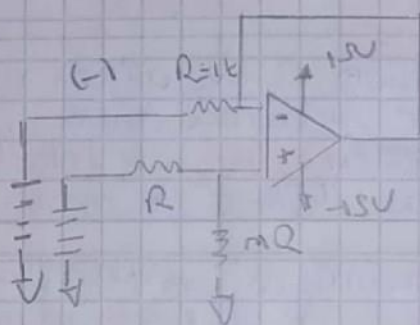


"El deseo de escribir aumenta a medida que se escribe"

Capítulo 8

Amplificadores diferenciales de instrumentación y de fuente

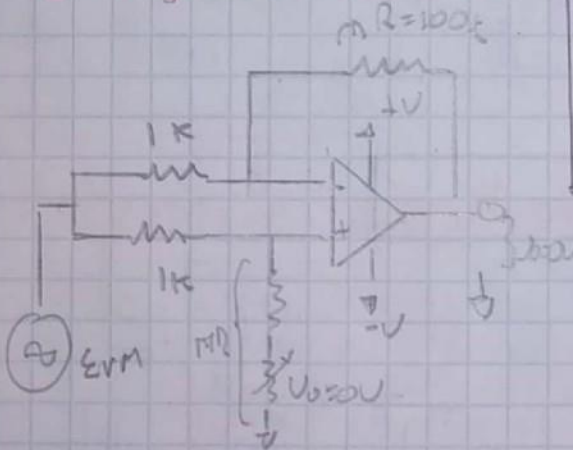
Mediante el amplificador diferencial se miden y amplifican pequeñas señales ocultas dentro de señales mayores con 4 resistencias de precisión (1%) y un amplificador se construye un CPMO diferencial



Cuando E_1 y E_2 están en las entradas (+) y (-)

$$V_o = nE_1 - mE_2 = m(E_1 - E_2)$$

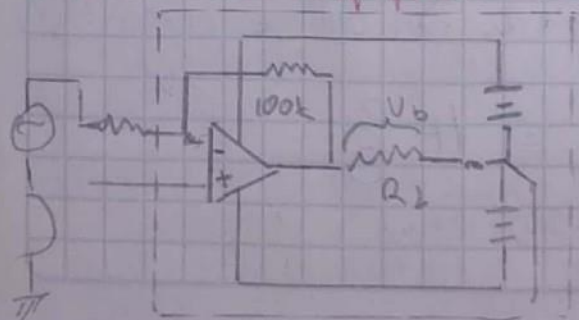
Voltaje en modo común



La salida del amplificador debe ser 0 cuando $E_1 = E_2$
Las relaciones entre las resistencias se igualan mediante el POT
Corriente voltaje común $V_{oc} \approx 0$

Comparación entre amplificadores diferenciales y amplificadores de 1 entrada

Medición con amplificador de entrada única



La tercera terminal común de la fuente aparece conectada a tierra
Tierra permite eliminar cargas estáticas o cualquier corriente de fuga

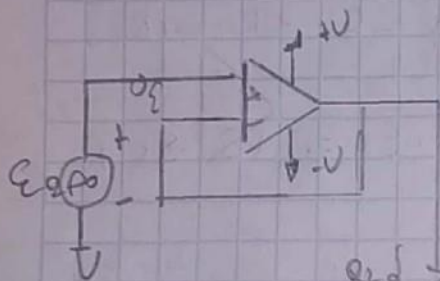
"Más se estima lo que con más trabajo se gana"

Medición con amplificador diferencial

Se utiliza solo para medir el voltaje de la señal que se desea.

Si el voltaje de la señal deseada E_i se conecta en la entrada (+) y (-) E_i se amplifica.
Voltaje de ruido se convierte en el voltaje de modo común en la entrada.

Como mejorar el Amplificador Diferencial Básico



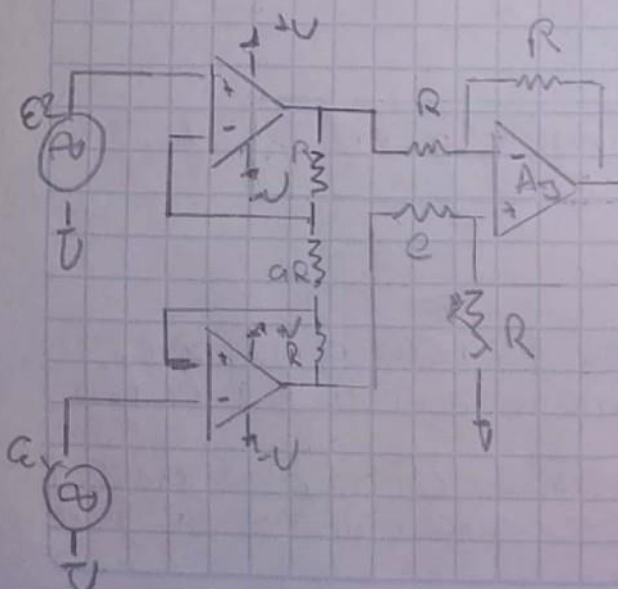
Desventajas + su resistencia de entrada es baja y es difícil modificar su ganancia debido a que la relación de entrada es baja a que la relación de entrada es baja y debe lograrse de manera precisa.

Se añaden 3 resistencias más al amplificador acoplado. La elevada resistencia de entrada se mantiene por medio de reguladores de voltaje.

$$I = \frac{E_i - E_o}{R}$$

Amplificador de Instrumentación

Funcionamiento del Circuito

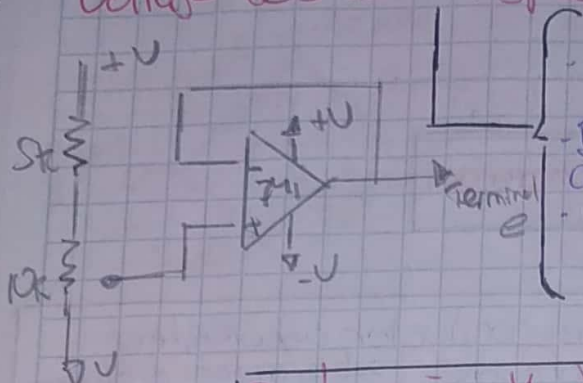


Se arma conectando un amplificador acoplado con un opamp básico.
La ganancia de voltaje se define por una sola resistencia.
La resistencia de entrada es muy alta.
No depende del voltaje común $E_{i,c}$.

$$V_o = 1 + \frac{R}{A}$$

"El deseo de escribir aumenta a medida que se escribe"

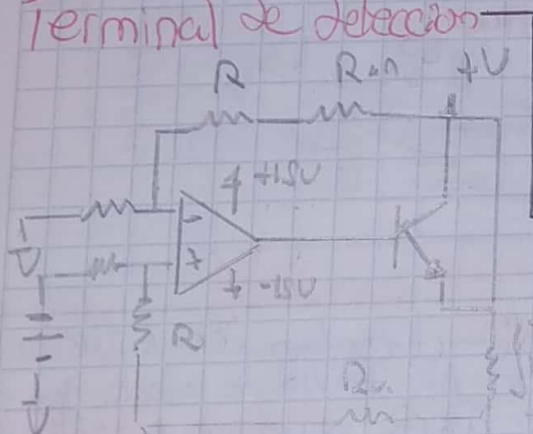
Voltaje de salida respecto a una resistencia



- El objetivo es obtener el voltaje de salida a un nivel de referencia.
- Basta con añadir un voltaje ref proveniente con una resistencia.
- V_{ref} es una salida del circuito regulador de voltaje mostrado.

Detección y Medición mediante el amplificador de instrumentación

Terminal de Detección



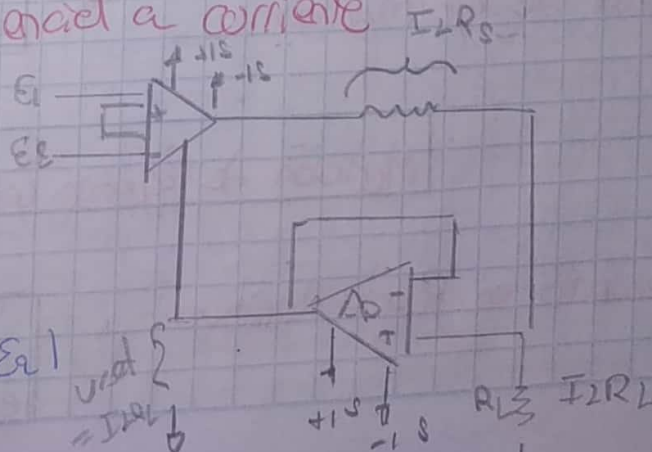
- Se mejora al abrir el lazo de retroalimentación G-1 del OP-AMP.
- La terminal de detección y la de referencia se conectan directamente a la carga.
- Detecta voltaje en terminales en vez de la terminal de salida del OP-AMP.

Mediciones de Voltaje Diferencial

- Solo se utiliza una resistencia externa para definir ganancias que van de 1 a 1000.
- La relación entre la ganancia y R_G es $G = 1 + \left(\frac{49400}{R_G}\right)$.
- $V_o = G(V_2 - V_1) = G(V_{cable} - V_{cable}) = V_{ce}$.

Convertidor de Voltaje Diferencial a corriente

- AD620 no tiene terminal de detección.
- Resulta a la de ajuste de la corriente.



$$V_s = I_s R_s + I_s R_L$$

$$V_s = V_{ref} + \text{ganancia} (E_1 - E_2)$$

$$V_s = I_s R_L + 100(E_1 - E_2)$$

$$I_L = 10 \left(\frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{R_s} \right)$$

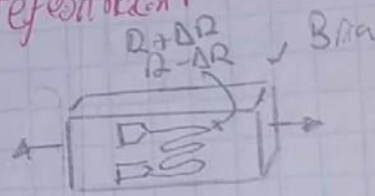
El Amplificador de Instrumentación como circuito acondicionador

Introducción al sensor de deformaciones

Es un alambre conductor cuya resistencia cambia ligeramente al acortarse o alargar la longitud activa del sensor esta situada a lo largo del eje transversal

Material utilizado en el sensor de deformación

Se construyen utilizando aleaciones metálicas como el constantán, nicromo, Dynaloy, Invar y alea cables de platino



Cómo se usa la información obtenida mediante el sensor de deformación

Mide solo el cambio de la resistencia del sensor, ΔR . Con ΔR se calcula la relación $\Delta R/R$ con lo que se obtiene la razón de cambio de longitud

Montaje de los sensores de deformación

Hay que limpiar, lijar y enjuagar con alcohol, acetón o metil etil éter la superficie de la usga

Cambios en la resistencia del sensor de deformación

Se debe medir el cambio experimental en la resistencia, ΔR

Medición de Pequeños Cambios en la Resistencia

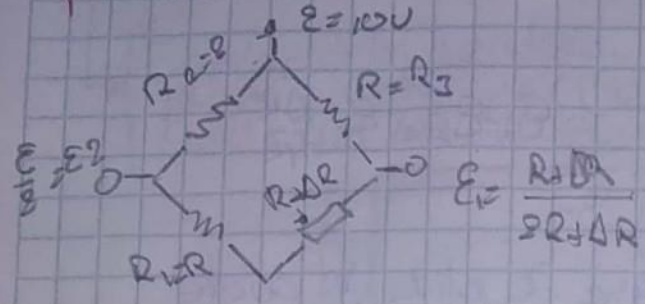
Necesario en Puente Resistivo

Si lo que hay que medir es un cambio ligero en la resistencia, lo que se obtiene es un cambio en el voltaje

"El deseo de escribir aumenta a medida que se escribe"

Hoja No.

Puente Básico de Resistencia

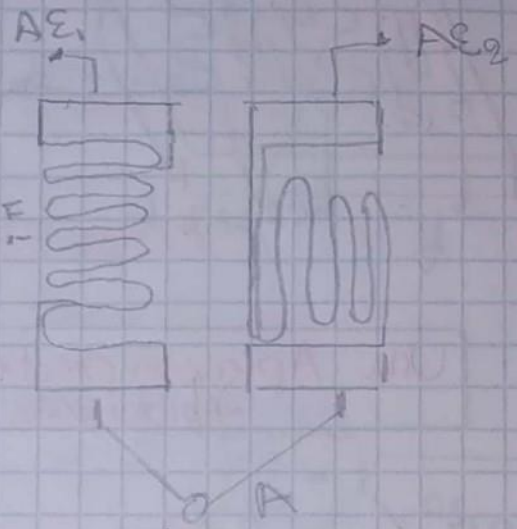


El sensor se coloca en un brazo del puente de resistencias. Cuando el sensor se esfuerza se encuentra comprimido y decrece.

$$E_1 - E_2 = E \frac{\Delta R}{2R + \Delta R}$$

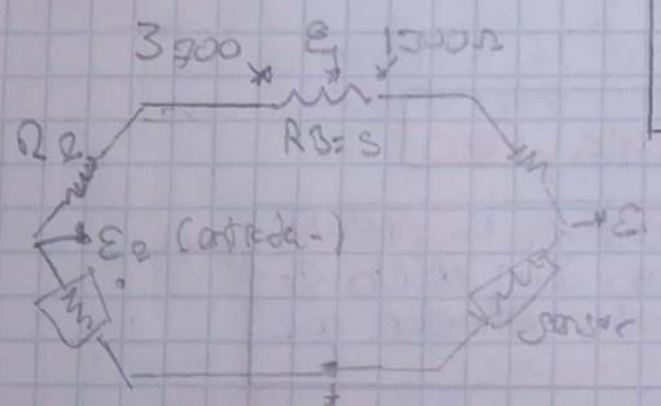
Efectos térmicos en el balanceo del puente

Cambios en la temperatura en el sensor de esfuerzos provocan cambios en resistencias iguales o mayores que los que se desearían. Permite obtener una compensación de temperatura automática.



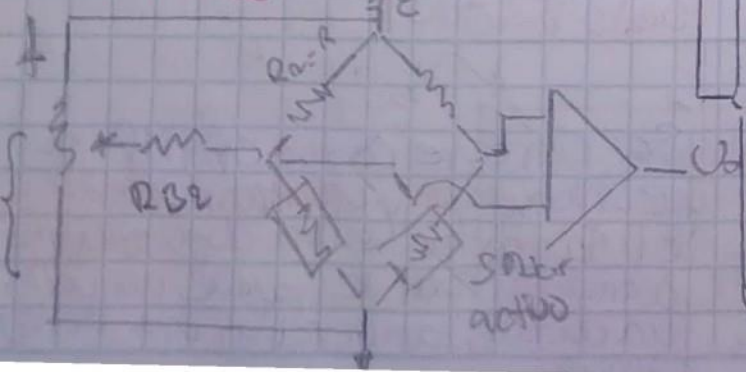
Balancas de un puente de sensores de deformación

Tania Obvia



Para completar el puente se insertan 2 resistencias. Es necesario igualar las resistencias para balancear el puente. V_0 cambia en un valor de ± 0.1 a ambos lados de cero al ajustar compensación.

Una tania mejor



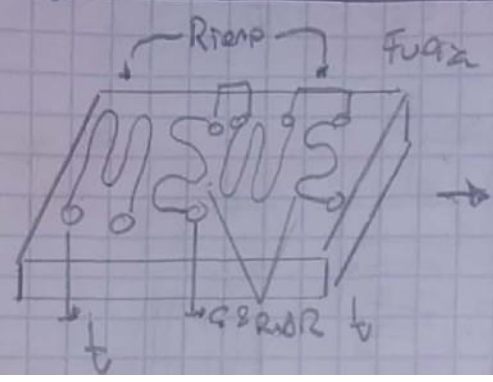
La acción del balanceo se resume: a ± 0.5 se inyecta una pequeña corriente en el nodo E_2 y a través el sensor de temperatura hacia tierra. Si ± 0.5 se consume corriente del nodo E_2 y aumenta la corriente a través de R_2 y E_2 .

Más se estima lo que con más trabajo se gana

Aumento en la salida del puente de resistencia de deformación

Producen una salida en el puente diferencial

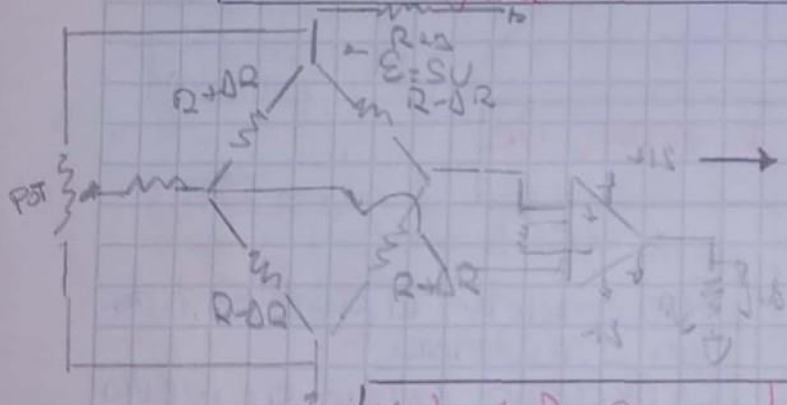
$$E_1 - E_2 = E \frac{\Delta R}{4R}$$



El voltaje de salida del puente $E_1 - E_2$ se duplica al duplicarse la cantidad de sensores que están activos

$$E_1 - E_2 = E \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} \approx \frac{\Delta R}{2R}$$

Una Aplicación práctica del detector de deformaciones

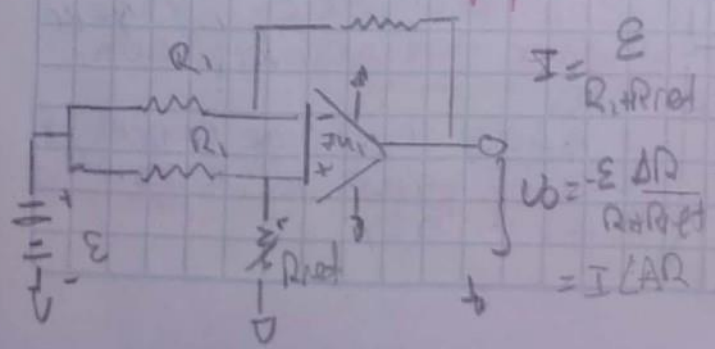


Se conecta un opAMP de instrumentación con un puente de 4 sensores de deformación, se mide en una línea de datos y conectado un circuito de balanceo

Medición de Presión fuerza y Peso

A partir de $\Delta L/L$ se calcula la presión de una estructura. El peso de un objeto ejerce una fuerza sobre la estructura que lo soporta

Amplificador de Puente Básico



$$I = \frac{E}{R_1 + R_{f1}}$$

$$V_o = -E \frac{\Delta R}{R_1 + R_{f1}}$$

$$= I \Delta R$$

Se construye con un opAMP a resistencias y un transductor. El transductor es un dispositivo mediante el cual se puede convertir un cambio ambiental en una señal eléctrica

Funcionamiento del circuito puente básico

- El valor de la resistencia que va de la ordenada (la tierra) siempre se elige de manera que sea igual a la resistencia del transductor

$$V_0 = -E \left(\frac{R_T}{R_{ref} + R} \right) = -I \Delta R$$

$$I = E / (R_{ref} + R) \Delta R = R_{trans} - R_{ref}$$

Medición de temperatura con un circuito puente

- Elegir cualquier transmisor
- Elegir temperatura de referencia
- Plotear las características voltaje-temperatura
- Lo no es lineal con respecto a la temperatura

Amplificadores de puente y temperatura

- El amplificador puente convierte los cambios de temperatura a voltaje
- La no linealidad del termistor se compensa por un programa conocido como linealización por software

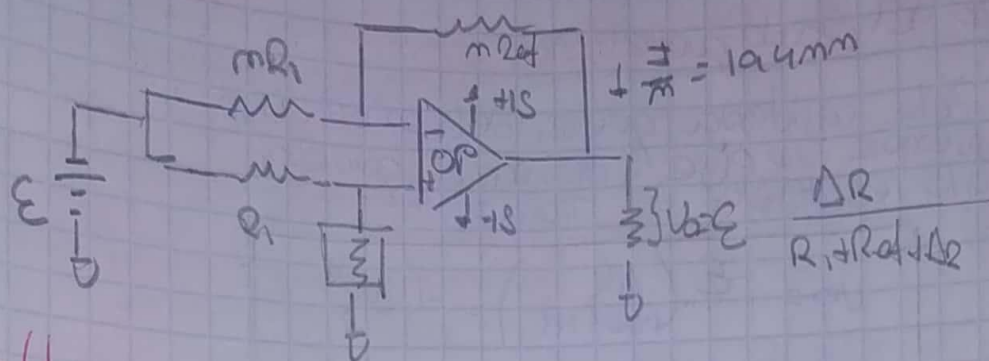
Como dar más versatilidad al amplificador de puente

Transductor a tierra *

Es necesario conectar a tierra una terminal del transductor. I depende de la resistencia del transductor. Lo no es lineal respecto a ΔR

Transductor de corriente a tierra *

Es proporcional la corriente del transductor. Si la corriente es muy pequeña se utiliza el mismo circuito y mR debe ser menor que R



Problemas

1 En la figura 8.1 $m=20$, $E_1=0,2$ y $E_2=0,25$ calcular V_0

$$V_0 = m(E_1 - E_2)$$

$$V_0 = 20(0,2 - 0,25) V$$

$$V_0 = -1V$$

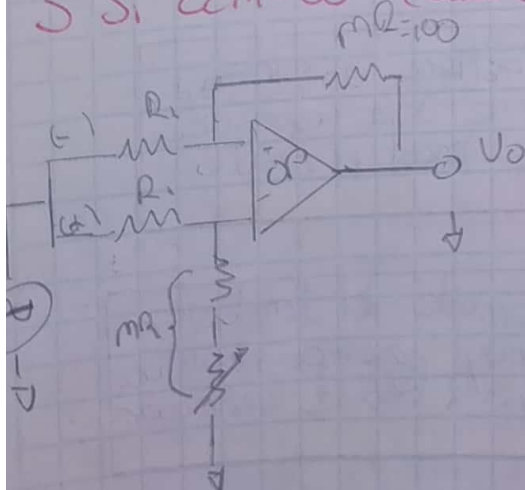
2 Si $V_0 = 10V$, $E_1 = 7,5$ y $E_2 = 7,4$ Calcule m

$$V_0 = m(E_1 - E_2)$$

$$m = \frac{V_0}{E_1 - E_2} = \frac{10V}{(7,5 - 7,4)}$$

$$m = 100$$

3 Si $E_{cm} = 8V$ calcule V_0 en la figura 8.2



$$E_{cm} = 8V$$

$$V_0 = 0V$$

Porque presenta la comparación de voltajes en el nodo común

4. En la figura 8.3 $E_i = 2\text{mV}$ y $E_n = 50\text{mV}$ ¿Cuál es el valor del voltaje de salida debido a E_i ? b) E_n ?

$$\text{Ganancia} = \frac{-100\text{k}}{1\text{k}} = -100$$

$$a) V_o = G E_i = -100(2\text{mV}) = -200\text{mV}$$

$$b) V_o = G E_n = -100(50\text{mV}) = -5000\text{mV}$$

5. En la figura 8.4, $E_i = 2\text{mV}$ y $E_n = 50\text{mV}$ ¿Cuál es el valor del voltaje de salida debido a E_i ? b) E_n ?

$$\text{Ganancia} = \frac{-100\text{k}}{1\text{k}} = -100$$

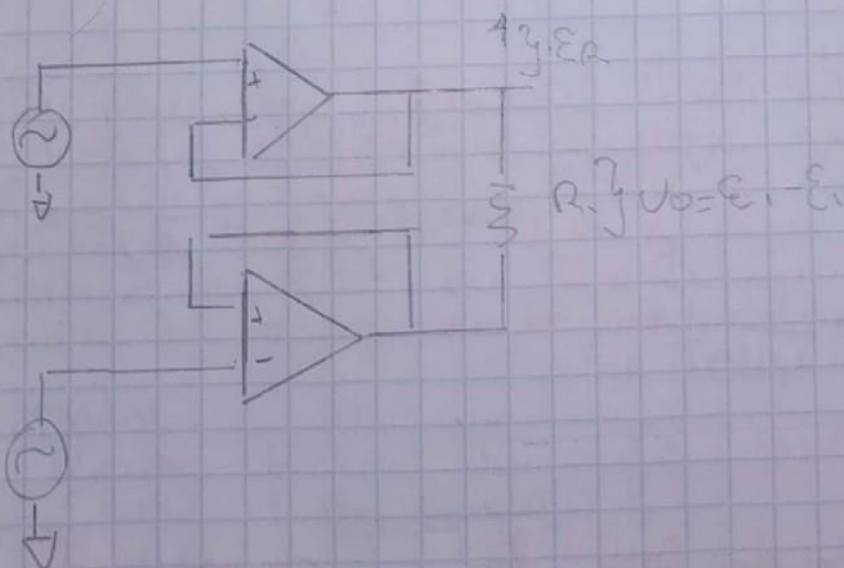
$$a) V = 2\text{mV}(-100) \\ V = -200\text{mV}$$

$$b) V = 50\text{mV}(-100) \\ V = -5000\text{mV}$$

6. ¿Cuál es la principal ventaja del amplificador diferencial en relación con un amplificador inverting porque se refiere al voltaje de entrada deseado, junto con una señal de ruido?

La ventaja del opam diferencial es que rechaza el ruido en modo común. En este caso la salida en función de una ganancia proporcional a la relación de corriente.

7. Calcule V_o de la figura 8.5 suponiendo que $E_1 = -5\text{V}$ y $E_2 = -3\text{V}$



$$V_o = (E_1 - E_2) \left(1 + \frac{2R}{R} \right)$$

$$a = \frac{aR}{R}$$

$$\frac{aR}{R} = \frac{2\text{k}}{1\text{k}} = \frac{2}{1}$$

$$V_o = (-5\text{V} - (-3\text{V})) (1 + 2) = 10\text{mV}$$

$$V_o = (-5\text{V} + 3\text{V}) (1 + 2\text{k}) \\ V_o = -20$$

DIA: MES: AÑO:

8. En la figura 8.5 $R=10\text{ k}\Omega$ y $\alpha R=R$. Si $E_1=1.5\text{ V}$ y $E_2=0.5\text{ V}$ calcule V_O .

$$V_O = (E_1 - E_2) (1 + 2/\alpha)$$

$$\frac{\alpha R}{R} = \frac{R}{10\text{ k}\Omega} = 0.2$$

$$V_O = (1.5\text{ V} - 0.5\text{ V}) / (1 + 2/0.2)$$

$$V_O = 11\text{ V}$$

9. En la figura 8.6 $R=10\text{ k}\Omega$ la ganancia total es de 204. Calcule a y $E_1 - E_2$.

9. En la figura 8.6 $R=10\text{ k}\Omega$ la ganancia total es de 204. Calcule a y $E_1 - E_2$.

$G=21$
 $V_O=3\text{ V}$
 $R=25\text{ k}\Omega$
 $\alpha R=50\text{ k}\Omega$

$$a) V_O = 1 + \frac{2}{a}$$

$$E_1 - E_2 = 1 + 20 = 21$$

$$E_1 - E_2 = \frac{3\text{ V}}{21} = 0.143\text{ V}$$

$$b) 20 = \frac{2}{a} \Rightarrow a = \frac{2}{20}$$

$$a = \frac{1}{10}$$

$$a = 0.1$$

10 En la figura 8.6 $R = 25k$ $\beta R = 100$, $E_1 = 1.01V$ $E_2 = 1.02V$
 Calcular V_o

$$\frac{V_o}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{R}{a}$$

$$\begin{aligned} V_o &= (E_1 - E_2) \left(1 + \frac{R}{a} \right) \\ &= (1.01 - 1.02) \left(1 + \frac{R}{1/150} \right) \\ &= -3.01V \end{aligned}$$

$$\beta R = 100$$

$$a = \frac{100\beta}{25k} = \frac{1}{150} = a$$

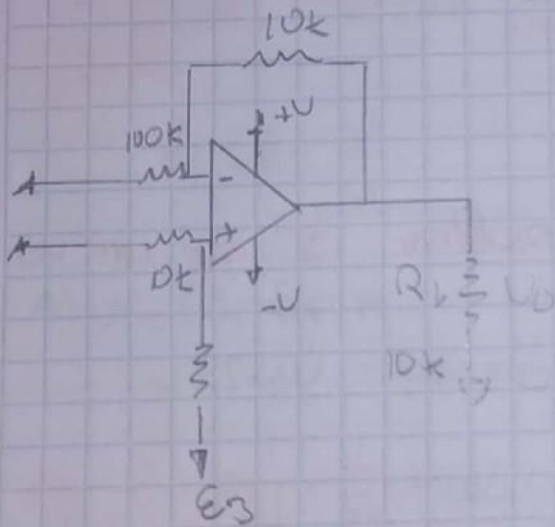
11 En la relación con circuitos de la figura p8-12 complete la tabla siguiente para todas las condiciones

a) $V_o = V_{ref} + m(E_i - E_e)$
 $= 5 + m(0 - 0)$
 $= 5V$

b) $E_i = \frac{V_{ref}}{2} = \frac{5V}{2} = 2.5V$

12 En la relación con el circuito de la figura P3-12 complete la tabla siguiente para todas las condiciones

	$E_i(V)$	$E_e(V)$	$E_s(V)$	V_o	$V_{entrada}(+)$
a)	-2	-2	0	0	-2
b)	-2	-2	-2	0	-4
c)	2	-2	0	4	4
d)	2	0	2	2	0



$$m = \frac{mR}{R}$$

$$V_o = m(E_i - E_e)$$

$$m = \frac{10k}{10k} = 1$$

$$V_o = 1(-2 - (-2))$$

$$V_o = 0$$

13 Tome como referencia el convertidor de voltaje a corriente de la fig 1, la corriente de carga ahora es $I_L = (E_i - E_e) / R_L = 10mA$ ($E_e = 0$ o tierra) y $E_i = 1V$ al i será hacia abajo y hacia arriba la dirección de I_L en la figura 7 b) Calcule I_L al calcular el voltaje a través de R_L y $R_L = 100\Omega$ al calcular el voltaje de salida del amplificador de instrumento con 8. $R_2 = 5k$

Datos

$$R_1 = 1k$$

$$E_e = 0V$$

$$E_i = 1V$$

$$R_2 = 5k$$

Hacia abajo

a) $I_L = 10 \left(\frac{1-0}{1k} \right) = 10mA$

b) $V_o = I_L R_2 (10mA)(100\Omega) = 1V$

$$c) V_a = I_2 R_2 + 10 (E_1 - E_2)$$

$$V_a = (100) (10 \text{ mA}) + 10(1-0)$$

$$V_a = (1+10) \text{ V}$$

$$V_a = 11 \text{ V}$$

14 Repite el problema 8-13, cambiando $E_2 = \text{tierra}$ y $E_1 = 10$

$$E_2 = \text{Tierra}$$

$$E_2 = \text{GND} = 0$$

$$E_1 = 10$$

$$I = 10 \left(\frac{1}{1 \text{ k}} \right) = 10 \text{ mA}$$

$$V_{IS} = I_2 R_2 = (10 \text{ mA}) (1 \text{ k}) = 10 \text{ V}$$

$$V_{ref} = I_2 R_1 = (10 \text{ mA}) (3 \text{ k}) = 30 \text{ V}$$

$$V_a = I_2 R_2 + 10 (E_1 - E_2)$$

$$V_a = (10 \text{ mA}) (1 \text{ k}) + 10(1-0)$$

$$V_a = 40 \text{ V}$$

... en el problema 13

15 Cambie el valor de E_1 a -10 en el problema 13, E_2 positivo

$$E_1 = -10$$

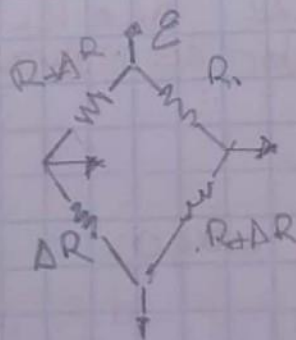
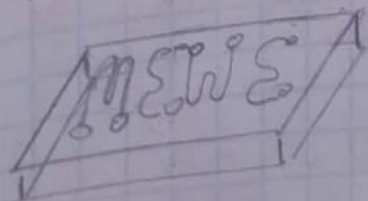
$$E_2 = 0$$

$$R_1 = 3 \text{ k}$$

$$I = \frac{10-0}{1 \text{ k}} = 10 \text{ mA}$$

a) 10 se vuelve positiva
b) 0 disminuye

16 En la figura 8-16 a) -10 en el problema 8-13 a) El valor de $R_2 = 120 \text{ } \Omega$ y $E = 10$. Calcule $(E_1 - E_2)$ por el arreglo de sensores de formación de la figura 8-16 a b) la figura 8-16 c) la figura 8-16 c



"El deseo de escribir aumenta a medida que se escribe"

Ejercicio

$$R = 120 \Omega$$

$$\Delta R = 1.2 \text{ m}\Omega$$

$$\mathcal{E} = 10 \text{ V}$$

$$a) \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} \frac{\Delta R}{4R} = 10 \left(\frac{1.2 \text{ m}\Omega}{4 \cdot 120} \right) = 25 \mu\text{V}$$

$$b) \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} \frac{\Delta R}{2R} = 10 \left(\frac{1.2 \text{ m}\Omega}{2 \cdot 120} \right) = 50 \mu\text{V}$$

$$c) \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} \frac{\Delta R}{R} = 10 \left(\frac{1.2 \text{ m}\Omega}{120} \right) = 100 \mu\text{V}$$

17. Suponga que se conecta a los puntos del problema 8-16 un AI con ganancia de 1000. Calcule el V_0 de cada uno de los 3 arreglos de puente

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \frac{V}{G}$$

$$a) V_0 = (\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2) A = 25 \mu\text{V} \cdot 1000 = 25 \text{ mV}$$

$$b) V_0 = 50 \mu\text{V} \cdot 1000 = 50 \text{ mV}$$

$$c) V_0 = 100 \mu\text{V} \cdot 1000 = 100 \text{ mV}$$

18. En los problemas 16 y 17 considere un factor de sensibilidad de 2 y calcule para cada arreglo de puente

$$\text{Factor de sensibilidad} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta R} \cdot \frac{L_L}{L}$$

$$a) \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = \mathcal{E} \frac{\Delta R}{4R} \quad \Delta R = \frac{R(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)}{\mathcal{E}} = \frac{4 \cdot 120 (25 \mu\text{V})}{10} = 1.2 \text{ m}\Omega$$

$$\Delta L = \frac{L_S}{\Delta R/R} = \frac{1.2 \text{ m}\Omega}{2} = 600 \text{ nmm/m}$$

$$b) \Delta R = \frac{2R(\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2)}{\mathcal{E}} = \frac{2 \cdot 120 (50 \mu\text{V})}{10 \text{ V}} = 1.2 \text{ m}\Omega$$

$$c) \Delta R = \frac{120 (100 \mu\text{V})}{10 \text{ V}} = 1.2 \text{ m}\Omega$$

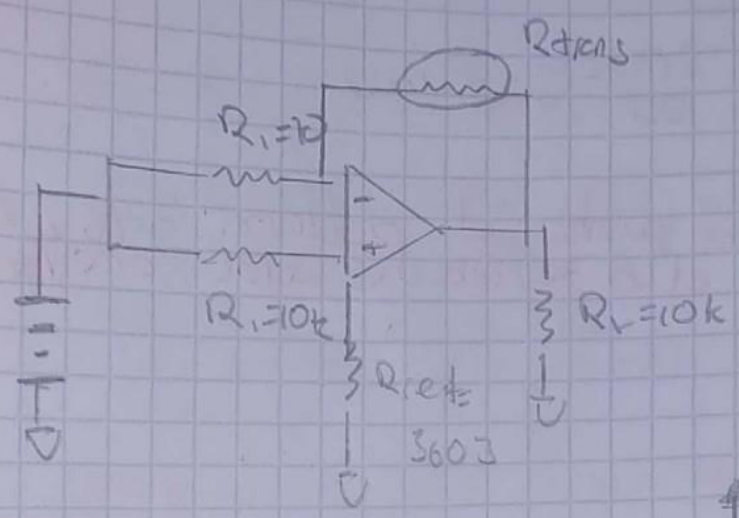
19 Conulte la sección 8-13. Para obtener experiencia con este tipo de circuitos puede repetir el ejemplo 8-13. Si sigue siendo de 10k y el voltaje de base el mismo diseño como el de la figura 8-19.

$T_{ref} = 30^{\circ}C$
 $R_{ref} = 3603$

$R_1 = 10k$ $E = 1V$

$= 73.5 \mu A$

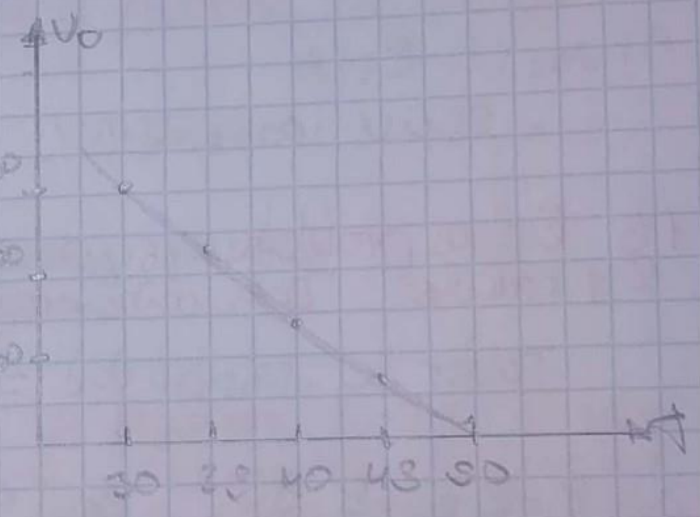
$I = \frac{1V}{10000 + 3603}$



$V_o = -IAR$

$\Delta R = R_{trans} - R_{ref}$

$T^{\circ}C$	R_{trans}	R_{ref}	$V_o (mV)$
30	8057	4454	327
35	6530	2927	215
40	5387	1791	120
45	4370	767	30
50	3603	0	0



20 Si lo que desea es obtener un circuito que tenga un voltaje de salida de magnitud creciente a medida que aumenta la temperatura del termistor, coloque este en el lado de retroalimentación. Escoja R_{ref} en el extremo menor o superior de la escala de temperatura.

$R_{ref} = 3603\Omega$
 $R_{trans} = 3803$
 $R_1 = 10k\Omega$

$50^{\circ}C \rightarrow 3603$
 $10^{\circ}C \rightarrow 720$

Superior $I = \frac{1}{10000 + 720} = 93,28 \mu A$

$V_0 = -I \Delta R$

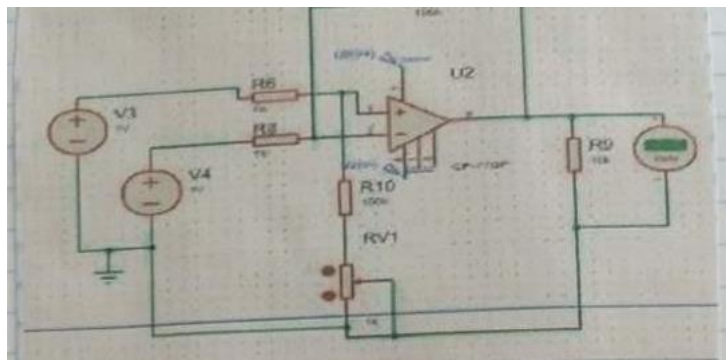
$V_0 = -93,28 \mu A \cdot 2983 = -278 \mu V$

Bibliografía

R. Coughlin y F. Driscoll, Amplificadores Operacionales y Circuitos, McGraw-Hill, México, 1998

Simulaciones

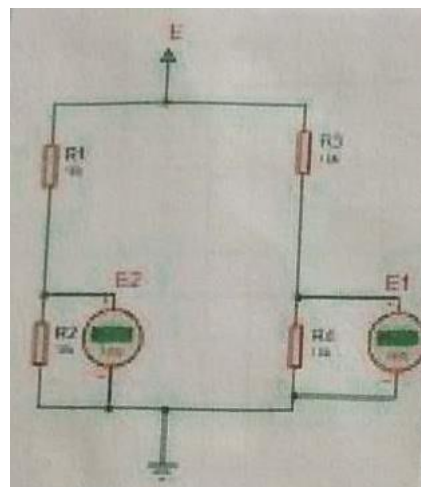
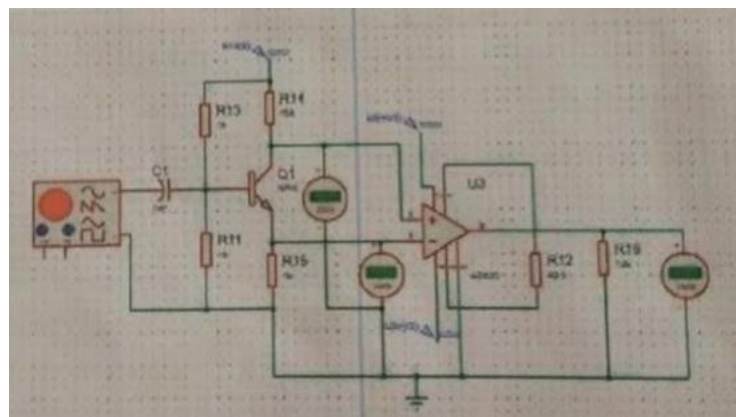
① Amplificador diferencial básica. Las figuras 8-1 y 8-2 se pueden utilizar para que cumpla su experiencia con amplificadores diferenciales. Elige $R_1 = 10k$ y $R_2 = 10k$, resistencias de $1k$. E_1 y E_2 deben tener salidas de baja impedancia.



Análisis
En este circuito todas las voltajes obtenidos a partir de un divisor de voltaje de resistencia tienen que acoplarse con un segundo divisor de voltaje. El potenciómetro en el segundo divisor se va ajustando hasta que la señal reduce a un valor insignificante en este caso con valor 0, así se logra que la ganancia

con 2 voltaje en modo común

2) Conectar el AD620 y conectar para una ganancia de 1000
 poner los siguientes valores $R_1 = 700\Omega$ y $R_2 = 70\Omega$. Medir el vol-
 taje de carga con una punta de prueba



Análisis

El AD620 es un amplificador de instrumentación dual que sirve para aumentar la salida de las 4 señales de deformación en operación. Este sirve para medir un voltaje flotante estableuido por el fabricante con lo que se obtiene un voltaje en el colector de 8.40V y el emisor 6.60V para así tener a la salida un voltaje de 15.2V

