



Informe Laboratorio n°3

Piano Digital

Vicente Barrios - Elías Bruchfeld

28 de octubre, 2022

1. Trabajo Previo

1.1. Conversor Digital-Análogo (DAC)

1.

Utilizando el principio de superposición, nos damos cuenta que si solamente dejamos encendido b_0 , y apagamos b_1 , b_2 , b_3 . Obtenemos:

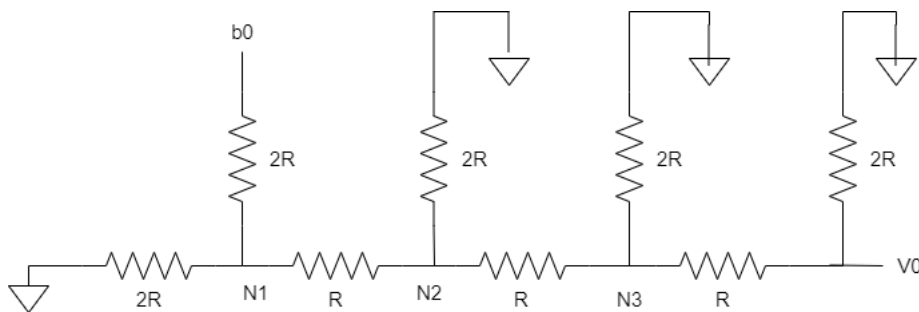


Figura 1: Circuito con b_0 encendido.

De la Figura 1, podemos ver que el voltaje en el nodo 1 (N_1) nos queda como:

$$V_{N1} = \frac{b_0}{2}$$

Y la resistencia de Northon nos queda de un valor $R_{TH} = R$, y esta resistencia queda en serie con la resistencia de valor R por lo que se suman y nos da un valor de $2R$, como se muestra a continuación:

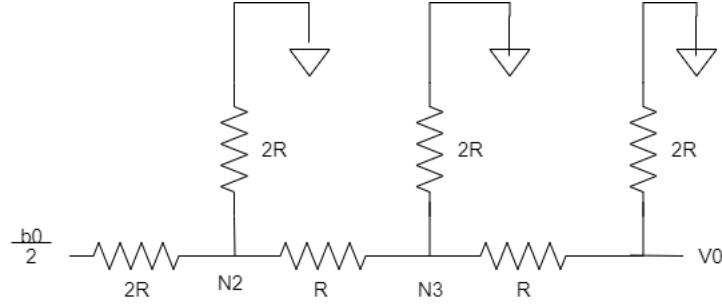


Figura 2: Circuito equivalente.

Así, usando la misma lógica de divisor de tensión, el voltaje en el nodo 2 nos queda como:

$$V_{N2} = \frac{b_0}{4}$$

Y por la $R_{TH} = R$, el circuito nos queda como:

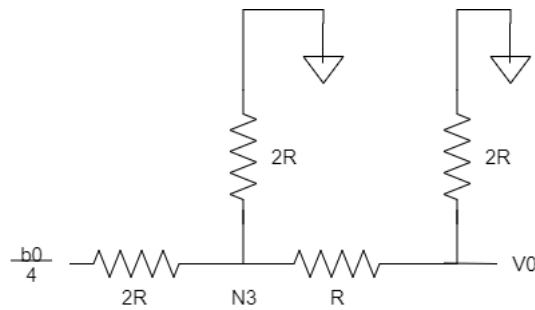


Figura 3: Circuito equivalente.

$$V_{N3} = \frac{b_0}{8}$$

Y por la $R_{TH} = R$, el circuito nos queda como:

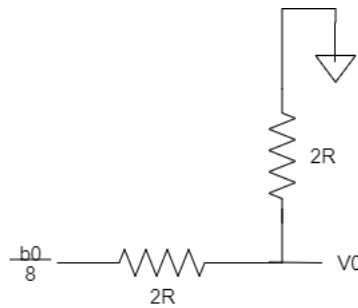


Figura 4: Circuito equivalente.

Por lo tanto:

$$V_o = \frac{b_0}{16}$$

Ahora extrapolando para el resto de bits, si dejamos encendido b_1 y apagamos b_0, b_2 y b_3 .
Obtenemos:

$$V_o = \frac{b_1}{8}$$

Si ahora, dejamos encendido b_2 y apagamos b_0, b_1 y b_3 .
Obtenemos:

$$V_o = \frac{b_2}{4}$$

Mientras que si dejamos encendido b_3 y apagamos b_0, b_1 y b_2 .
Obtenemos:

$$V_o = \frac{b_3}{2}$$

Por lo tanto, por criterio de superposición, nos queda:

$$V_o = \frac{b_0}{16} + \frac{b_1}{8} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{2}$$

2.

En base a la función anterior, si todos los bits tienen el valor 1, el máximo voltaje a la salida sería de:

$$V_{o_{max}} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2}$$

$$V_{o_{max}} = \frac{15}{16} = 0,9375[V]$$

3.

El valor de las resistencias que deben ser más precisas son las más cercanas a los bits más significativos (MSB) ya que aportan más al voltaje de salida, mientras que las resistencias que conforman los bits menos significativos no aportan en gran medida al voltaje analógico final.

El error que se produce en el conversor cuando las resistencias tienen variaciones en torno a su valor ideal es que se obtienen proporciones de voltajes en los divisores de tensión que distan de 0.5 por lo que se desvirtúa el valor de voltaje obtenido en la salida.

Una manera de evitar tener estos problemas es usar un único valor de resistencia que simboliza el valor de $2R$, mientras que el valor de R lo hacemos mediante el paralelo de dos resistores $2R$. Así, si usamos resistencias de misma partida (fabricadas en el mismo tiempo) y resistencias de 1 % de tolerancia (cinco bandas con marrón al final) se minimizan estos problemas.

4.

Como tenemos la potencia máxima en la carga y la resistencia de esta, hacemos:

$$P = I^2 \cdot R$$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}$$

$$I = \sqrt{\frac{6[W]}{8[\Omega]}} = 0,8660[A]$$

Como el terminal de la entrada no inversora del OpAmp esta a tierra, se copia este voltaje a la entrada inversora por cortocircuito virtual.

Entonces:

$$I = \frac{V_0 - 0}{P_f[\Omega]} = \frac{1}{P_f}[A]$$

Igualándolo a la expresión anterior:

$$0,8660[A] = \frac{1}{P_f}$$

$$P_f = 1,1547[\Omega]$$

Segunda forma de solución:

La función de transferencia de circuito es:

$$v_o = \frac{-P_f}{R} \cdot \left(\frac{b_0}{16} + \frac{b_1}{8} + \frac{b_2}{4} + \frac{b_3}{2} \right)$$

Obtenemos el voltaje en la carga:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$V = \sqrt{P \cdot R}$$

$$V = \sqrt{6 \cdot 8} = 6,9282[V]$$

Si todos los bits están encendidos, obtenemos:

$$6,9282 = \frac{-P_f}{R} \cdot \left(\frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right)$$

$$6,9282 = \frac{-P_f}{R} \cdot 0,9375$$

$$7,39008 = \frac{-P_f}{R}$$

$$P_f \approx 7R$$

5.

Extendiendo el diseño de DAC a 8 bits, nos queda:

$$V_o = \frac{b_0}{256} + \frac{b_1}{128} + \frac{b_2}{64} + \frac{b_3}{32} + \frac{b_4}{16} + \frac{b_5}{8} + \frac{b_6}{4} + \frac{b_7}{2}$$

Obtenemos el voltaje en la carga:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

$$V = \sqrt{P \cdot R}$$

$$V = \sqrt{6 \cdot 8} = 6,9282[V]$$

Si todos los bits están encendidos, obtenemos:

$$6,9282 = \frac{-P_f}{R} \cdot \left(\frac{1}{256} + \frac{1}{128} + \frac{1}{64} + \frac{1}{32} + \frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{2} \right)$$

$$6,9282 = \frac{-P_f}{R} \cdot 0,9961$$

$$6,9553 = \frac{-P_f}{R}$$

$$P_f \approx 7R$$

6.

El diseño del filtro pasabajos activo de primer orden de frecuencia de corte 1[kHz] y ganancia unitaria se especifica a continuación.

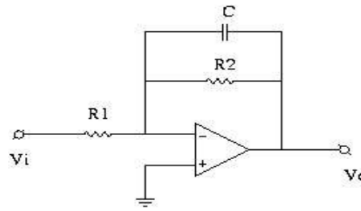


Figura 5: Diseño de filtro pasa bajos de primer orden (inversor).

La función de transferencia de este circuito es:

$$F(s) = \frac{-R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + sR_2C_2}$$

$$F(w) = \frac{-R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + jwR_2C_2}$$

Por lo tanto la frecuencia de corte es:

$$w = \frac{1}{R_2C_2}$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R_2C_2}$$

$$1[KHz] = \frac{1}{2\pi \cdot R_2C_2}$$

Por lo tanto si fijamos $C_2 = 100[\text{nF}]$, obtenemos:

$$R_2 = \frac{1}{2\pi \cdot f_c C_2}$$
$$R_2 = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 1591,5494 \approx 1600[\Omega]$$

La ganancia del circuito para bajas frecuencias esta dada por:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1}$$

Por lo tanto para tener ganancia unitaria, necesitamos:

$$1 = \frac{R_2}{R_1}$$
$$R_2 = R_1 = 1591,5494 \approx 1600[\Omega]$$

2. Etapa de salida clase AB sin realimentación

2.1.

Al simular el circuito en LTSpice, se obtiene el siguiente gráfico:

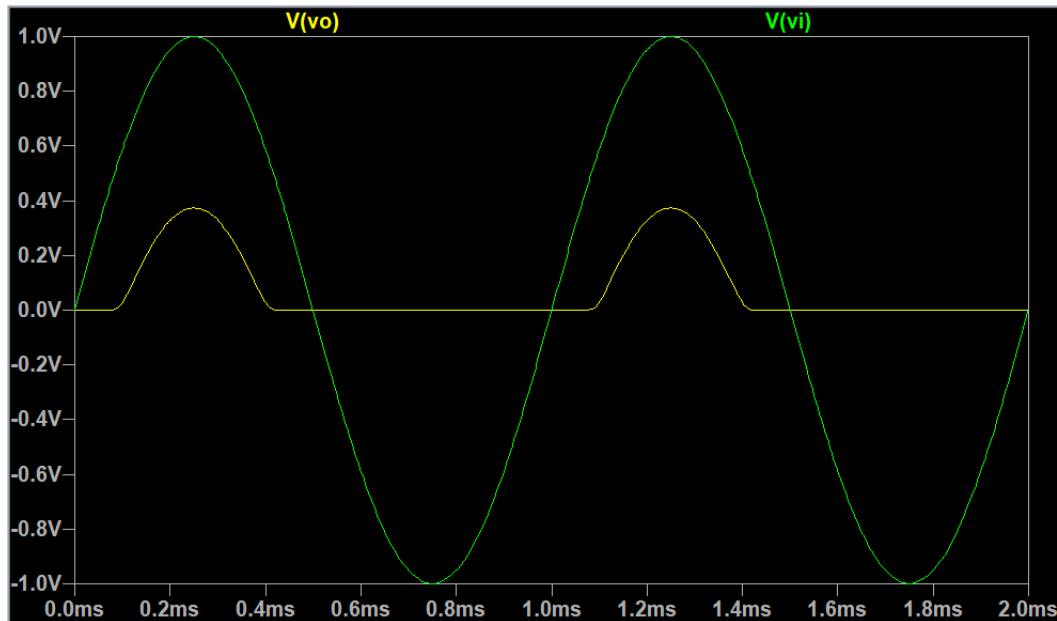


Figura 6: Entrada y salida de circuito de figura 4a

Con los cursores, se puede ver que el BJT comienza a conducir cuando $V_i > 475mV$. Como en el BJT se cumple:

$$V_o = V_{in} - 0,6$$

Entonces la ganancia la calculamos como:

$$A = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{V_{in} - 0,6}{V_{in}}$$

Por lo tanto la ganancia siempre será menor a la unidad.

La resistencia de salida se puede obtener simplemente viendo el circuito, dándose cuenta que corresponde a la resistencia de 1k.

2.2.

En LTSpice, la entrada y salida se ven así:

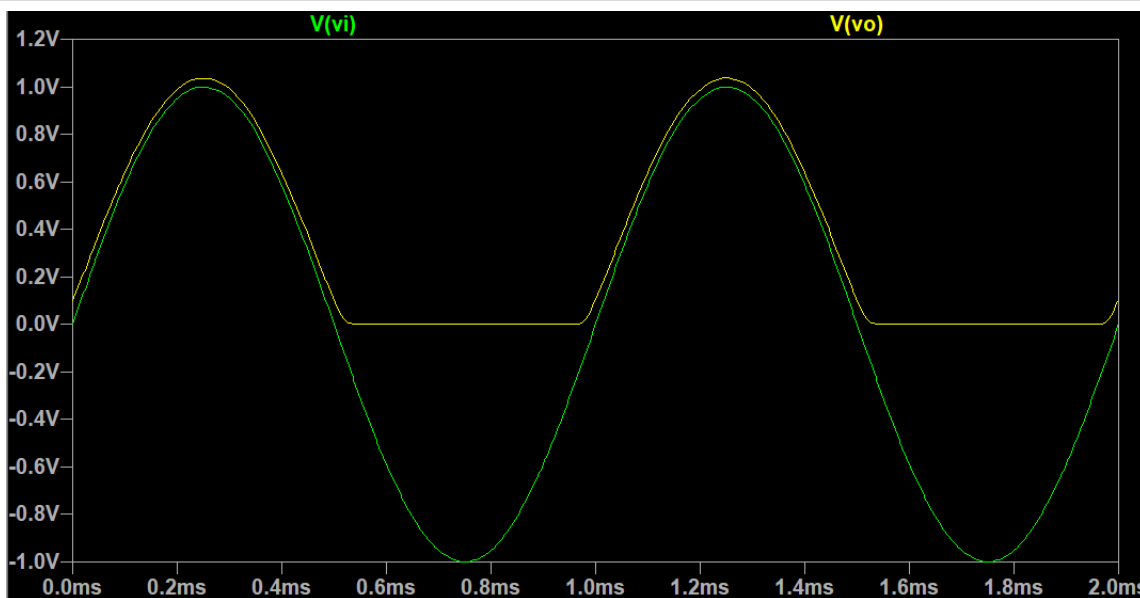


Figura 7: Entrada y salida de circuito de figura 4b

2.3.

La entrada y salida se ven así:

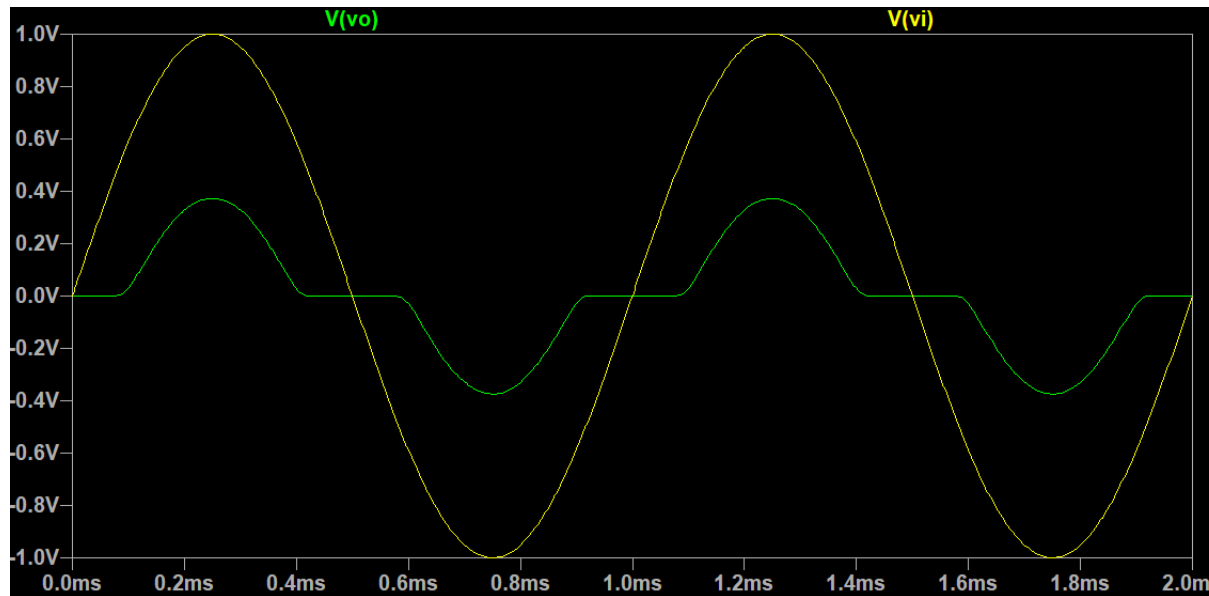


Figura 8: Entrada y salida de circuito de figura 4c

2.4.

En este caso, así se ven los gráficos:

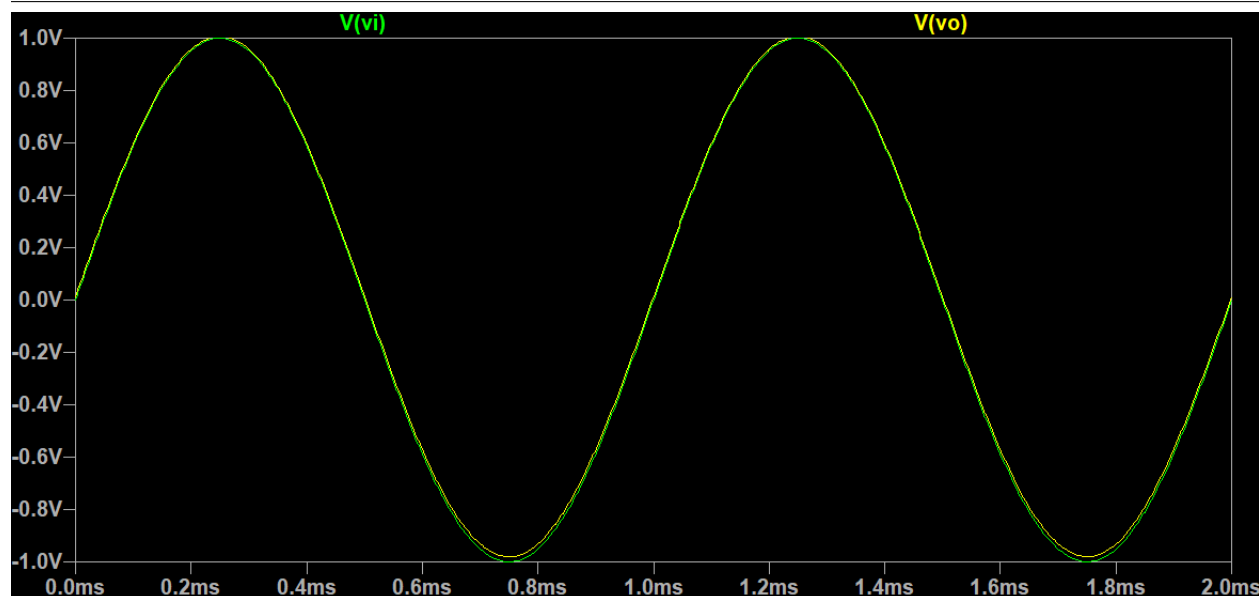


Figura 9: Entrada y salida de circuito de figura 4d

Se podría decir que la entrada y la salida son iguales.

2.5.

Se supone que cada diodo tiene un voltaje de 0,7V. Sin embargo eso no es siempre así ya que en realidad necesitan una corriente mínima para que esto funcione. La gráfica del diodo de la corriente según el voltaje es la siguiente:

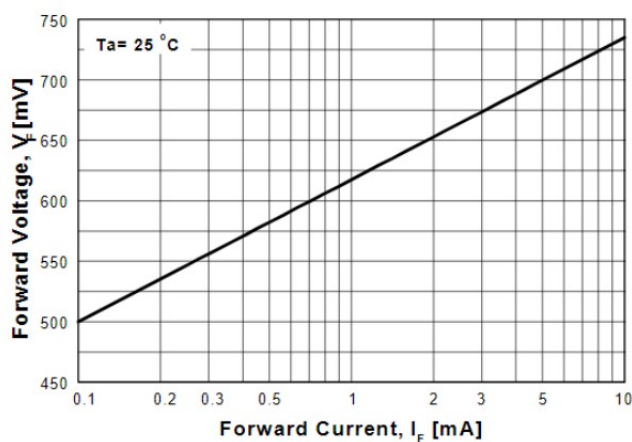


Figura 10: V vs I diodo

Para que el voltaje del diodo sea de 0,7, vamos a asumir que la corriente debe estar entre 3mA y 10mA. Si el potenciómetro está como circuito abierto, la corriente que pasa por los

diodos es:

$$\frac{15V - 1,4V}{R}$$

Esta debe ser la corriente máxima que puede pasar (o sea 10mA). Por lo tanto:

$$\frac{15 - 1,4}{R} = 10m \rightarrow R = 1,36k\Omega$$

Para el caso del potenciómetro, el mínimo valor que debe tener para que por los diodos pasen 3mA es:

$$P = \frac{2,8R}{13,6 - 3mR}$$

Si $R = 1,36k$, entonces:

$$P = 400\Omega$$

2.6.

Al simular el circuito para distintos porcentajes del potenciómetro se ve así:

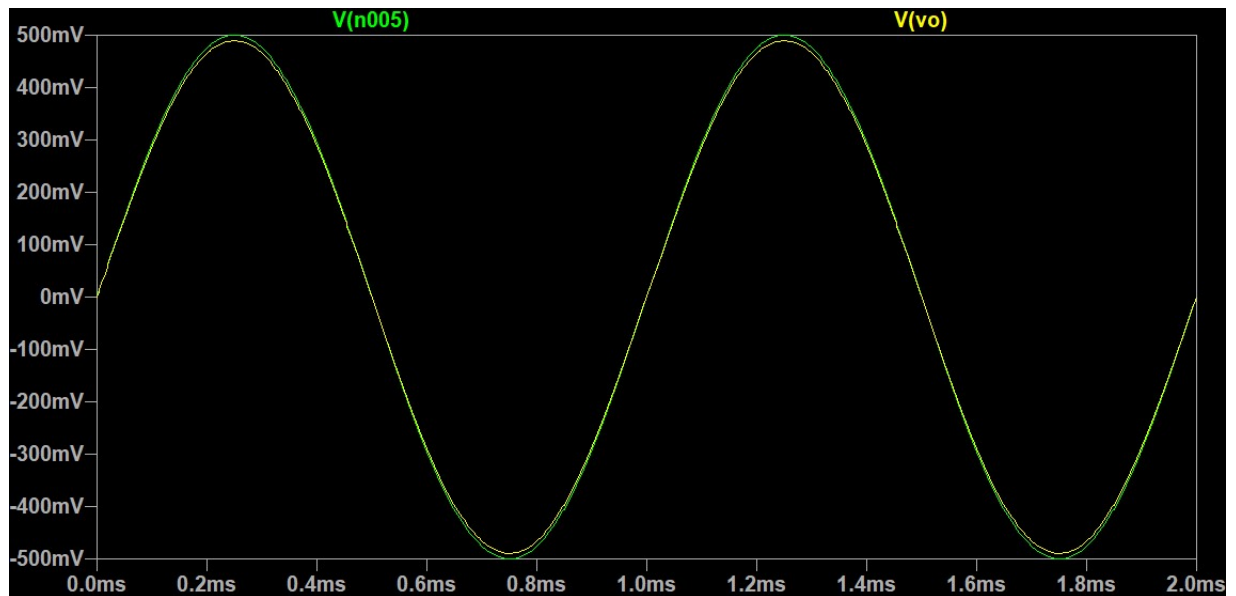


Figura 11: Potenciómetro al 100 %

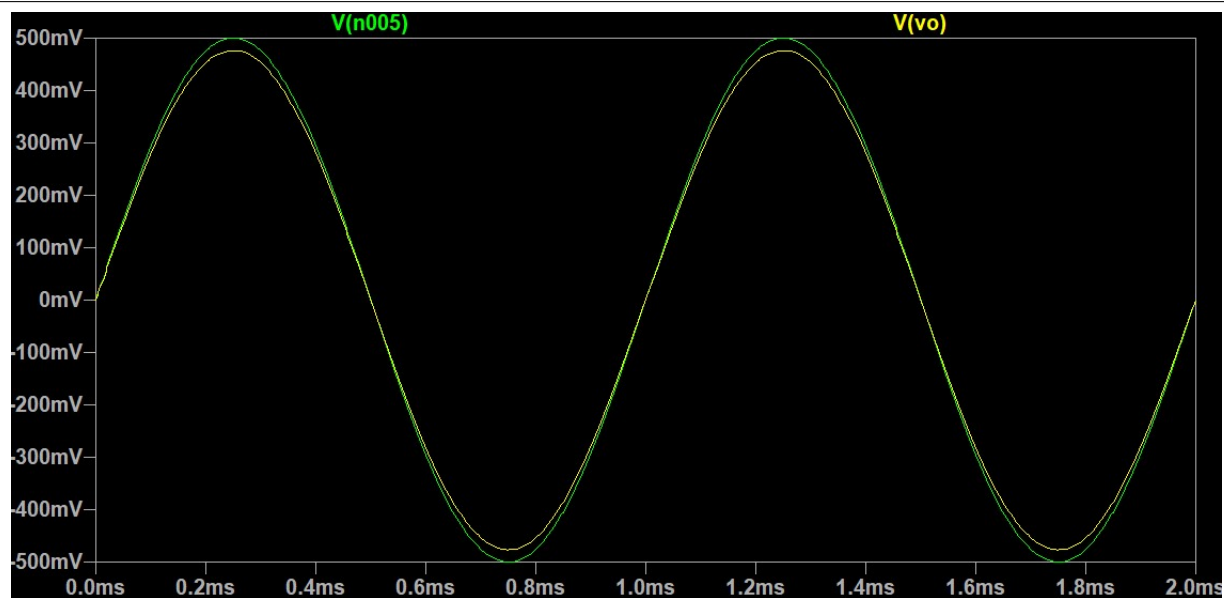


Figura 12: Potenci3metro al 70 %

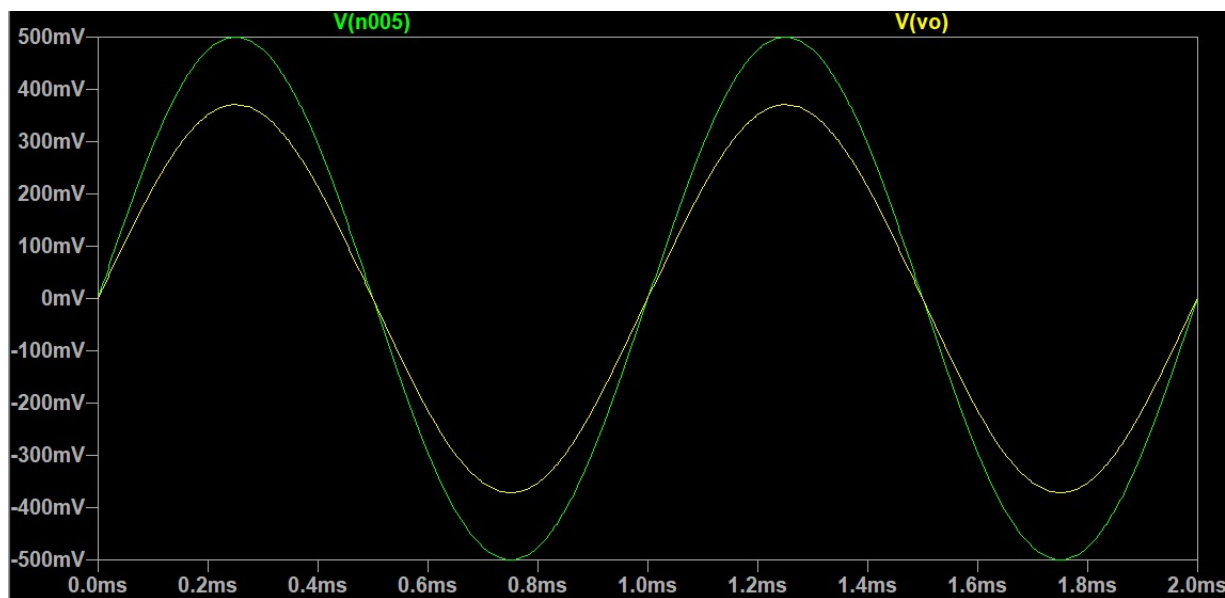


Figura 13: Potenci3metro al 50 %

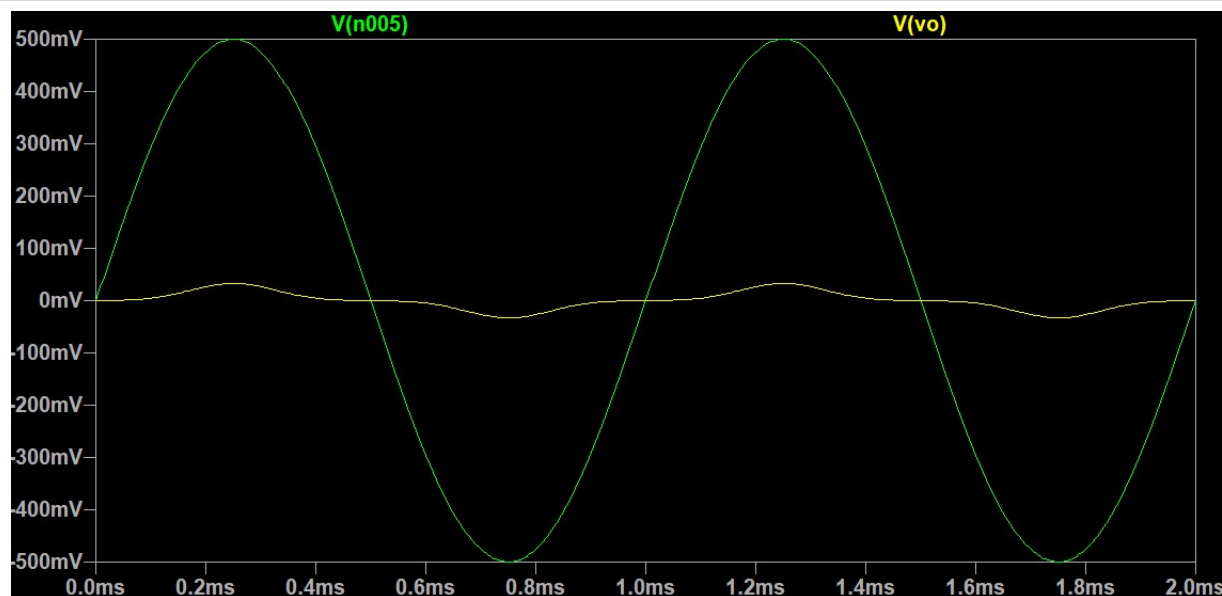


Figura 14: Potenciómetro al 20 %

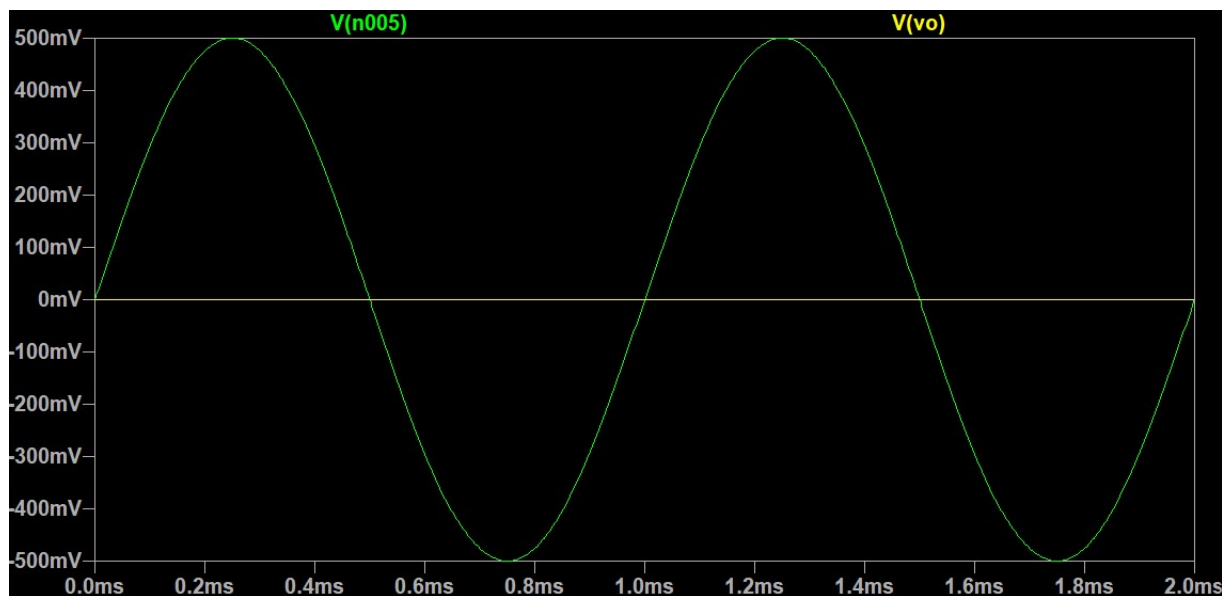


Figura 15: Potenciómetro al 0 %

Por otro lado, al medir la potencia consumida tanto la resistencia de salida (verde) como en la fuente de entrada (amarillo) considerando que el valor del potenciómetro es máximo, se obtienen los siguientes resultados:

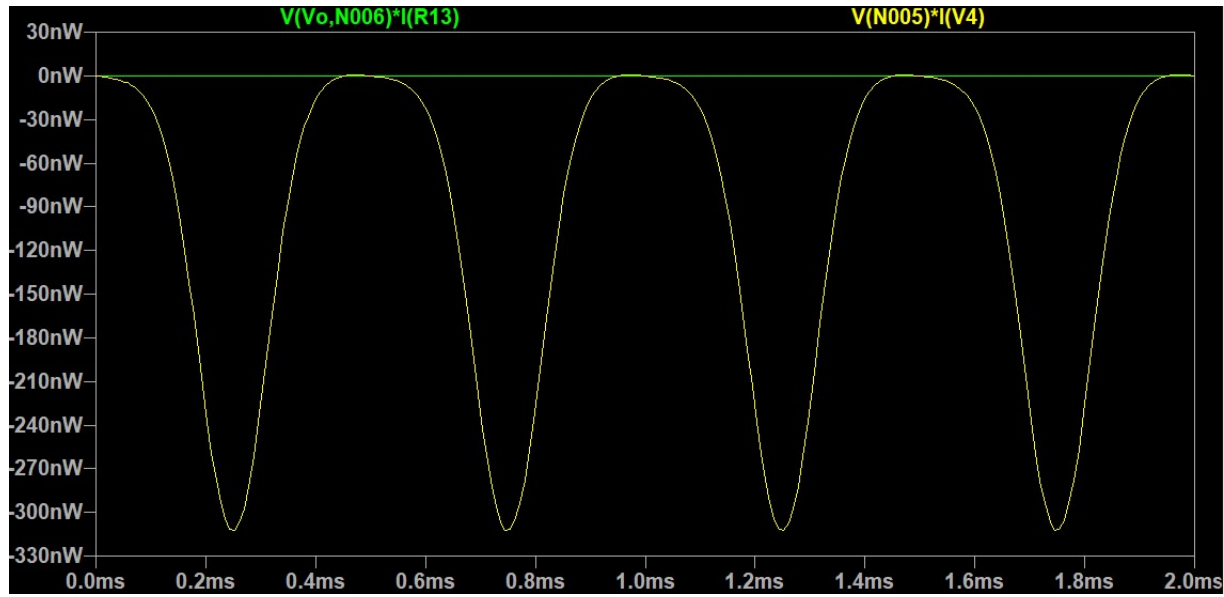


Figura 16: Potencia de salida y entrada

2.7.

El problema de disipación térmica consiste simplemente en que los transistores se pueden llegar a calentar a temperaturas en donde se pierde demasiada energía debido a la temperatura. Esto se puede arreglar poniendo un disipador de calor, que es un pedazo de metal, normalmente aluminio, que se pone encima del componente.

Según el datasheet de los transistores TIP122 y TIP126, la temperatura máxima con la que estos pueden operar es de 150°C . Por razones de seguridad, se considerará que la temperatura no debe exceder los 80°C . También viendo el datasheet, se puede saber que la resistencia térmica que existe entre la unión del semiconductor y el aire del ambiente es de 62.5°C/W . Según la simulación del LTSpice, los transistores tienen un V_{ce} máximo de 15.5V , y una corriente I_c de 90mA . Esto significa que su potencia disipada máxima es de

$$P_{max} = 90\text{mA} \cdot 15.5 = 1.4\text{W}$$

Esto significa que su temperatura máxima a una temperatura ambiente de 25°C será:

$$T_{max} = 1.4\text{W} \cdot 62.5^{\circ}\text{C/W} + 25^{\circ}\text{C} = 112.5^{\circ}\text{C}$$

Este valor excede los 80°C que se habían estipulado como límite, por lo que es necesario poner un disipador de calor.

Si se pone un disipador, la resistencia térmica que fluye desde el interior del transistor hasta el ambiente se puede descomponer en 3 resistencias en serie. La primera es la del interior del transistor hasta la cápsula de este, que viene dado en el datasheet (en este caso de 1.92°C/W). La segunda es de la que se encuentra entre la cápsula y el disipador. Esta va

a depender de la unión que se hace entre ambos, pero un típico valor es considerar que es 1°C/W . La tercera es la del disipador mismo. Esta se calcula de la siguiente manera:

$$T_{max} - T_a = P(R_{\theta jc} + R_{\theta cd} + R_{\theta da}) \rightarrow R_{\theta da} = \frac{T_{max} - T_a}{P(R_{\theta jc} + R_{\theta cd})}$$

Si consideramos que la temperatura ambiente es 24, la máxima es 80, la resistencia térmica entre el interior del transistor y la cápsula es de 1.92°C/W , la entre la cápsula y el disipador es 1 y la potencia máxima es de 1.4W:

$$R_{\theta da} = \frac{80 - 25}{1.4(1.92 + 1)} = 13.45^{\circ}\text{C/W}$$

Por lo tanto, habría que buscar un disipador que tenga como resistencia térmica un valor de 13.45°C/W .