

Informes de CIREL

Rafael Sánchez Sánchez - Alejandro Santorum Varela
Universidad Autónoma de Madrid
Preinforme de la sesión 6

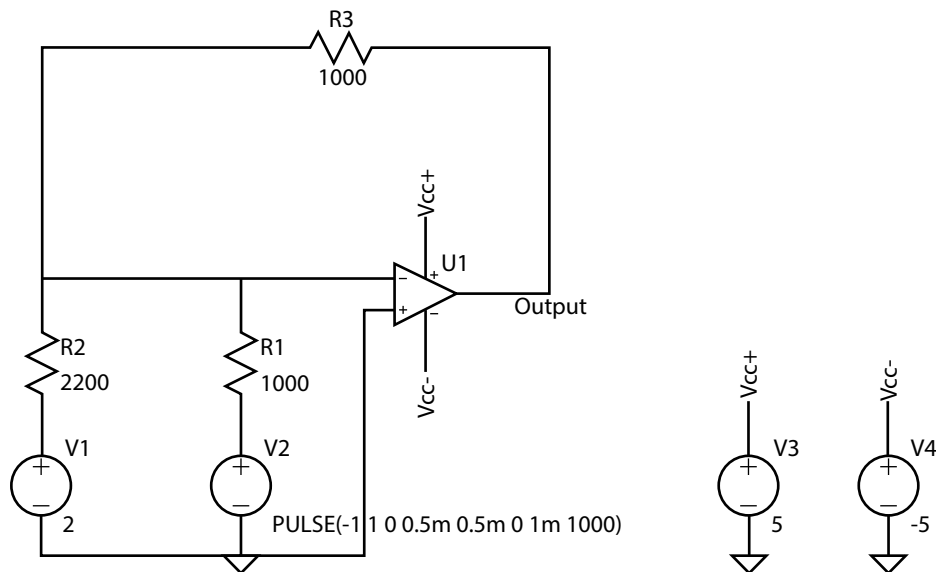
1 Introducción.

1.1 Objetivo.

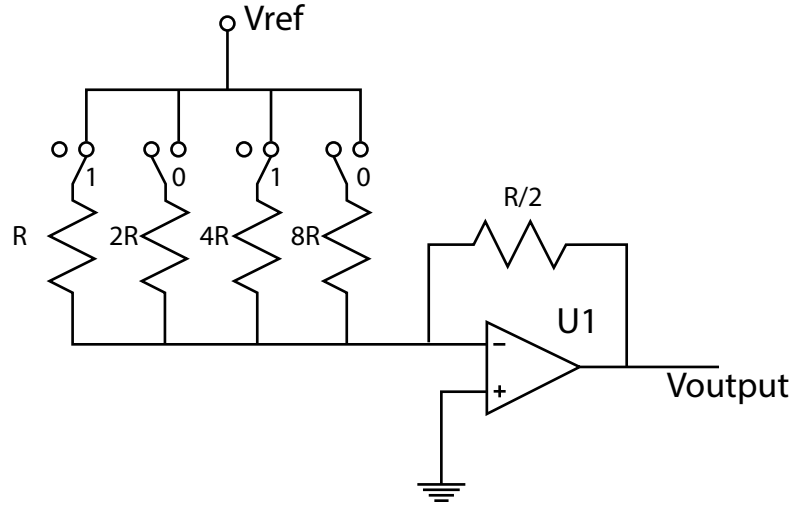
1. Montaje de un circuito basado en un amplificador operacional para mezclar señales de corriente alterna y corriente continua, siendo la señal de corriente alterna una onda triangular suministrada por el generador de funciones.
2. Construir un convertidor básico de 4 bits basado en un amplificador operacional.

1.2 Descripción del montaje.

1. El primer circuito consiste en el montaje del simulado. $V2$ es una señal de onda triangular, de amplitud de $1V$ y $1kHz$ de frecuencia. El resto de datos figuran con claridad en el siguiente esquemático:



2. En el segundo circuito tenemos que montar el convertidor de 4 bits. Éste se corresponde con el siguiente esquemático:



En el montaje experimental los valores de las resistencias no serán exactos. Usaremos $R = 1\text{ k}\Omega$, $2R = 2.2\text{ k}\Omega$, $4R = 4.7\text{ k}\Omega$, $8R = 10\text{ k}\Omega$, $\frac{R}{2} = 470\text{ }\Omega$.

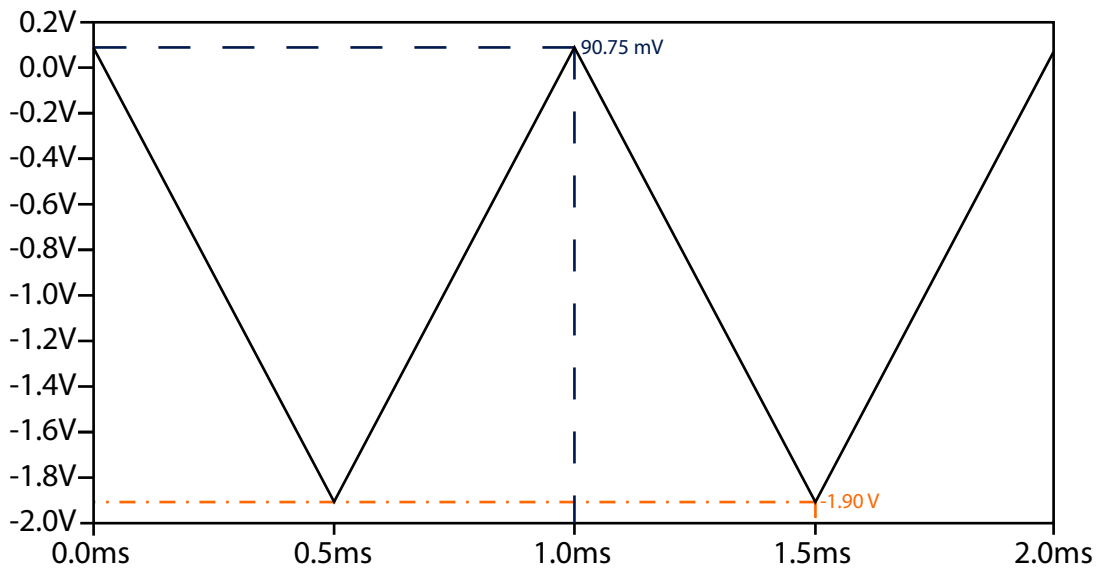
2 Simulación y cálculos teóricos.

2.1 Circuito 1. Valores de la tensión de salida.

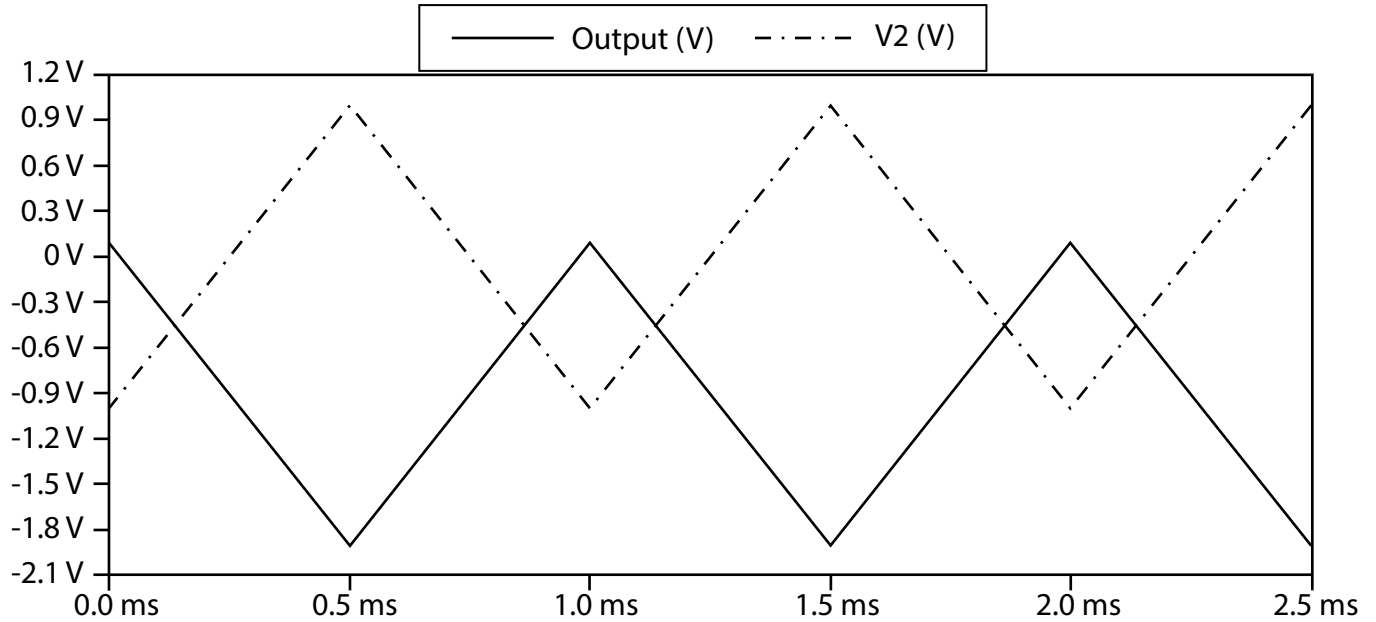
Para determinar los valores máximos y mínimos podemos usar la siguiente gráfica de simulación. Obtenemos que $V_{min} = -1.90\text{ V}$ y $V_{max} = 90.75\text{ mV}$ con la ayuda de LTSpice.

El valor promedio de una señal triangular se deduce de la fórmula:

$$V_{medio} = \frac{V_{min} + V_{max}}{2} = \frac{-1.90 + 0.9075}{2} = -0.49625\text{ V} \simeq -0,5\text{ V}$$



2.2 Circuito 1. Diferencia de fase.



Se puede comprobar fácilmente que el período de la función de onda es 1ms, y teniendo en cuenta que el desfase es de 0.5ms, quiere decir que es de la mitad de un período, es decir π radianes.

2.3 Circuito 1. Comparación cálculo teórico - simulación.

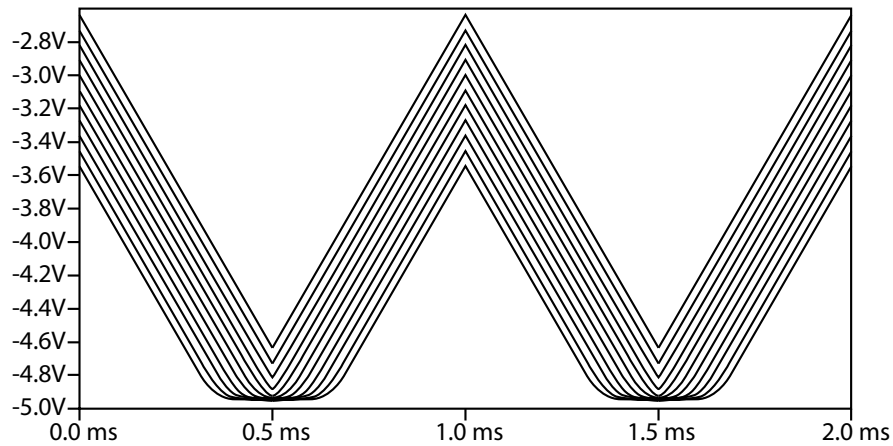
Al existir dos fuentes de distinta frecuencia utilizaremos el principio de superposición.

En primer lugar cortocircuitaremos la fuente de corriente alterna. Se ve que $V_- = V_+$ y $I_- = I_+ = 0$. Además: $V_A = V_B \Rightarrow V_{AB} = 0 \Rightarrow I_{R1} = 0$. Por otro lado: $V_A = V_B \Rightarrow 2 - I_1 R_2 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{2}{2200} = 9,1 \cdot 10^{-4} A$. $\Rightarrow V_{Output} = -I_1 R_3 = -0,91V$

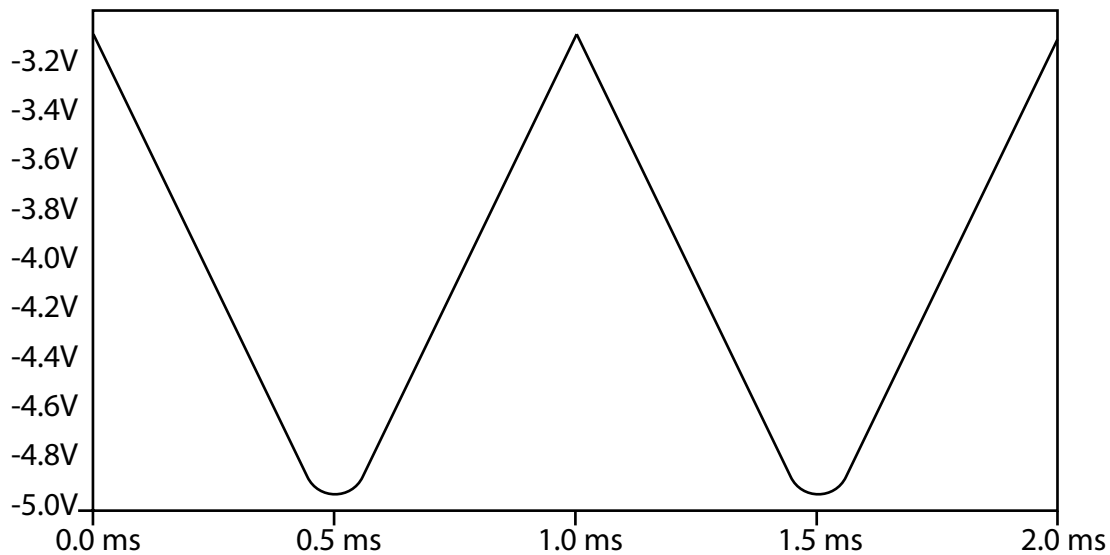
Cortocircuitando la fuente de corriente continua obtenemos que $V_A = V_B \Rightarrow V_{AB} = 0 \Rightarrow I_{R2} = 0$. Entonces $V_2 - I_1 R_1 = 0 \Rightarrow I_1 = \frac{V_2}{1000} \Rightarrow V_{Output} = -I_1 \cdot 1000 = -V_2$. Podemos deducir que $max V_{Output} = 1$ y $min V_{Output} = -1$ por tanto, $V_{Output}^{Total} = -0,91 - V_2$, tomando los valores extremos llegamos a la conclusión de que el valor promedio es $\frac{0,91-1,91}{2} = -0,5 V$.

2.4 Circuito 1. Rango de valores de V1 sin saturación.

Vamos a simular el circuito con V1 variable entre 8 y 10 V. Podemos ver que alrededor de los valores intermedios la señal triangular comienza a achatarsse, lo que se debe a que está alcanzando el valor de la saturación.

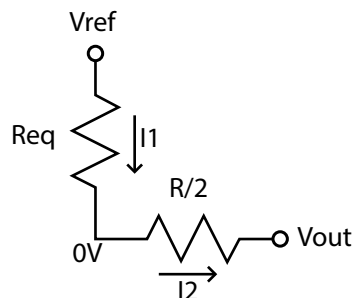


Observamos que si mostramos la gráfica para 9V la señal de salida ya no es estrictamente triangular. Concluimos entonces con que los valores a los que V1 alcanza la saturación son $V_1 = 9$ y -9 V.



2.5 Circuito 2. Cálculo de V_{output} teórico.

Suponiendo que el amplificador operacional U1 sea ideal y agrupando las resistencias que nos servirán para el selector de bits en R_{eq} en función de los bits ($b_3b_2b_1b_0$) obtenemos el siguiente circuito equivalente:



Observamos que $I_1 = I_2$. Calculamos las expresiones para I_1 e I_2 .

$$I_1 = \frac{V_{ref}}{R_{eq}} = \frac{-1}{R_{eq}}; I_2 = \frac{-V_{output}}{\frac{R}{2}} \Rightarrow V_{output} = \frac{R}{2R_{eq}}.$$

R_{eq} en función de los bits es igual a:

$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{b3}{R} + \frac{b1}{2R} + \frac{b2}{4R} + \frac{b0}{8R}} \Rightarrow V_{output} = \frac{1}{2} R \left(\frac{b3}{R} + \frac{b1}{2R} + \frac{b2}{4R} + \frac{b0}{8R} \right) \text{ por tanto :}$$

$$V_{output} = \frac{1}{2} \left(b3 + \frac{b1}{2} + \frac{b2}{4} + \frac{b0}{8} \right)$$

Se muestran los resultados para las distintas combinaciones de bits:

| <i>bits</i> | $V_{output}(V)$ |
|-------------|-----------------|
| 0000 | 0 |
| 0001 | 0,0625 |
| 0010 | 0,125 |
| 0011 | 0,1875 |
| 0100 | 0,25 |
| 0101 | 0,3125 |
| 0110 | 0,375 |
| 0111 | 0,4375 |
| 1000 | 0,5 |
| 1001 | 0,5625 |
| 1010 | 0,625 |
| 1011 | 0,6875 |
| 1100 | 0,75 |
| 1101 | 0,8125 |
| 1110 | 0,875 |
| 1111 | 0,9375 |

3 Datos y resultados experimentales.

Las tablas de mediciones se encuentran en el apartado 3.1. En esta práctica no se pedía representar ninguna gráfica, sin embargo, se añade una gráfica comparativa entre las tensiones de salida del amplificador para el ejercicio 2, comparando valores teóricos y experimentales.

3.0.1 Circuito 1. Valores de la tensión de salida. Desfase.

| <i>Valor maximo (V)</i> | <i>Valor minimo (V)</i> | <i>Valor medio (V)</i> | <i>Desfase (μs)</i> | <i>Desfase (rad)</i> |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| 0,08 | -1,84 | -0,846 | 500 | π |

3.0.2 Circuito 1. Principio de cortocircuito virtual.

| <i>Valor maximo (mV)</i> | <i>Valor minimo (mV)</i> | <i>Valor medio (mV)</i> |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 4,0 | -4,0 | 0,380 |

Observamos que el valor medio no se corresponde exactamente con $\frac{V_{max}+V_{min}}{2}$. Esto se debe a que la medida del osciloscopio no es lo suficientemente fina como para detectar las variaciones del máximo y el mínimo. De esta forma comprobamos que debido a que el valor medio no es cero, $V_- \neq 0$, por tanto comprobamos la no idealidad del amplificador. Sin embargo, teniendo esto en cuenta podemos afirmar que $V_+ \simeq V_-$ debido a que la variación es muy pequeña, con lo que se cumple el principio.

3.0.3 Circuito 1. Valores máximo y mínimo para V1 sin saturación del AO.

Tras ir aumentando V_1 podemos comprobar como la señal V_{output} comienza a achatarse alrededor de $V_1 \sim 4,4V$ y para $V_1 = 5V$ el amplificador se encuentra claramente saturado.

Para valores negativos de V_1 comprobamos que la señal de salida comienza a achatarse a $V_1 \sim -7,1V$ y para $V_1 = -7,3V$ el amplificador se encuentra claramente saturado.

3.0.4 Circuito 1. Tensiones de saturación del AO.

Los valores de V_{output} para los valores extremos de saturación son:

| V_1 (V) | $\min V_{output}$ (V) | $\max V_{output}$ (V) | $\text{medio } V_{output}$ (V) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 4,4 | -2,82 | -0,940 | -1,91 |
| -7,1 | 2,12 | 4,06 | 3,01 |

3.0.5 Circuito 2. Tensión de salida en función de bits.

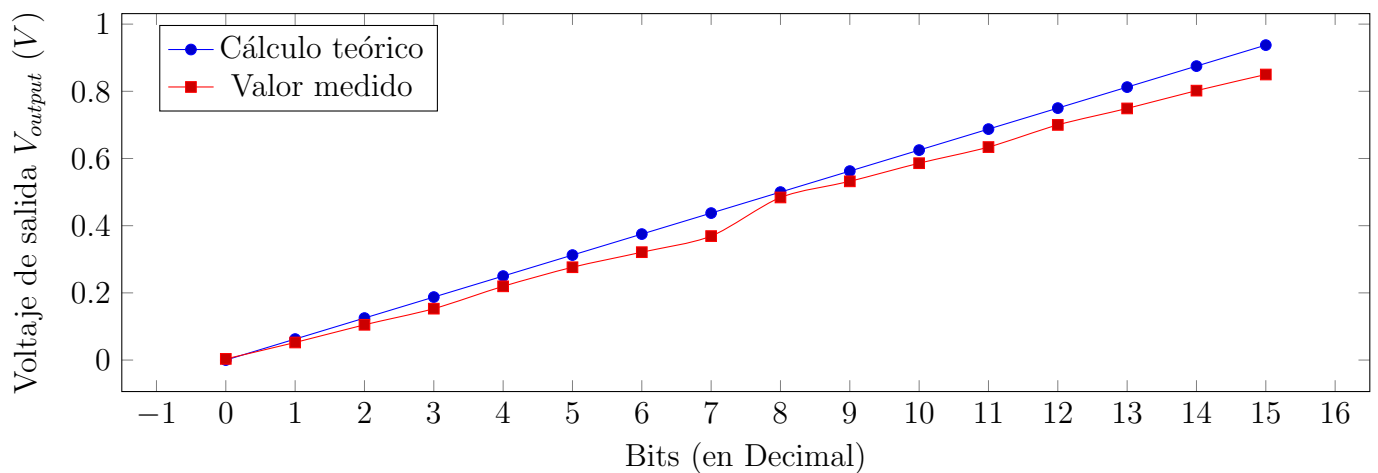
La tabla de las distintas mediciones se encuentra en la sección 3.1. Como se comentó anteriormente, los valores se obtienen para resistencias de valor: $R = 1 k\Omega$, $2R = 2.2 k\Omega$, $4R = 4.7 k\Omega$, $8R = 10 k\Omega$, $\frac{R}{2} = 470 \Omega$.

3.1 Tablas.

Tabla del valor de V_{output} para las distintas configuraciones de bits.

| <i>bits</i> | $V_{output}(V)$ |
|-------------|-----------------|
| 0000 | 0,0035 |
| 0001 | 0,0523 |
| 0010 | 0,105 |
| 0011 | 0,153 |
| 0100 | 0,2195 |
| 0101 | 0,2763 |
| 0110 | 0,3211 |
| 0111 | 0,369 |
| 1000 | 0,484 |
| 1001 | 0,532 |
| 1010 | 0,586 |
| 1011 | 0,634 |
| 1100 | 0,700 |
| 1101 | 0,749 |
| 1110 | 0,802 |
| 1111 | 0,850 |

3.2 Gráficas.



4 Discusión y conclusiones.

En esta sección se disponen las comparaciones entre los valores experimentales y los teóricos. En primer lugar podemos observar como los valores máximos y mínimos de la tensión de salida en el montaje experimental son menores (en valor absoluto) que los simulados. Esto se debe a que el amplificador operacional no es ideal, por tanto habrá corriente que se *escapará* por el terminal positivo del amplificador, que está conectado a tierra.

Por otro lado el desfase entre las señales coincide exactamente con el simulado, siendo éste $\pi \text{ rad}$. Finalmente los valores de saturación difieren en gran medida con lo simulado. Sobre todo con el voltaje positivo. Esto puede deberse a que el amplificador operacional no es ideal.

Por último, en el ejercicio 2 observamos variaciones en el voltaje de salida. Esto se debe a diversas cosas, como por ejemplo la no idealidad del amplificador operacional (lo que hace que se pierda intensidad por el mismo), o que hemos aproximado los valores de las resistencias a otras bastante distantes (500 - 470, 2000 - 2200, 4000 - 4700 y 8000 - 10000).