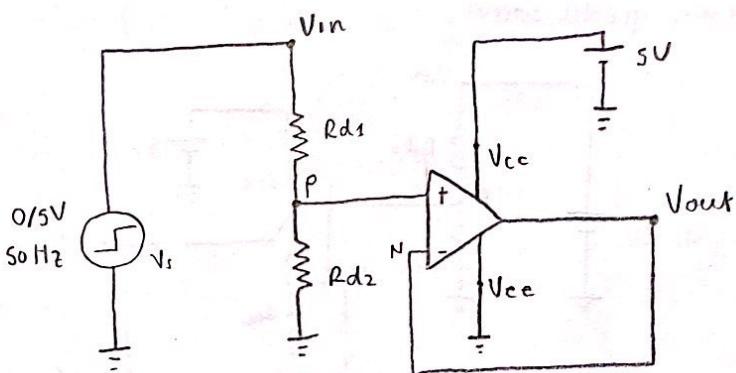


Preinforme 8: Amplificadores Operacionales. Config. resistivas

1. Siguiendo el esquemático de la figura 1, formado por un divisor de voltaje y un seguidor de corriente de voltaje, releeccione e indique valores a usar tal que obtenga la salida:

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{10} \quad (1)$$

Asegúrese de tener las resistencias escogidas en sus materiales.

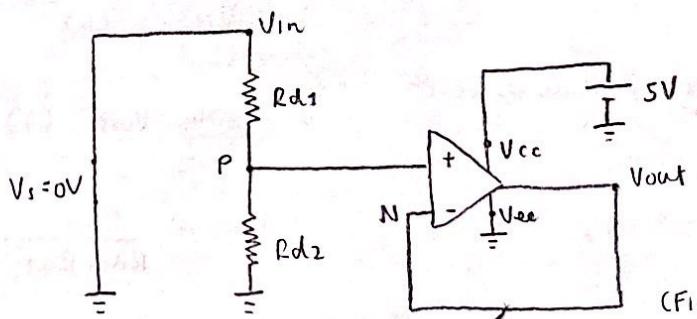


(Figura 1)

Como tenemos una fuente AC (señal cuadrada de 0/5v), conviene estudiar las dos regiones de voltaje dadas por esta fuente.

• Para $V_s = 0V$:

Por intuición, podemos pensar que, aquí, no obtendremos mucha información sobre las resistencias que debemos usar en nuestro circuito. Veamos por qué. Aquí, el circuito de la figura 1 se convierte en,



(Figura 2)

podemos hacer un divisor de voltaje en el nodo P. Por la definición,

$$V_p = V_s \cdot \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}} \quad (2)$$

Como $V_s = 0V$, pues tenemos un corto circuito,

$$V_p = 0V \quad (3)$$

Ahora, analicemos la segunda parte del circuito. La idea de este es mantener la señal de voltaje que el amplificador operacional recibe en su terminal positiva. Si la señal recibida es 0V, el seguidor de voltaje, en V_{out} , nos dará 0V también.

Como vemos, el seguidor de voltaje tiene retroalimentación negativa dada por el cable que (1)

necta al nodo N con el nodo Vout por regla de voltaje virtual.

$$V_N = V_p = 0 \quad (3)$$

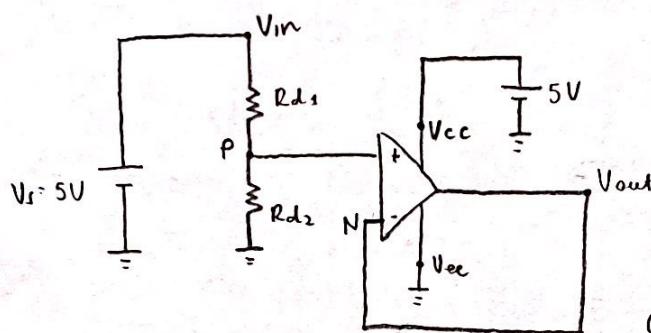
Ahora es fácil darnos cuenta que, de hecho, el nodo N es el mismo nodo Vout. Entonces,

$$V_N = V_p = V_{out} = 0 \quad (4)$$

Como intuimos, $V_{out} = 0$ y, como nos dimos cuenta, los valores de las resistencias no las usamos para nada. Consideremos ahora, el caso en que $V_s = 5V$

• para $V_s = 5V$:

El circuito de la figura 1 nos queda como:



(Circuito 3)

para la parte izquierda del circuito, usando divisor de voltaje de la ecuación (2)

$$V_p = 5V \cdot \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}} \quad (5)$$

Ahora, haciendo el análisis de seguidor de voltaje, este es el voltaje que debemos medir en V_{out} . Como hay retroalimentación negativa dada por el cable conectado entre el nodo N y el nodo V_{out} ,

$$V_p = V_N \quad (6)$$

como el nodo N es, en sí, el nodo V_{out} ,

$$V_p = V_N = V_{out} \quad (7)$$

Por lo tanto,

$$V_{out} = \frac{R_{d1}}{R_{d2} + R_{d1}} \cdot 5V \quad (8)$$

Como esperábamos. Buscamos encontrar un voltaje V_{out} que sea 1/10 del voltaje V_{in} . Con $V_{in} = 5V$, igualando (1) y (8),

$$\frac{5V}{10} = 5V \cdot \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}}$$

$$\frac{1}{10} = \frac{R_{d1}}{R_{d1} + R_{d2}} \quad (9)$$

$$R_{d1} + R_{d2} = 10R_{d1}$$

$$R_{d2} = 10R_{d1} - R_{d1}$$

$$R_{d2} = 9R_{d1} \quad (10)$$

Buscamos, entonces, valores de resistencias que satisfagan esta igualdad.

Tenemos $R_{d1} = 220 \Omega$.

En (10).

$$R_{d2} = 9(220 \Omega)$$

$$R_{d2} = 1980 \Omega \approx 2K\Omega \quad (11)$$

esta resistencia es sencilla de elaborar con dos resistencias de $1K\Omega$ en serie y ambas satisfacen la desigualdad $100 \Omega < R_{d2} < 200K\Omega$, con $i=1,2$.

Hice un pequeño programa en Python para calcular, dada una resistencia fija (las de la cogota),

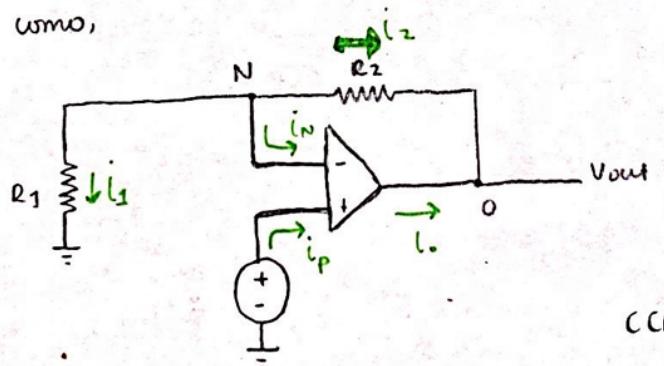
calcular R_{d2} asociada:

```
R_d1 = 100000 Ohms, R_d2 = 900000 Ohms
R_d1 = 100 Ohms, R_d2 = 900 Ohms
R_d1 = 10000 Ohms, R_d2 = 90000 Ohms
R_d1 = 1000 Ohms, R_d2 = 9000 Ohms
R_d1 = 2200 Ohms, R_d2 = 19800 Ohms
R_d1 = 220 Ohms, R_d2 = 1980 Ohms
R_d1 = 22000 Ohms, R_d2 = 198000 Ohms
R_d1 = 4700 Ohms, R_d2 = 42300 Ohms
R_d1 = 470 Ohms, R_d2 = 4230 Ohms
R_d1 = 47000 Ohms, R_d2 = 423000 Ohms
```

De estas, sin salirse del rango, otra que puede ser fácil usar es $R_{d1} = 470 \Omega$, $R_{d2} = 4230 \Omega$: una resistencia de $2.2 K\Omega$ en serie con dos de $1K\Omega$. Podemos "ignorar" los 30Ω o hacer 33Ω con 3 resistencias de 100Ω en serie.

2. Haciendo uso de un amplificador operacional realice los cálculos para obtener un amplificador no inversor donde obtenga una ganancia $G=3$. Indique los valores de las resistencias que usó.

Un amplificador no inversor es como,



(Circuito 4)

Como vimos, tenemos retroalimentación negativa dada por R_2 .

Haciendo nodos en N,

$$0 = i_N + i_1 + i_2 \quad (12)$$

Por ley de corrientes de entrada nulas ($N=0$).

$$0 = i_1 + i_2$$

Haciendo ley de Ohm,

$$0 = \frac{V_N - 0}{R_1} + \frac{V_N - V_{out}}{R_2}$$

$$0 = \frac{V_N}{R_1} + \frac{V_N}{R_2} - \frac{V_{out}}{R_2}$$

$$V_{out} = V_N R_2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$V_{out} = V_N R_2 \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right)$$

$$V_{out} = V_N \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1} \right)$$

$$V_{out} = V_N \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \quad (13)$$

Ahora, por regla de nodo virtual, $V_N = V_P$. Con lo que V_P estará conectado a la terminal positiva de V_i , $V_P = V_i$. En (13), con $V_N = V_P = V_i$,

$$V_{out} = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = G V_i \quad (14)$$

Donde la ganancia del circuito está dada por,

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad (15)$$

En este caso, queremos una ganancia de 3. Por lo tanto,

$$3 = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = 2$$

$$R_2 = 2 R_1 \quad (16)$$

Dos valores de resistencias que podemos usar son:

$$\begin{cases} R_1 = 1 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 2 \text{ k}\Omega \end{cases} \quad (17)$$

con R_2 formada por 2 resistencias de $1 \text{ k}\Omega$ en serie
Per otra configuración más sencilla puede ser.

$$\begin{cases} R_1 = 2.2 \text{ k}\Omega \\ R_2 = 4.4 \text{ k}\Omega \end{cases} \quad (18)$$

Con $R_2 \rightarrow$ 2 resistencias de $2.2 \text{ k}\Omega$ en serie, o 1 de $2.2 \text{ k}\Omega$, 2 de $1 \text{ k}\Omega$ y 2 de 100Ω en serie.
Haciendo el programa en python punto2.py,

```
R_1 = 100000 Ohms, R_2 = 200000 Ohms
R_1 = 100 Ohms, R_2 = 200 Ohms
R_1 = 10000 Ohms, R_2 = 20000 Ohms
R_1 = 1000 Ohms, R_2 = 2000 Ohms
R_1 = 2200 Ohms, R_2 = 4400 Ohms
R_1 = 220 Ohms, R_2 = 440 Ohms
R_1 = 22000 Ohms, R_2 = 44000 Ohms
R_1 = 4700 Ohms, R_2 = 9400 Ohms
R_1 = 470 Ohms, R_2 = 940 Ohms
R_1 = 47000 Ohms, R_2 = 94000 Ohms
```

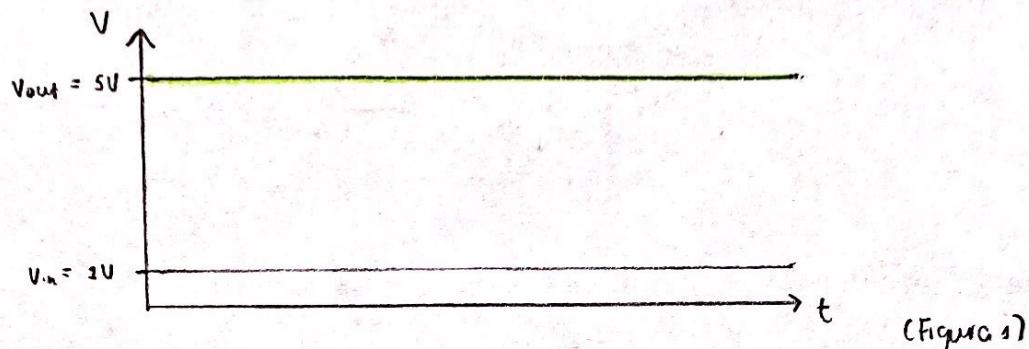
Son los valores de R_2 que podemos obtener fijando R_1 con las resistencias que tenemos del kit ^{ESAI}

en casa.

La forma esperada de la señal de salida, con $G = 5$, es obtener una salida que corresponde a una amplificación de 5 veces el voltaje de la señal de entrada.

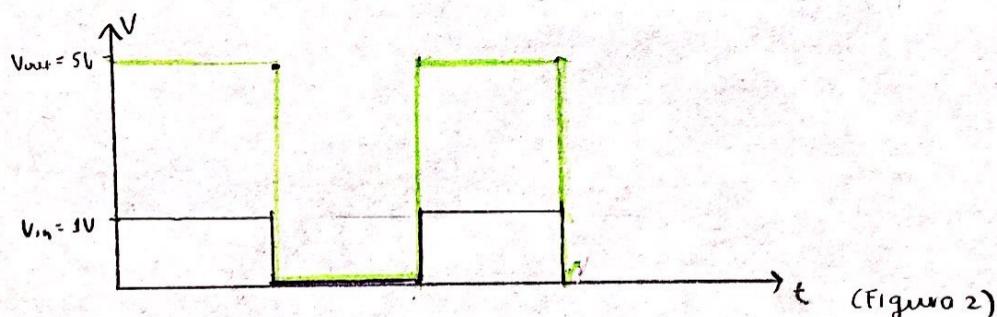
Analicemos 3 casos: una señal DC con $V_i = 1V$, una señal cuadrada con $V_i = 0/1V$ y una señal sinusoidal de amplitud 1V.

Caso 1: Claramente, $V_{out} = 5V_{in} = 5(1V) = 5V$. Entonces,



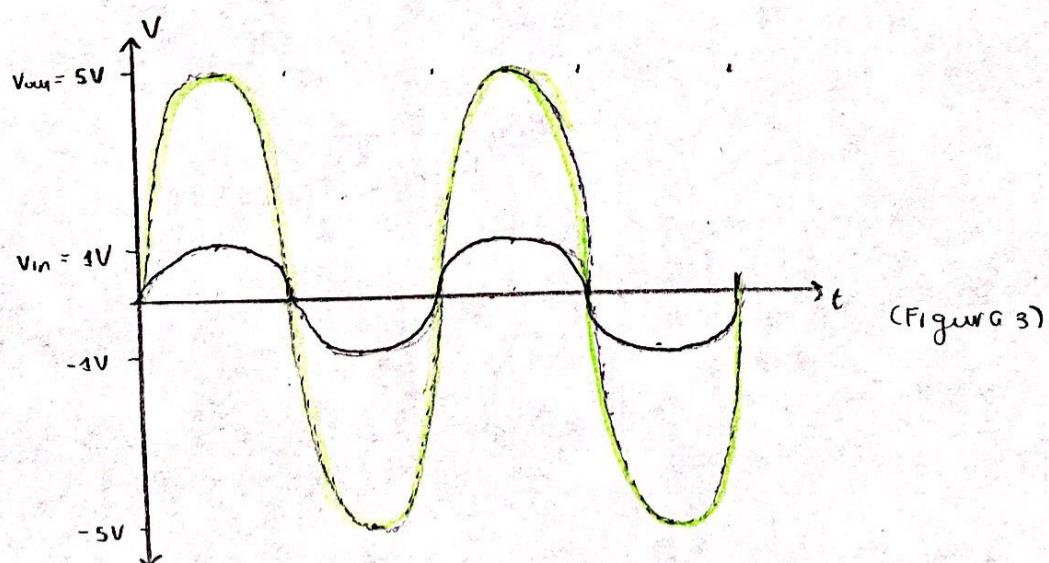
(Figura 1)

Caso 2: Para la parte de 0V, $V_{out} = 5(0V) = 0V$. Para la parte con 1V, $V_{out} = 5(1) = 5V$.



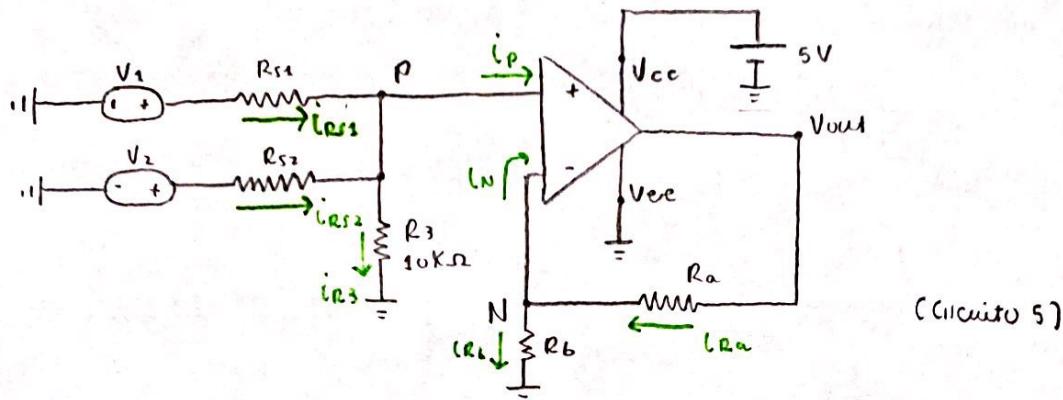
(Figura 2)

Caso 3: $V_{out} = 5V_{in} = 5(\sin(\omega t)) = 5\sin(t)$ con $\omega = 1$ por simplicidad.



(Figura 3)

3. De acuerdo al circuito de (circuito 5), encuentre una expresión para la señal de salida V_{out} en términos de las señales de entrada V_1, V_2 y de las resistencias R_{S1}, R_{S2}, R_a y R_b . ¿Cuál es la ganancia con respecto a cada una de estas entradas? ¿Cómo sería la forma esperada de la señal de salida?



para este circuito, lo primero que conviene es hacer nodos en P.

$$i_{RS1} + i_{RS2} = i_{R3} + i_P \quad (19)$$

Como vemos, el amp. op. tiene retroalimentación negativa dada por la resistencia R_a . Por lo tanto, por regla de corrientes de entrada nulas, $i_P = 0$. Entonces,

$$i_{RS1} + i_{RS2} = i_{R3} \quad (20)$$

por ley de Ohm,

$$\frac{V_1 - V_p}{R_{S1}} + \frac{V_2 - V_p}{R_{S2}} = \frac{V_p - 0}{R}$$

Despejando para V_p ,

$$\frac{V_1}{R_{S1}} + \frac{V_2}{R_{S2}} = \frac{V_p}{R} + \frac{V_p}{R_{S1}} + \frac{V_p}{R_{S2}}$$

$$\frac{R_{S2}V_1 + R_{S1}V_2}{R_{S1}R_{S2}} = V_p \left(\frac{1}{R_{S1}} + \frac{1}{R_{S2}} + \frac{1}{R} \right)$$

$$V_p = \left(\frac{R_{S2}V_1 + R_{S1}V_2}{R_{S1}R_{S2}} \right) \left(\frac{1}{R_{S1}} + \frac{1}{R_{S2}} + \frac{1}{R} \right)^{-1}$$

$$V_p = \left(\frac{V_1R_{S2} + V_2R_{S1}}{R_{S1}R_{S2}} \right) \left(\frac{R_{S2}R_3 + R_{S1}R_3 + R_{S1}R_{S2}}{R_{S1}R_{S2}R_3} \right)^{-1}$$

$$V_p = \frac{V_1R_{S2} + V_2R_{S1}}{R_{S1}R_{S2}} \left(\frac{R_3}{R_{S1}R_{S2} + R_{S2}R_3 + R_{S1}R_3} \right)$$

$$V_p = \frac{R_3(V_1R_{S2} + V_2R_{S1})}{R_{S1}R_{S2} + R_{S2}R_3 + R_{S1}R_3} \quad (21)$$

Ahora, haciendo nodos en N,

$$I_{Ra} = I_{Rb} + I_N \quad (22)$$

Como hay retroalimentación negativa, por regla de corrientes de entrada nulas, $I_N = 0$. Haciendo Ohm,

$$\frac{V_N - V_{out}}{R_a} = \frac{V_N - 0}{R_b}$$

Despejando para V_{out} ,

$$\frac{V_N}{R_a} - \frac{V_{out}}{R_a} = \frac{V_N}{R_b}$$

$$V_{out} = R_a V_N \left(\frac{1}{R_a} + \frac{1}{R_b} \right)$$

$$V_{out} = R_a V_N \left(\frac{R_a + R_b}{R_a R_b} \right)$$

$$V_{out} = V_N \left(\frac{R_a + R_b}{R_b} \right) \quad (23)$$

Ahora, por regla de corto virtual, $V_N = V_p$. Usando (21) en (23),

$$V_{out} = \left(\frac{R_a + R_b}{R_b} \right) \left(\frac{R_3 (V_1 R_{S2} + V_2 R_{S1})}{R_{S1} R_{S2} + R_{S2} R_3 + R_{S1} R_3} \right) \quad (24)$$

Así,

$$V_{out} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{V_1 R_{S2} + V_2 R_{S1}}{R_{S1} R_{S2} + R_{S2} R_3 + R_{S1} R_3} \right) \quad (25)$$

* La ganancia con respecto a V_1 :

$$\frac{V_{out}}{V_1} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{R_{S2} + R_{S1}(V_2/V_1)}{R_{S1} R_{S2} + R_{S2} R_3 + R_{S1} R_3} \right) \quad (26)$$

Haciendo $R_F = R_{S1} R_{S2} + R_{S2} R_3 + R_{S1} R_3$,

$$\frac{V_{out}}{V_1} = \frac{R_3}{R_F} \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(R_{S2} + \frac{V_2}{V_1} R_{S1} \right) \quad (27)$$

* La ganancia con respecto a V_2 :

$$\frac{V_{out}}{V_2} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{R_{S2}(V_1/V_2) + R_{S1}}{R_{S1} R_{S2} + R_{S2} R_3 + R_{S1} R_3} \right)$$

Usando R_F ,

$$\frac{V_{out}}{V_2} = \frac{R_3}{R_F} \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{V_1 R_{S2} + R_{S1}}{V_2} \right) \quad (28)$$

Para ver el comportamiento de la señal de salida, volvamos a (25) y sepáremos los términos:

$$V_{out} = V_1 \left[\left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \frac{R_{s2} R_3}{R_{s1} R_{s2} + R_{s2} R_3 + R_{s1} R_3} \right] + V_2 \left[\left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \frac{R_{s1} R_3}{R_{s1} R_{s2} + R_{s2} R_3 + R_{s1} R_3} \right]$$

$$V_{out} = G_1 V_1 + G_2 V_2 \quad (29)$$

Como vemos, el circuito suma las señales con ganancias G_1 y G_2 dadas por, considerando la definición de R_F dada previamente,

$$G_1 \equiv \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \frac{R_{s2} R_3}{R_F} \quad (30)$$

$$G_2 \equiv \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \frac{R_{S2} R_3}{R_F} \quad (31)$$

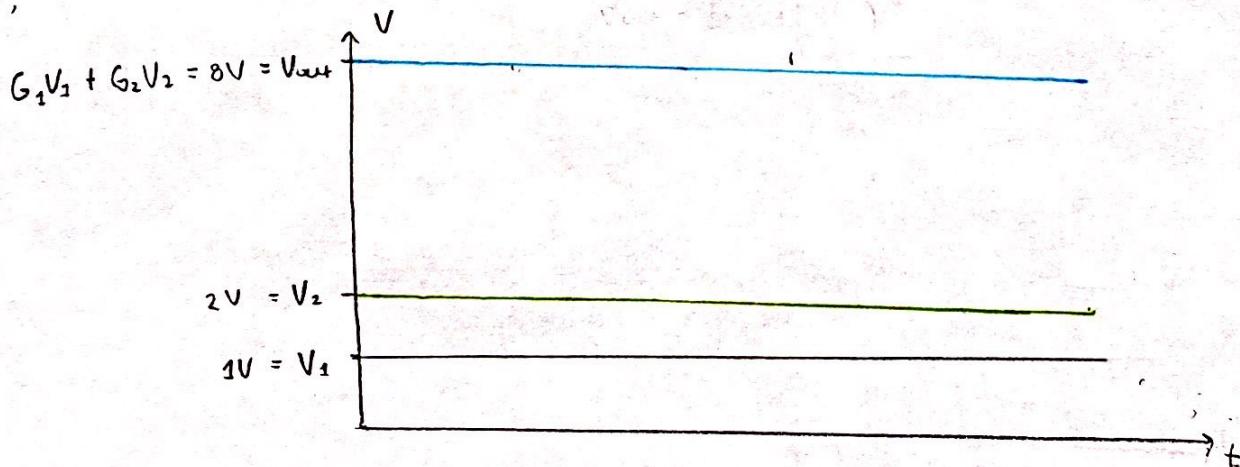
$$\text{Cin } R_f = R_{S1}R_{S2} + R_{S2}R_3 + R_{S1}R_3.$$

El comportamiento de la señal esperada, dador V_1 y V_2 dos señales DC cualesquiera (son DC.vr circuito 5), con $V_1 = 1V$, $V_2 = 2V$, supongamos $G_1 = 2$, $G_2 = 3$.

$$V_{out} = 2(1V) + 3(2V)$$

$$V_{out} = 2V + 6V = 8V$$

Entonces,



4. Se seleccionen valores de resistencias tal que obtenga:

$$V_{out} = V_1 + V_2$$

Lo que queremos es tener $G_1 = G_2 = 1$

Por simplicidad, escogamos $R_{S1} = R_{S2} = R$.

En (25),

$$V_{out} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{V_1 R + V_2 R}{R^2 + R_3 R + R_3 R} \right)$$

$$V_{out} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{R(V_1 + V_2)}{R^2 + 2R_3 R} \right)$$

$$V_{out} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{R(V_1 + V_2)}{R(R + 2R_3)} \right)$$

$$V_{out} = R_3 \left(1 + \frac{R_a}{R_b} \right) \left(\frac{V_1 + V_2}{R + 2R_3} \right)$$

Si tomamos $R_3 = R_b$,

$$V_{out} = R_3 \left(\frac{R_b + R_a}{R_b} \right) \left(\frac{V_1 + V_2}{R + 2R_b} \right)$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_b + R_a}{R + 2R_b} \right) (V_1 + V_2) \quad (29)$$

Necesitamos que el 1º factor en parentesis sea 1. Entonces,

$$\frac{R_b + R_a}{R + 2R_b} = 1$$

$$R_b + R_a = R + 2R_b$$

$$R_a = R + R_b \quad (30)$$

del enunciado

Del circuito ^ tenemos que, necesariamente, $R_3 = R_b = 10\text{ k}\Omega$ (Por la suposición).

Si tomamos $R_{S1} = R_{S2} = R = 1\text{ k}\Omega$,

$$R_a = 1\text{ k}\Omega + 10\text{ k}\Omega$$

$$R_a = 11\text{ k}\Omega \quad (31)$$

que se puede formar fácilmente usando las resistencias de $1\text{ k}\Omega$ y $10\text{ k}\Omega$ en serie
Por lo tanto, tenemos:

$R_{S1} = 1\text{ k}\Omega$	$R_a = 11\text{ k}\Omega$
$R_{S2} = 1\text{ k}\Omega$	$R_b = 10\text{ k}\Omega$
$R_3 = 10\text{ k}\Omega$	