

# Capítulo 9

## Funcionamiento en CD: Polarización, Desvíos, y Derivas

El OP-AMP tiene usos para procesar señales de CD, CA o combinaciones de estas

### Características de error

- Corrientes de polarización en la in
- Desvíos de la corriente in
- Desvíos del voltaje in
- Derivas

### Problemas

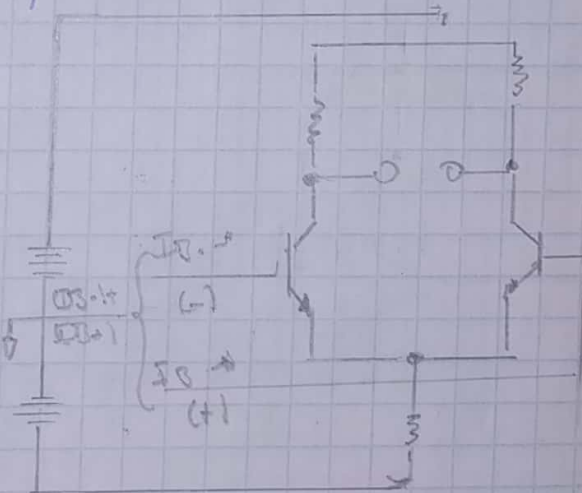
- Respuesta en frecuencia
- Velocidad de respuesta

## Corrientes de Polarización de Entrada

Los OP-AMP deben tener una polarización correcta antes de que se le aplique una señal de voltaje

Las terminales de entrada NO conducen corriente de la señal o de polarización

La corriente de polarización en las entradas  $(-)$  y  $(+)$  por lo general no es igual a la corriente de entrada



$$I_B = \frac{I_{B+} + I_{B-}}{2}$$

## Desvío de las corrientes de entrada

$$I_{OS} = I_{B+} - I_{B-}$$

La  $I_{OS}$  característica es inferior al 2.5% de  $I_B$  para una corriente de polarización promedio

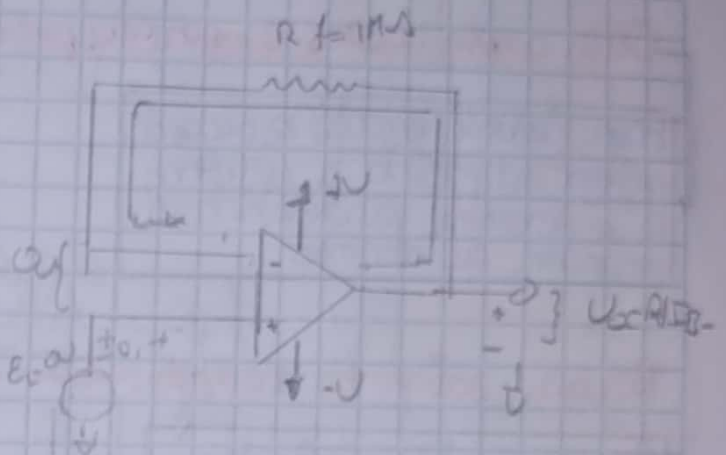
## Efectos de las corrientes de Polarización en el voltaje de salida

Simplificación

Los efectos que producen en  $V_o$  otras características del amplificador operacional se desprecian por ser menores.

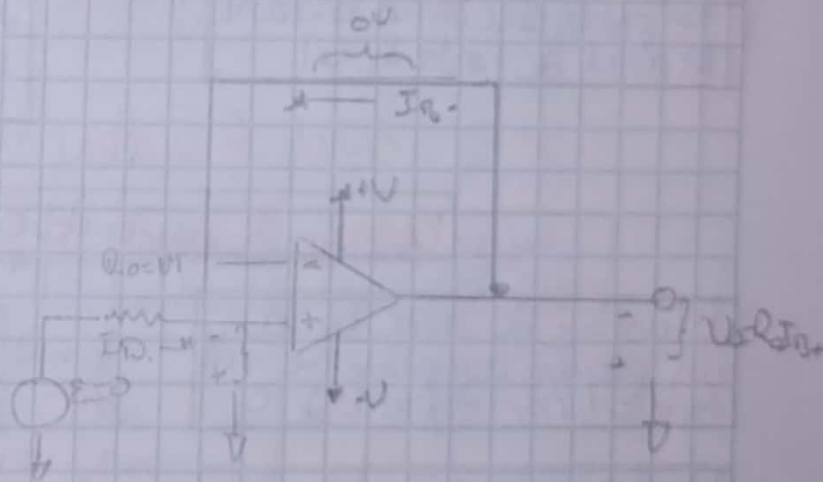
### Efecto de una corriente de polarización en la entrada (-)

- El voltaje de salida debe ser igual a 0V en los circuitos
- La retroalimentación negativa, la hace que el voltaje diferencial de entrada sea 0V
- La fuente de señal  $E_i$  debe tener una trayectoria de ida y vuelta.



### Efecto de la corriente de polarización de la entrada (+)

- $E_i = 0V$ , idealmente  $V_o$  debe ser igual a 0V
- La corriente positiva de polarización de la entrada  $I_{B+}$
- En el caso de retroalimentación la  $R_f = 0$ ,  $V_o = R_o I_{B+}$  la corriente  $I_{B+}$  la corriente  $I_{B+}$  tal que la salida sea negativa.



### Efectos de la desviación de corriente en el voltaje de salida

#### Seguidor de Voltaje compensado por corriente

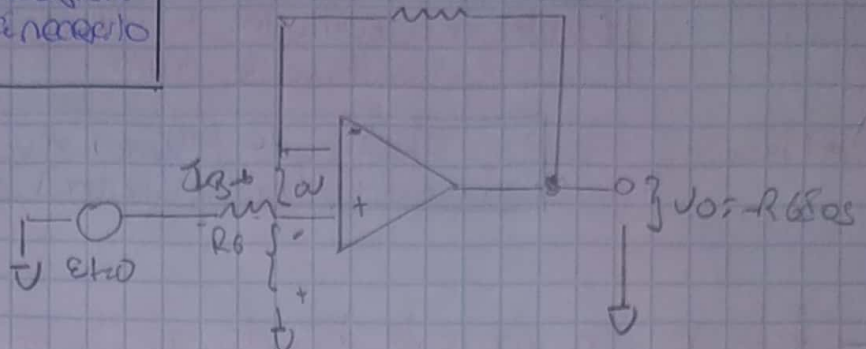
- Si  $I_{B+} \approx I_{B-}$  Siempre fueren iguales sería posible compensar los efectos que producen en  $V_o$



"Más se estima lo que con más trabajo se gana"

Adaptación

El valor de  $I_{bias}$  es 2510 de  $I_{Q1}$ . Si el valor de  $I_{bias}$  es grande será necesario tener un  $AMP$



### Otros amplificadores compensados por corriente

Para reducir errores en  $Q_{offset}$  agregar al circuito la resistencia  $R$  se denomina resistencia compensadora de corriente

$$R = R_1 \parallel R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

### Resumen sobre la compensación de la corriente de polarización

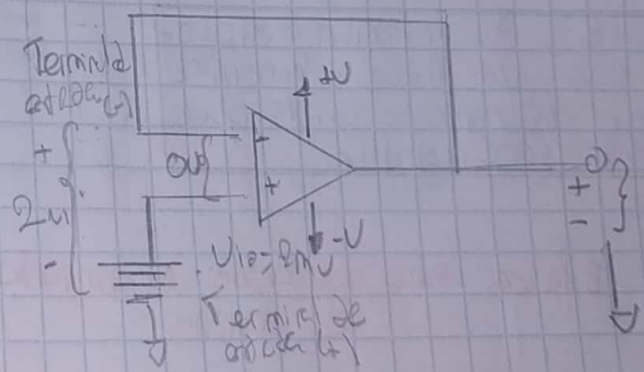
Siempre agregue una resistencia  $R$  para compensar la corriente de polarización en serie con el terminal de entrada (+)

La resistencia de  $e_d$  que se ve desde la entrada (+) a tierra debe ser igual a la resistencia de  $e_d$  que se ve desde la entrada (-) a tierra

### Voltage de Desvío de Entrada

El voltage de salida  $V_o = A_v$  y un pequeño componente de voltage de error diferente de 0

El efecto neto se realiza por un voltage pequeño de  $e_d$  en serie con una de las terminales de entrada



### Efectos de Voltage de desvío de entrada en el voltage de salida

$V_{io}$  y el gran valor de la ganancia en lazo abierto de  $AMP$  actúan para llevar a  $V_o$  a la saturación negativa

La magnitud y la polaridad de  $V_{io}$  varía de un amplificador operacional a otro

## Medición del voltaje de desvío de entrada

$E_i$  es el voltaje medido igual a  $0V$   
 $V_{i0}$  se comporta como una señal en serie con la entrada no inversora

$V_{i0}$  = error de voltaje debido a  $V_{i0}$

$$V_o = V_{i0} (1 + \frac{R_f}{R_i})$$

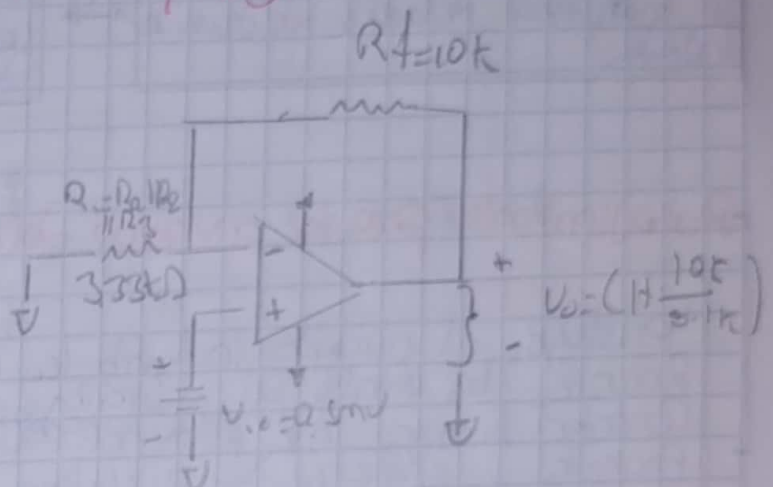
## Voltaje de desvío de entrada del auto sumador

Comparación entre la ganancia de señal y la ganancia del voltaje de desvío de entrada

El voltaje de desvío de entrada  $V_{i0}$  se multiplica por  $(1 + R_f/R_i)$

$V_{i0}$  se multiplica por un número más grande que la señal en cada entrada

El voltaje de desvío de entrada tiene una ganancia de 1 más el número de entradas



## Como no eliminar los efectos del voltaje de desvío

Añadir una offset al sumador para compensar el efecto de  $V_{i0}$

Para obtener un valor pequeño de  $E_i$  se usa un divisor de voltaje

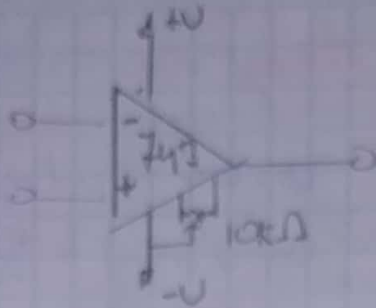
Cualquier resistencia conectada entre la entrada  $-I$  y tierra aumenta la ganancia de ruido

Anulación del efecto del voltaje de desvío y de las corrientes de polarización

## Diseño o selección de análisis

- Seleccionar una resistencia compensadora
- Crear un circuito que minimice los efectos del voltaje
- Siga el procedimiento de cancelación





Ajuste del voltaje de sesgo

## Circuitos para la medición del voltaje de sesgo

La hoja de datos contiene un gráfico de ajuste para el voltaje de sesgo de entrada

El fabricante solo provee las resistencias para compensar el voltaje de sesgo

## Procedimiento para la medición del voltaje de salida

- Construye el circuito incluyendo la resistencia compensadora
- Reduce las señales del generador
- Conectar carga a la terminal de salida
- Enfrenta y espera que se estabilice
- Conecta un voltímetro
- Variar la resistencia de ajuste
- Instalar las fuentes de señal y no toque la resistencia

## Deriva

La desviación de la corriente y el voltaje de sesgo cambia con el tiempo debido al envejecimiento de los componentes

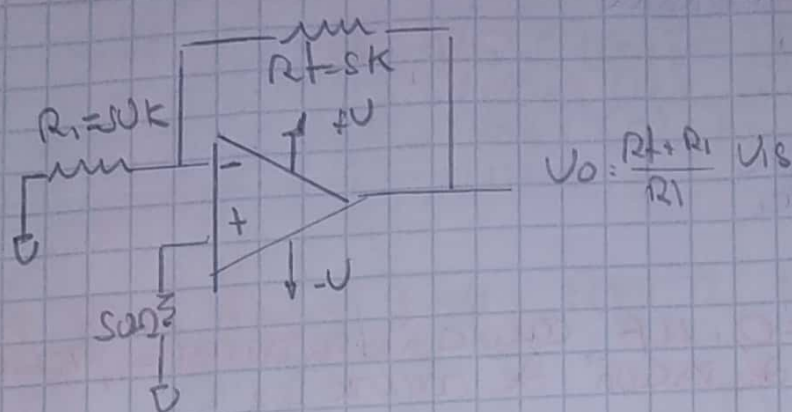
Los cambios en la resistencia de la corriente y del voltaje de sesgo a la temperatura constante, son en el término deriva

## Medición del Voltaje de Sesgo y las Corrientes de Polarización

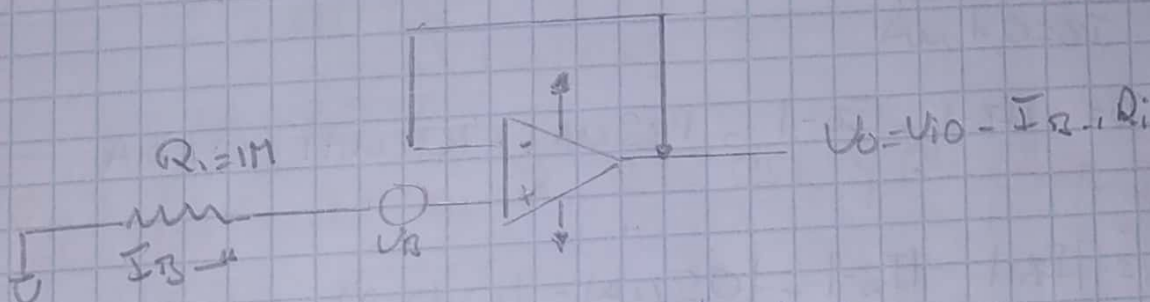
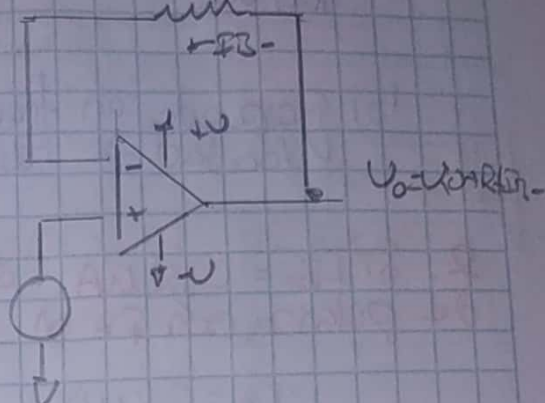
Con el objeto de medir  $V_{IO}$  y  $I_{IO}$  en los OP-AMP se recomienda utilizar el siguiente proceso

Procedimiento

1) Mide  $V_O$  con un voltímetro digital y calcule el voltaje de sesgo



$$V_{i0} = (R_f + R_1) / R_1 \cdot V_O = \frac{V_O}{101}$$



2) Para medir  $I_B$  mide  $V_O$  usando el valor  $V_{i0}$

$$I_B = \frac{V_O - V_{i0}}{R_f}$$

3) Para medir  $I_B$  mide  $V_O$

$$I_B = - \left( \frac{V_O - V_{i0}}{R_f} \right)$$

## Problemas

1. ¿Cuáles son las características de un amplificador operacional que normalmente tienen mayor efecto en el comportamiento de un amplificador de cd o de un amplificador de ca?



"Más se estima lo que con más trabajo se gana"

a) Corrientes de polarización en la entrada  
Deriva de la corriente de entrada  
Deriva de voltaje de entrada  
Deriva

b) Respuesta en frecuencia  
Velocidad de respuesta

2. Si  $I_{B+} = 0,2 \mu A$  e  $I_{B-} = 0,1 \mu A$  calcule a) la corriente promedio de polarización  $I_B$  b) la derivación de corriente  $I_{os}$

$$I_B = 0,2 \mu A$$

$$I_B = 0,1 \mu A$$

$$a) I_B = \frac{I_{B+}}{2} + \frac{I_{B-}}{2} = \frac{0,2 \mu A}{2} + \frac{0,1 \mu A}{2} = 0,15 \mu A$$

$$b) I_{os} = I_{B+} - I_{B-} = 0,2 \mu A - 0,1 \mu A = 0,1 \mu A$$

3. En el ejemplo 9-2  $V_o = 0,2V$ . Calcule  $I_{B-}$

$$V_o = 0,2V$$

$$I_{B-} = ?$$

$$I_{B-} = \frac{V_o}{R_f} = \frac{0,2V}{1 \mu A} = 0,2 \mu A$$

4. En el ejemplo 9-3  $V_o = -0,2V$ . Calcule  $I_{B+}$

$$V_o = -0,2V$$

$$R_G = 1 M\Omega$$

$$I_{B+} = -\frac{V_o}{R_G} = -\frac{-0,2V}{1 M\Omega} = 0,2 \mu A$$

5. El valor de  $I_{B-}$  es de  $0,2 \mu A$  en la figura 9-2 a). Calcule  $V_o$ .

$$I_{B-} = 0,2 \mu A$$

$$V_o = ?$$

$$R_f = 1 \mu\Omega$$

$$I_{B-} = \frac{V_o}{R_f} \quad *$$

$$V_o = (I_{B-})(R_f)$$

$$= (0,2 \mu A)(1 \mu\Omega)$$

$$= 0,2V$$

6. En la figura 9-4(a)  $R_f = R_6 = 100k\Omega$ ,  $I_{B1} = 0.3\mu A$  e  $I_{B2} = 0.2\mu A$ . Calcule  $V_o$ .

$$\begin{aligned} V_o &= -R_6 (I_{B1} - I_{B2}) \\ &= -(100k)(0.3\mu A - 0.2\mu A) \\ &= -(100k)(0.1\mu A) \\ &= -0.1V \end{aligned}$$

7. En la figura 9-4(b)  $R_f = R_1 = 25k\Omega$  y  $R = 12.5k\Omega$ .  $I_{os} = 0.1\mu A$ . Calcule  $V_o$ .

$$\begin{aligned} V_o &= -R_f (I_{B1} - I_{B2}) \\ &= -R_f I_{os} \\ &= -(25k)(0.1\mu A) \\ V_o &= -2.5mV \end{aligned}$$

8. En la figura 9-4(c)  $R_1 = R_f = 25k\Omega$  y  $R = 12.5k\Omega$ .  $I_{os} = 0.1\mu A$ . Calcule  $V_o$ .

$$\begin{aligned} V_o &= -R_f I_{os} \\ &= -(25k)(-0.1\mu A) \\ V_o &= +2.5mV \end{aligned}$$

9. En la figura 9-6(b)  $V_o = 200mV$ . Calcule  $V_{io}$ .

$$V_o = \left( 1 + \frac{R_f}{R_1} \right) V_{io}$$

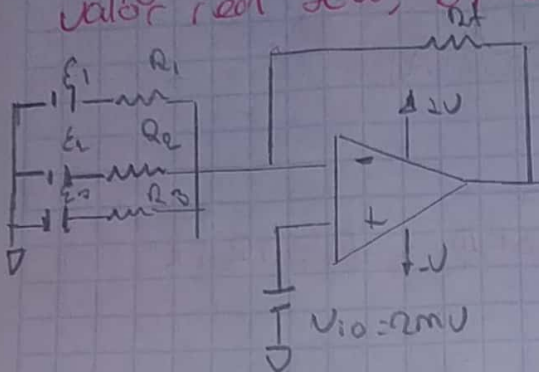
$$V_o = 1 + \frac{R_f}{R_1}$$

$$V_{io} = \frac{200mV}{1 + \frac{1k}{10k}}$$

$$V_{io} = 17.93mV$$



10. Las resistencias  $R_1, R_2, R_3$  y  $R_f$  son todas iguales a  $20k\Omega$ .  
 Calcule: a) el valor real de  $V_o$ ; b)  $V_o$  si  $V_{io} = 0$ .



$$R_1 = R_2 = R_3 = R_f$$

$$R_1 = 20k\Omega$$

$$V_o = \left(1 + \frac{20k}{0.6k}\right) 2mV$$

a)  $V_o = 8mV$

$$V_o = \left(1 + \frac{20k}{6.6k}\right) 0V$$

b)  $V_o = 0$

11. ¿Cuál es el valor de la resistencia de compensación de corriente que se debe añadir en el caso del problema 9-10?

$$V_o = R_f \cdot \frac{V_{io}}{R_1}$$

$$V_{io} = 4.1mV$$

$$V_o = 0.421$$

$$\frac{V_o R_1}{V_{io}} = R_f + R_i$$

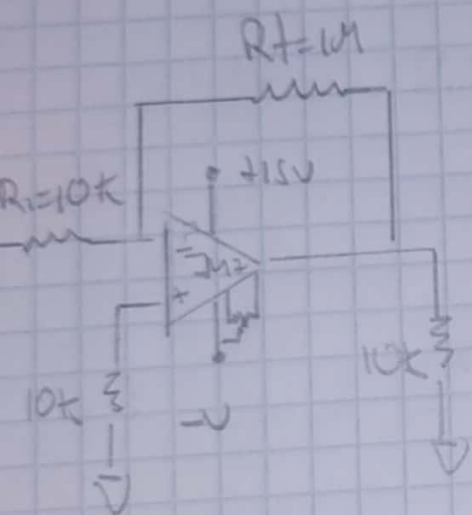
$$R_f = \frac{V_o R_1}{V_{io}} - R_i = \frac{0.421(20k)}{4.1mV} - 20k$$

$$R_f = 8094.1\Omega = 8k$$

12. ¿Cuál es el procedimiento general que se utiliza para anular?

Construir el circuito  
 Reducir todos los pines del generador a 0  
 Conectar la carga a la terminal de salida  
 Encender y esperar unos minutos para dar tiempo a que se caliente  
 Conectar un voltímetro de c.d. con oscilador a la salida de la carga  
 Verificar la lectura de ajuste del voltaje hasta  $V_0 = 0V$   
 Instalar las fuentes de tensión y no tocar de nuevo la  $V_0$

13 En la figura 9.9 si  $V_{ia}$  cambia en  $\pm 0,5 mV$  cuando la temperatura cambia en  $50^\circ C$  ¿Cuál es el cambio correspondiente en  $V_0$  debido al cambio en  $V_{ia}$ ?



$V_{io}$  cambia como máximo a  $100 \mu V$

$$V_{io} = \pm \frac{xV}{50^\circ C} = \pm 0,5 mV$$

$$x = \pm 0,5 mV \cdot 50^\circ C = 0,01 mV / ^\circ C$$

$$V_o = 100 \mu V \left( 1 + \frac{R_f}{R_i} \right) = 100 \mu V (101)$$

$$V_o = 10,1 mV$$

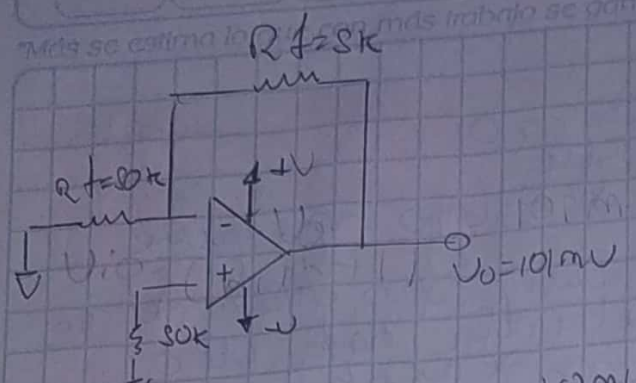
14 La corriente  $\pm 2 nA$  en la figura 9.9 cuando se presenta un cambio de temperatura de  $50^\circ C$  ¿Cuál es el cambio correspondiente en  $V_0$ ?

$$\pm 2 nA \cdot 1 M = \pm 2 mV$$

15  $V_o = 10,1 mV$  en el circuito de la figura 9-10(a),  $V_o = 20,1 mV$  en la figura 9-10(b) y  $V_o = 99 mV$  en la figura 9-10(c). Calcule los valores de  $V_{io}$  o  $I_E$  o  $I_B$  o  $I_{B+}$

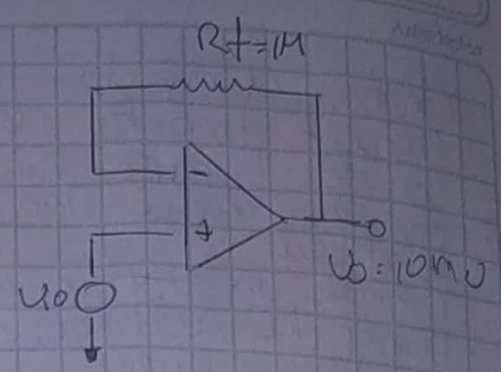


Más se estima lo que más trabajo se gana



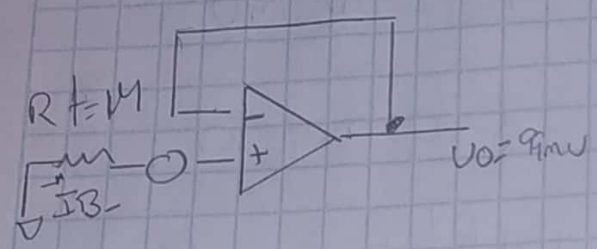
$$U_{i0} = \frac{U_o}{(R_i/R_f + 1)} = \frac{101mV}{101}$$

$$U_{i0} = 1mV$$



$$I_{B-} = \frac{U_i - U_{i0}}{R_f} = \frac{101mV - 1mV}{1k\Omega}$$

$$I_{B-} = 0.2\mu A$$



$$I_{B+} = - \left( \frac{U_o - U_{i0}}{R_f} \right)$$

$$I_{B+} = 0.1\mu A$$

## Bibliografía

R. Coughlin y E. O'Neill, Amplificadores Operacionales y Circuitos de Gran Señal, México Prentice Hall Hispanoamericana SA, 1999

# Simulaciones

1. Medicion de  $U_o$ . Consulte la figura 9-10 (a). Elija el valor de las resistencias que produzcan una ganancia de 100. Mida  $U_o$  y calcule  $U_{io}$  a partir de la ecuacion (9-6). Consulte un capacitor de desvio de 0.1  $\mu F$  y procure que las cables sean cortos.

$$U_o = \frac{Z(R_f + R_i) U_{io}}{R_i}$$

$$0,25V = \frac{Z(1 + 10) U_{io}}{10}$$

$$U_{io} = 2,5V / 1010 = 2,4mV$$



## Análisis

En el circuito antes presentado el valor de  $R_i$  y  $R_f$  son pequeños por lo que al añadir la resistencia compensadora de corriente de base lo cual obliga que el componente de error en el voltaje derivado por  $I_B$  no sea considerable además podemos observar que el valor calculado es semejante al medido.

2 Medición de  $I_B$  y de  $I_{B+}$ . En el circuito de la figura 9-10(c), dádole un valor a  $R_f = 2.2\text{ k}\Omega$ , mida  $V_o$  y calcule  $I_B$ . Luego conecte el circuito de la figura 9-10(d) y mida  $V_o$  para calcular  $I_{B+}$  ( $R_f = 2.2\text{ k}\Omega$ ). Calcule  $I_{B+}$  a partir de los valores medidos de  $I_{B+}$  e  $I_B$ .

$$I_B = \frac{(V_o - V_{io})}{R_f}$$

$$I_B = \frac{(0.250 - 0.4\text{ mV})}{2.2\text{ k}\Omega}$$

$$I_B = 0.133\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{B-} = \frac{(V_o - V_{io})}{R_f}$$

$$I_{B-} = \frac{(0.250 - 0.4\text{ mV})}{2.2\text{ k}\Omega}$$

$$I_{B-} = -0.133\text{ }\mu\text{A}$$

$$I_{B+} = \frac{I_{B-}}{1 - I_{B+}}$$

$$= \frac{0.133\text{ }\mu\text{A}}{0.133\text{ }\mu\text{A}}$$

$$= 0\text{ A}$$





"Más se estima lo que con más trabajo se gana"

Artículo

### Análisis

En este circuito la diferencia entre  $I_{b+}$  e  $I_{b-}$  es demasiado pequeña el resultado de  $I_a$  no es tan exacto, esto debido a que normalmente el valor de  $I_a$  es 25% de  $I_b$ , al ser este pequeño se necesitaría un op-AMP con un valor más grande.