \frac{Q_1 Q_2 R_C \frac{V_i}{R_A R_D} - R_C \frac{V_i}{R_A R_D}}{R_C \frac{V_i}{R_A R_D}} = 100\% (Q_1 Q_2 - 1)$$

$$E_{I_{O0}} = 0,0278\%$$

Mientras mayor sea el hFE de cada transistor, menor será este error.

Si se hacen las propagaciones de errores sobre la última expresión, se obtiene que el error relativo será:

$$E_{I_o} = \frac{\Delta I_o}{I_o} = \frac{\Delta R_A}{R_A} + \frac{\Delta R_C}{R_C} + \frac{\Delta R_D}{R_D} + \frac{\Delta Q_1}{Q_1} + \frac{\Delta Q_2}{Q_2} + \frac{\Delta V_{DAC}}{V_i} + \frac{\Delta V_{OP}}{V_i} + \frac{\Delta V_{OP}}{V_{R_D}}$$

El error de cada resistencia será 0,1%, dado por el fabricante.

Para los transistores, se sabe que:

$$Q_1 = \frac{hfe_1}{hfe_1 + 1} \rightarrow \frac{\Delta Q_1}{Q_1} = \frac{\Delta hfe_1}{hfe_1(hfe_1 + 1)}$$

Si la dispersión del hfe puede causar una variación del 10% en el hfe, el error resulta:

$$\frac{\Delta Q_1}{Q_1} = 0,025\%$$

$$Q_2 = \frac{hfe_2 + 1}{hfe_2} \rightarrow \frac{\Delta Q_2}{Q_2} = \frac{\Delta hfe_2}{hfe_2(hfe_2 + 1)}$$

Si la dispersión del hfe puede causar una variación del 10% en el hfe, el error resulta:

$$\frac{\Delta Q_2}{Q_2} = 0,0222\%$$

El error del operacional y del DAC, se da para la mínima tensión de entrada, que son los 0,6V.

$$\frac{\Delta V_{DAC}}{V_{DAC}} = 0,0671\%$$

$$\frac{\Delta V_{OP}}{V_i} = 1,1667\%$$

$$\frac{\Delta V_{OP}}{V_{R_D}} = \frac{7\text{mV}}{0,0996\text{V}} = 7,0281\%$$

El Error total de conversión, para la mínima corriente será:

$$E_{I_o} = \frac{\Delta I_o}{I_o} = 8,6091\%$$

Para el valor de máximo de corriente de salida (20mA) el error será:

$$E_{I_o} = \frac{\Delta I_o}{I_o} = 1,872\%$$

Como puede observarse, todo el error se debe principalmente al operacional utilizado y son más severos mientras menor sea la tensión de entrada.

Conclusión:

En función de la precisión que se requiera en el circuito, deben tomarse precauciones en la elección de los componentes que introducen el mayor el error en la conversión. Ordenandolos según su participación en el error: Operacional, transistores, resolución del DAC .

Todos los errores introducidos por los operacionales y los transistores bipolares pueden reducirse por hardware, pero esto implica una calibración y puesta a punto de cada circuito antes de ser utilizado. Esto puede ser un ajuste mecánico al comienzo de su uso o una calibración por firmware. Una forma de reducir el error, mediante un circuito externo puede verse en:

Nulling Input Offset Voltage of Operational Amplifiers - Texas Instrument:

<http://www.ti.com/lit/an/sloa045/sloa045.pdf>

Sería conveniente, para evitar esta puesta a punto, seleccionar operacionales con un offset de entrada menor a 1mV. Con estos, el error será menor al 2% para el caso más crítico.

También resulta conveniente utilizar FET en vez de BJT, para reducir más aún el error.

Se recomienda la nota

Convert 1 to 5V signal to 4-20mA output – EDN Network

<http://www.edn.com/design/power-management/4371307/Convert-1-to-5V-signal-to-4-to-20-mA-output>