UNAM

MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN

SENSORES RESISTIVOS

Roberto Giovanni Ramírez-Chavarría
rg.unam.sysid@gmail.com
Facultad de Ingeniería, UNAM

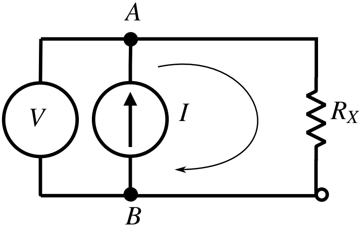
Semestre 2020-1

Sensores Resistivos

- Varían su resistencia eléctrica en función de la variable a medir.
- Eléctricamente simples de analizar.
- Medición de temperatura, luz, humedad, posición, campo magnético, etc...
- Técnicas de medición de resistencia eléctrica?

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Medición a dos puntas Ohmetro Ideal

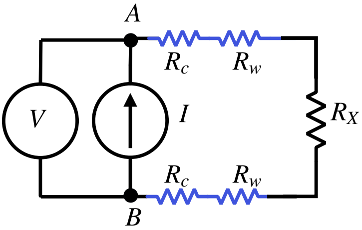


- Fuente de corriente I
- Resistencia a medir R_x
- Voltmetro V
- Puntas A y B

Con ley de Ohm $R_x = V/I$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Medición a dos puntas Ohmetro Real
Sin embargo, existen elementos que afectan la medición



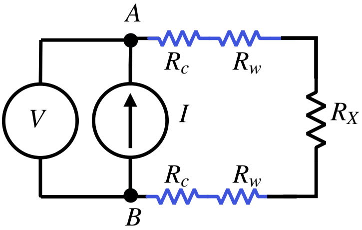
- Resistencias de contacto R_c
- Resistencias de los cables R_w

Forman una resistencia equivalente

$$R_{eq} = R_x + 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_w$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Medición a dos puntas Ohmetro Real
Sin embargo, existen elementos que afectan la medición



Por lo que el voltaje medido es

$$V = I\left(R_x + 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_w\right)$$

En donde el error

$$\epsilon = 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_w$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Medición a dos puntas Ohmetro Real

R_c y R_w son de valor bajo, pero si R_x también lo es, ϵ será grande.

Minimización del error

1. Antes de medir R_x, ponemos la puntas A y B en corto circuito y medimos V_1

$$V_1 = I\left(R_c + 2 \cdot R_w\right)$$

2. Colocamos a R_x en el circuito y medimos V_2

$$V_2 = I\left(R_x + 2 \cdot R_c + 2 \cdot R_w\right)$$

3. Restamos

$$V_2 - V_1 = I\left(Rx + Rc\right)$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

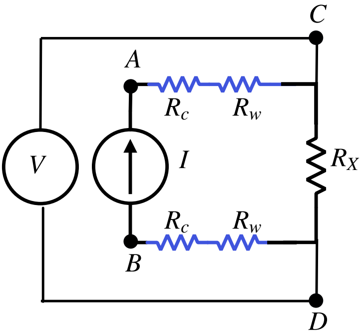
Medición a dos puntas Ohmetro Real

$$V_2 - V_1 = I\left(Rx + Rc\right)$$

Eliminamos la resistencia de los cables pero aún así queda la de contacto.

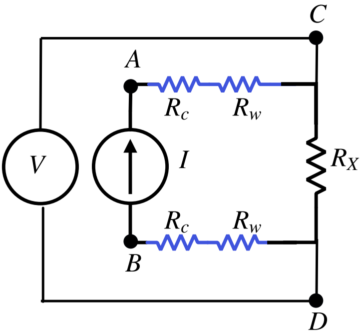
EL MÉTODO DE 2 PUNTAS NO SIRVE CUANDO NECESITAMOS MEDIR RESISTENCIAS PEQUEÑAS (ALTA PRECISIÓN)

Medición a cuatro puntas



- La corriente I se aplica por las puntas A y B
- El voltaje en el resistor R_x se mide por las puntas C y D.

Medición a cuatro puntas



- **Únicamente se mide la caída de potencial en el resistor de interés.**

$$V = IR_x$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

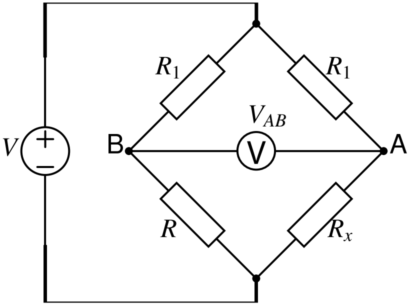
Medición a cuatro puntas

Permite medir resistencia de valor bajo o cuando se requiere alta precisión.

Muchos sensores resistivos varían su resistencia en décimas, centésimas o milésimas de ohms.

Puente de Wheatstone

Implementación común del método de cuatro puntas

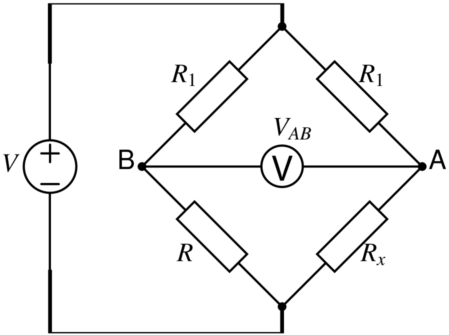


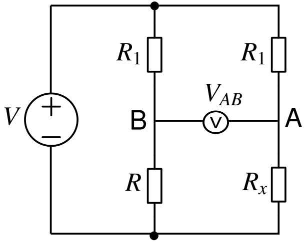
La idea es encontrar que

$$R_x := f\left(V_{AB}\right)$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Puente de Wheatstone-Análisis

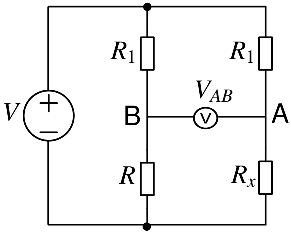




Calcular el voltaje V_{AB}

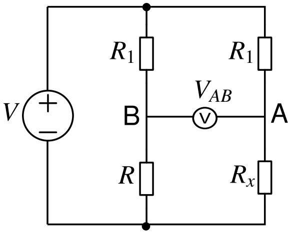
Puente de Wheatstone-Análisis

Divisor de voltaje en B



Calcular el voltaje V_{AB}

Puente de Wheatstone-Análisis



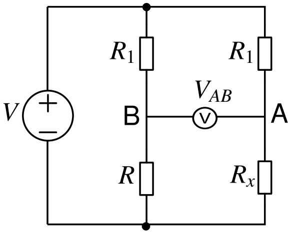
Divisor de voltaje en B

$$V_B = V\left(\frac{R}{R1 + R}\right)$$

Calcular el voltaje V_{AB}

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Puente de Wheatstone-Análisis



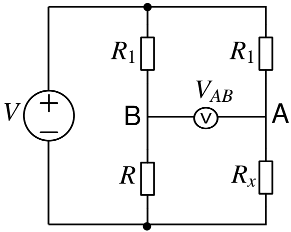
Divisor de voltaje en B

$$V_B = V\left(\frac{R}{R1+R}\right)$$

Divisor de voltaje en A

Calcular el voltaje V_{AB}

Puente de Wheatstone-Análisis



Divisor de voltaje en B

$$V_B = V\left(\frac{R}{R1+R}\right)$$

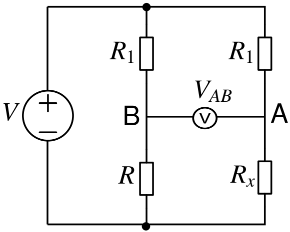
Divisor de voltaje en A

$$V_A = V\left(\frac{R_x}{R1+R_x}\right)$$

Calcular el voltaje V_{AB}

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Puente de Wheatstone-Análisis



Divisor de voltaje en B

$$V_B = V\left(\frac{R}{R1 + R}\right)$$

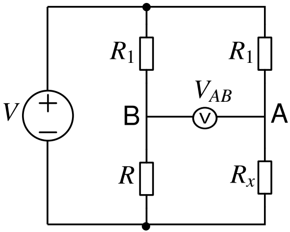
Divisor de voltaje en A

$$V_A = V\left(\frac{R_x}{R1 + R_x}\right)$$

La diferencia es

Calcular el voltaje V_{AB}

Puente de Wheatstone-Análisis



Calcular el voltaje V_{AB}

Divisor de voltaje en B

$$V_B = V\left(\frac{R}{R1 + R}\right)$$

Divisor de voltaje en A

$$V_A = V\left(\frac{R_x}{R1 + R_x}\right)$$

La diferencia es

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_A - V_B \\ &= V\left(\frac{R_x}{R1 + R_x} - \frac{R}{R1 + R}\right) \end{aligned}$$

Puente de Wheatstone-Análisis

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_A - V_B \\ &= V\left(\frac{R_x}{R1+R_x} - \frac{R}{R1+R}\right) \\ &= V\left(\frac{R_1}{R1+R} \cdot \frac{R_x - R}{R1+R_x}\right) \end{aligned}$$

El voltaje V_{AB} crece con el valor de R_x.

¿Qué pasa si $R_x = R$?

Puente de Wheatstone-Análisis

$$
\begin{aligned}
V_{AB} &= V_A - V_B \\
&= V\left(\frac{R_x}{R1 + R_x} - \frac{R}{R1 + R}\right) \\
&= V\left(\frac{R_1}{R1 + R} \cdot \frac{R_x - R}{R1 + R_x}\right)
\end{aligned}
$$

El voltaje V_{AB} crece con el valor de R_x.

¿Qué pasa si $R_x = R$?

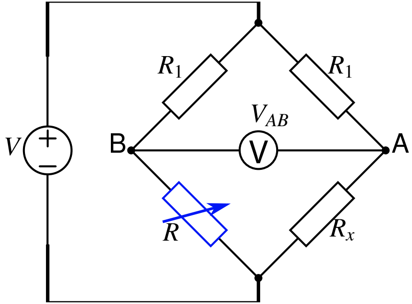
$$V_{AB} = 0$$

Condición de EQUILIBRIO del puente

Puente de Wheatstone-Análisis

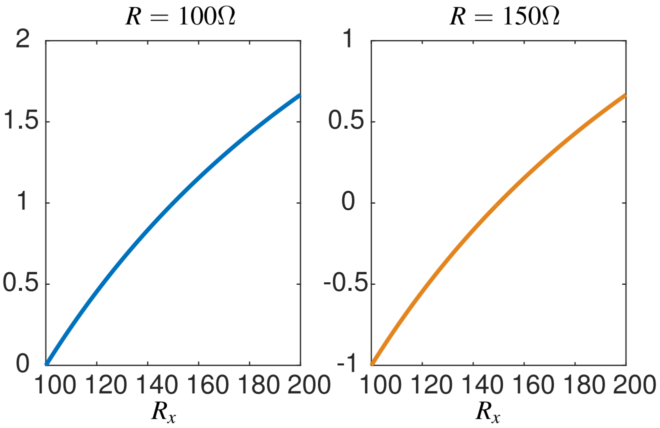
Condición de EQUILIBRIO del puente

En la práctica se la resistencia de compensación R es variable (potenciómetro).



Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

$$V_{AB} = V\left(\frac{R_1}{R1+R} \cdot \frac{R_x - R}{R1+R_x}\right) \quad \forall R_x \in [100, 200]$$



Puente de Wheatstone-Análisis

$$V_{AB} = V\left(\frac{R_1}{R1+R}\cdot\frac{R_x - R}{R1+R_x}\right)$$

Es una función **NO LINEAL.** Para linealizar $R1 >> R_x$

$$V_{AB-\text{lin}} \approx V\left(\frac{R_1}{R1+R}\cdot\frac{R_x - R}{R1}\right)$$

$$\approx V\left(\frac{R_x - R}{R1+R}\right)$$

La sensibilidad (suponiendo $R1 >> R$) es

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Puente de Wheatstone-Análisis

$$V_{AB} = V\left(\frac{R_1}{R1+R} \cdot \frac{R_x - R}{R1+R_x}\right)$$

Es una función **NO LINEAL.** Para linealizar $R1 >> R_x$

$$V_{AB-\text{lin}} \approx V\left(\frac{R_1}{R1+R} \cdot \frac{R_x - R}{R1}\right)$$
$$\approx V\left(\frac{R_x - R}{R1+R}\right)$$

La sensibilidad (suponiendo $R1 >> R$) es

$$S = \frac{\partial V_{AB-\text{lin}}}{\partial R_x} = \frac{V}{R1}$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Puente de Wheatstone-Análisis

La sensibilidad (suponiendo $R1 >> R$) es

$$S = \frac{\partial V_{AB-\text{lin}}}{\partial R_x} = \frac{V}{R1}$$

- La sensibilidad **AUMENTA** incrementando V
- La sensibilidad **DISMINUYE** incrementando $R1$

***Take Home Message*: Al diseñar un puente de Wheatstone se debe cuidar la selección de los parámetros $R1$ y V, para linealizar y no perder sensibilidad.

Una mejor alternativa para linealizar es usando **MÍNIMOS CUADRADOS**

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Ejercicio

Se pretende medir resistencias entre 100 y 150Ω usando un puente de Wheatstone alimentado con 10 V. Determine el voltaje de salida con $R1 = 10$K, tanto el real como el linealizado.

Ejercicio

Se pretende medir resistencias entre 100 y 150Ω usando un puente de Wheatstone alimentado con 10 V. Determine el voltaje de salida con $R1 = 10$K, tanto el real como el linealizado.

Eligiendo $R = 100$ (equilibrio),

Ejercicio

Se pretende medir resistencias entre 100 y 150Ω usando un puente de Wheatstone alimentado con 10 V. Determine el voltaje de salida con $R1 = 10$K, tanto el real como el linealizado.

Eligiendo $R = 100$ (equilibrio),

$$V_{AB} = V\left(\frac{R_1}{R1+R}\cdot\frac{R_x - R}{R1+R_x}\right) = 10\left(\frac{10000}{10000+100}\cdot\frac{R_x-100}{10000+R_x}\right)$$

$$= 9.901\left(\frac{R_x-100}{10000+R_x}\right)$$

Evaluando los extremos del campo de medida
sí $R_x = 100\Omega \rightarrow V_{AB} = 0$V
sí $R_x = 150\Omega$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Ejercicio

Se pretende medir resistencias entre 100 y 150Ω usando un puente de Wheatstone alimentado con 10 V. Determine el voltaje de salida con $R1 = 10$K, tanto el real como el linealizado.

Eligiendo $R = 100$ (equilibrio),

$$V_{AB} = V\left(\frac{R_1}{R1+R}\cdot\frac{R_x - R}{R1+R_x}\right) = 10\left(\frac{10000}{10000+100}\cdot\frac{R_x-100}{10000+R_x}\right)$$
$$= 9.901\left(\frac{R_x-100}{10000+R_x}\right)$$

Evaluando los extremos del campo de medida
sí $R_x = 100\Omega \rightarrow V_{AB} = 0$V
sí $R_x = 150\Omega \rightarrow V_{AB} = 48.77$mV

Ejercicio (continuación)...

Linealizando ($R1 >> R_X$),

$$V_{AB-\text{lin}} = V\left(\frac{10000}{10000+100} \cdot \frac{R_x - 1000}{10000}\right)$$
$$= 0.0009901\,(R_x - 100)$$

Evaluando los extremos del campo de medida

sí $R_x = 100\Omega \rightarrow V_{AB-\text{lin}} = 0$V
sí $R_x = 150\Omega$

Ejercicio (continuación)...

Linealizando ($R1 >> R_X$),

$$V_{AB-\text{lin}} = V\left(\frac{10000}{10000+100}\cdot\frac{R_x - 1000}{10000}\right)$$
$$= 0.0009901\,(R_x - 100)$$

Evaluando los extremos del campo de medida

sí $R_x = 100\Omega \rightarrow V_{AB-\text{lin}} = 0\text{V}$
sí $R_x = 150\Omega \rightarrow V_{AB-\text{lin}} = 49.50\text{mV}$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Ejercicio (continuación)...

El error de linealización, cuando $R_x = 150\Omega$

$$\epsilon = \left| \frac{V_{AB} - V_{AB-\text{lin}}}{V_{AB}} \right| \times 100$$

Sensores Resistivos
- Medición de Resistencia -

Ejercicio (continuación)...

El error de linealización, cuando $R_x = 150\Omega$

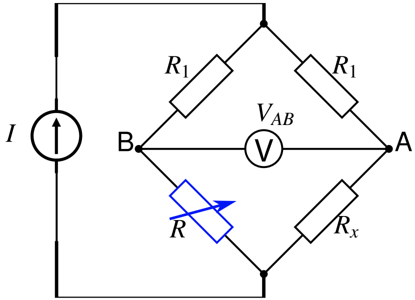
$$\epsilon = \left| \frac{V_{AB} - V_{AB-\text{lin}}}{V_{AB}} \right| \times 100$$

$$\epsilon = 1.5$$

También lo podemos calcular como

$$\epsilon = \frac{Rx}{R1}$$

Puente de Wheatstone-Alimentado con fuente de corriente



TAREA

Obtenga las expresiones del voltaje V_{AB} real y linealizada, de la sensibilidad y del error de linealidad.

Análisis completo del circuito

UNAM

Gracias!

Contact:
https://rgunam.github.io

`rg.unam.sysid@gmail.com`