Projeto Final de Lab de Eletrônica 1

Henrique da Silva
henrique.pedro@ufpe.br

29 de setembro de 2023

Sumário

1 Introdução

2 Análise preliminar
- 2.1 O circuito
- 2.2 Análise simbólica
  - 2.2.1 Resolução
  - 2.2.2 Resistores

3 Medições em laboratório

4 Análise dos resultados

5 Conclusões

1 Introdução

Neste relatório, discutiremos e analisaremos o design de um Conversor Digital-Analógico (DAC) que será implementado com o uso de três amplificadores operacionais em diferentes configurações.

Todos arquivos utilizados para criar este relatório, e o relatorio em si estão em: `https://github.com/Shapis/ufpe_ee/tree/main/6thsemester/Eletronica1/`

O código utilizado para a análise numérica também se encontra no anexo ao final do relatório.

2 Análise preliminar

Utilizarei a biblioteca *sympy* em *Python* para fazer a análise simbólica e numérica do circuito antes de montá-lo fisicamente.

Após terminar as análises compararei os resultados obtidos nas análises numéricas e em laboratório para verificar sua coerência.

Utilizaremos valores de $n = [2, 2]$ para o nosso projeto. Isso vem de operações feitas com os CPFs da dupla.

E teremos todas entradas com corrente limitada a $0.75mA$, e uma tensão máxima de $5V$.

2.1 O circuito

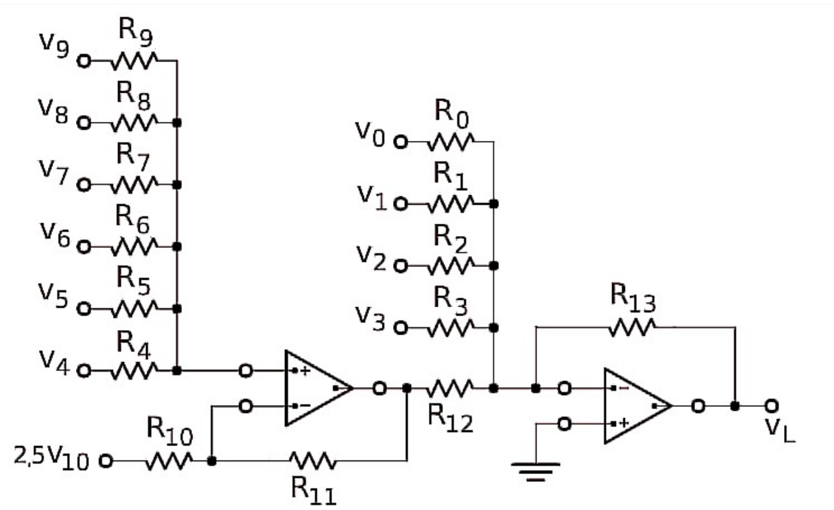

Figura 1: Planta esquemática do DAC de 11-bits.

2.2 Análise simbólica

Podemos realizar a análise do circuito utilizando análise nodal e princípio da superposição. Com isso, obtém-se a seguinte equação que rege a saída V_L do circuito.

$$V_L = -\left(R_{13}\sum_{i=0}^{3}\frac{V_i}{R_i} + \frac{R_{13}}{R_{12}}\left(1+\frac{R_{11}}{R_{10}}\right)R_{eq}\sum_{i=4}^{9}\frac{V_i}{R_i} - \frac{R_{11}R_{13}}{R_{10}R_{12}}2.5V_{10}\right) \tag{1}$$

Comparamos este V_L com uma saída M do DAC.

$$M = r\left(\sum_{i=0}^{n-1} d_i 2^i - d_n 2^n\right) \tag{2}$$

2.2.1 Resolução

Onde r é a resolução do DAC, d_i é o valor do bit i e n é o número de bits do DAC.

Para o nosso projeto, escolheremos uma tensão máxima de $V_L = M = 7V$.

Com as equações 1 e 2, analisaremos o comportamento das equações para diferentes configurações de bits d_i ligados.

Para obter a resolução r, analisamos o valor máximo possível de 2^n para 10 bits, e consideraremos que tanto o valor máximo positivo quanto negativo serão os mesmos, que serão 1024.

Então, com 2, tem-se:

$$r = \frac{7}{2^{10}} \tag{3}$$

2.2.2 Resistores

Analisaremos o comportamento de 1 e 2 para diferentes configurações de bits d_i ligados.

Como queremos ter uma limitação de corrente de $0.75mA$ em todas as entradas, podemos aplicar a lei de Ohm com apenas o d_3 ligado e encontrar o valor de R_3.

$$\begin{aligned} V_3 &= V_m d_3 = IR_3 \\ I &= 0.75mA > \frac{V_m}{R_3} \\ R_3 &> \frac{5V}{0.75mA} = \frac{20}{3}k\Omega \end{aligned} \tag{4}$$

No caso, escolhemos $R_3 = 100k\Omega$, o que atende à condição de limitação de corrente.

Para manter os pesos vistos na equação $eq: M$ nos resistores deste amplificador operacional, fazemos a mesma lógica para $R_2, R_1 e R_0$, ou seja, dobramos o valor de cada um deles considerando o anterior, e obtemos:

$$\begin{aligned} R_2 &= 2R_3 = 200k\Omega \\ R_1 &= 2R_2 = 400k\Omega \\ R_0 &= 2R_1 = 800k\Omega \end{aligned} \tag{5}$$

Com estes quatro determinados, agora buscamos o R_{13}, vemos que em 1, se zerarmos todas as entradas, exceto uma entrada entre 0 e 3, conseguimos novamente utilizar a relação $V_L = M$ e obter o R_{13}.

$$\begin{aligned} \frac{R_{13}V_m}{R_i r} &= 2^i \\ R_{13} &= 1093.75\Omega \end{aligned} \tag{6}$$

Agora fazemos as restrições de corrente para as entradas de 4 a 9. Para isso, precisamos saber a tensão mínima possível para V_a. Isolamos o V_a pela resolução das equações da análise nodal no *Sympy*, que se encontra no apêndice. E obtemos:

$$V_a = \sum_{i=4}^{9} \frac{V_i R_e q}{R_i} \tag{7}$$

Os três termos da equação nunca serão negativos, e o único que pode ser zero é o V_i, logo, o valor mínimo de V_a é $0V$.

Daqui podemos fazer a análise com d_i com apenas um ligado entre 4 e 9 e obter os resistores R_4 a R_9.

Com a mesma lógica que obtemos resistores de 0 a 3, vamos encontrar o R_9 que é o mais significativo, e a partir dele, obteremos os outros 5.

$$R_9 > \frac{20}{3} \Omega \tag{8}$$

Nós escolhemos um valor de $R_9 = 22k\Omega$ que atende à restrição.

Para calcular o R_{10}, R_{11} e R_{12}, utilizaremos as seguintes relações:

$$\begin{aligned} X &= \frac{R_{11}}{R_{10}} \\ Y &= \frac{R_{13}}{R_{12}} \end{aligned} \tag{9}$$

Então, desligando todas as entradas, exceto d_{10}, a partir de 1 e 2, e com as substituições 9, tem-se:

$$\begin{aligned} XY &= 2.5V_0 = 2.5V_m d_{10} \\ XY &= \frac{7}{12.5} = 0.56 \end{aligned} \tag{10}$$

Nas equações 1, 2 e fazendo as substituições 9, fazendo apenas a entrada d_9 estar ligada, e atentando-se que o R_{eq} é a resistência equivalente entre o R_4 até o R_9 e vale 11175Ω, tem-se:

$$\begin{aligned} &Y(1+X)R_{eq}\frac{V_9}{R_9} = \frac{7}{2} \\ &Y(1+X)1.38 \end{aligned} \tag{11}$$

Resolvendo o sistema

$$\begin{aligned} Y(1+X) &= 1.38 \\ XY &= \frac{7}{12.5} = 0.56 \end{aligned} \tag{12}$$

Obtém-se: $X = 0.684$ e $Y = 0.818$.

Convertendo de volta o X e Y, tem-se:

$$\begin{aligned} \frac{R_{11}}{R_{10}} &= 0.684 \\ \frac{R_{13}}{R_{12}} &= 0.818 \end{aligned} \tag{13}$$

Como já havíamos obtido o R_{13} previamente, obtemos o valor exato do R_{12}, que é $R_{12} = 1337$.

Já o R_{11} e R_{10} têm apenas uma proporção entre os dois. Então, escolhemos valores comerciais de $R_{11} = 15k\Omega$ e $R_{12} = 22k\Omega$.

E com isso, determina-se os 15 resistores do projeto.

3 Medições em laboratório

Montaremos os dois circuitos discutidos acima em laboratório, e mediremos a tensão de entrada e saída para várias frequências, e com isto obteremos a magnitude da função transferência para frequências diversas.

4 Análise dos resultados

5 Conclusões