

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
E.T.S. INGENIERÍA Y DISEÑO INDUSTRIAL

INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

TRANSPARENCIAS TEMA 3: Sensores Reactivos

1

Sensores reactivos. Objetivos

- Conocer el funcionamiento y limitaciones de los sensores capacitivos.
- Distinguir los distintos tipos de sensores inductivos.
- Conocer las limitaciones de medida de los puentes de alterna.
- Aplicar los distintos circuitos específicos para acondicionamiento de sensores reactivos.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores reactivos. Contenidos

PARTE I: SENSORES REACTIVOS

1.- Sensores capacitivos.

- 1.1.- Condensador variable.
- 1.2.- Condensador diferencial.

2.- Sensores inductivos.

- 2.1.- Sensores basados en variación de reluctancia.
- 2.2.- Sensores basados en corrientes de Foucault.
- 2.3.- Transformadores diferenciales (LVDT).
- 2.4.- Sensores magnetoelásticos.

Sensores reactivos. Contenidos (II)

PARTE II: SENSORES REACTIVOS

3.- Medida de impedancia.

4.- Puentes de alterna.

- 3.4.1.- Sensibilidad y linealidad.
- 3.4.2.- Linealización analógica de puentes capacitivos.
- 3.4.3.- Amplificadores de alterna. Desacoplo.

5.- Acondicionadores específicos para sensores

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores reactivos

1. Sensores capacitivos.
 - 1.1.- Condensador variable.
 - 1.2.- Condensador diferencial.
2. Sensores inductivos.
3. Medida de impedancia.
4. Puentes de alterna.
5. Acondicionamiento de sensores capacitivos.

Sensores capacitivos

Condensador variable

- Un condensador (dos conductores separados por un dieléctrico) puede ser utilizado como sensor.
- La capacidad es:

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow C = C(\varepsilon, G) \quad \varepsilon = \text{permitividad}$$

$G = \text{geometría}$

- Cualquier cambio en el dieléctrico o en la geometría puede emplearse para la detección de la magnitud que

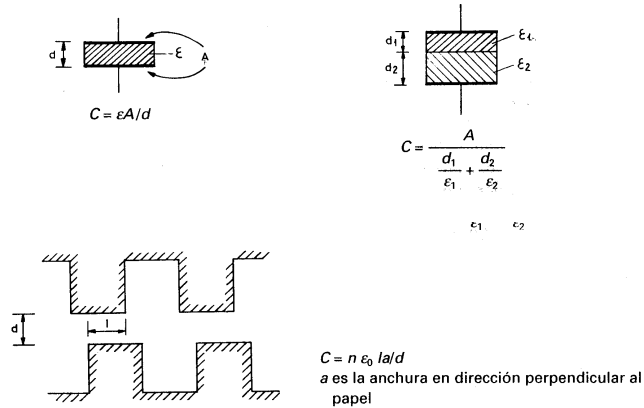
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores capacitivos. Modelo

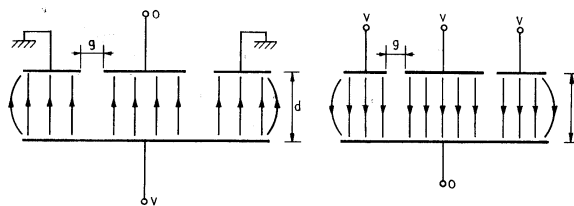
- Diversas configuraciones de sensores



7

Sensores capacitivos. Guardas.

- Uso de guardas para reducir el efecto de bordes



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

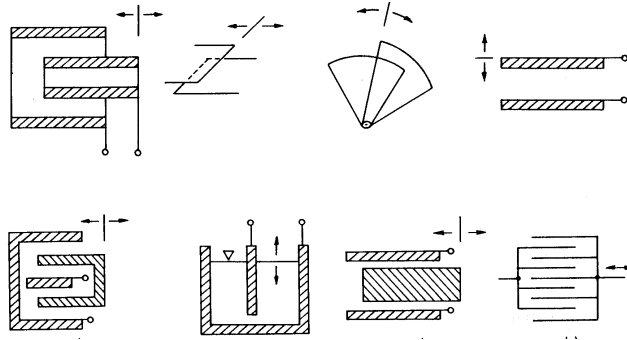
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Cartagena99

Sensores capacitivos.

Construcción.

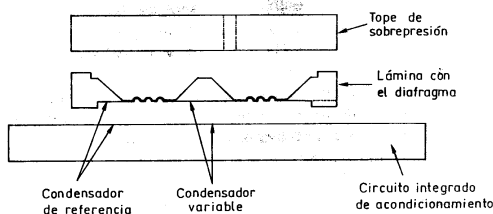
- Sensores capacitivos basados en variación de área, distancia entre placas y de dieléctrico



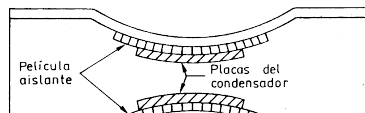
9

Sensores capacitivos. Aplicaciones.

- Ejemplos de uso de sensores capacitivos.



– Medida de presión.



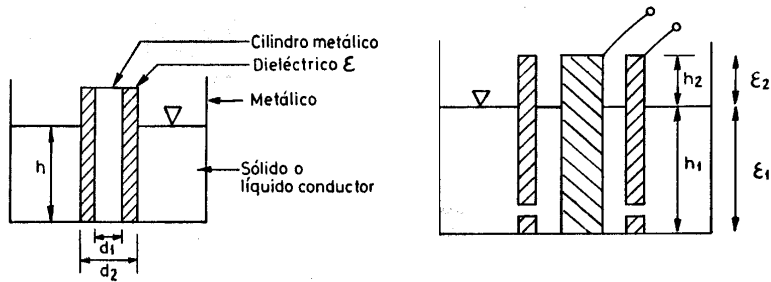
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores capacitivos. Aplicaciones.

- Medida del nivel de líquidos



– Nivel de líquido conductor

– Nivel de líquido no conductor

11

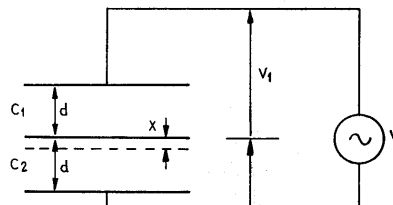
Sensores capacitivos. Condensador diferencial

- Un condensador diferencial está formado por dos condensadores variables que experimentan el mismo cambio pero en sentidos opuestos.

$$V_1 = \frac{V}{Z_1 + Z_2} Z_1 = \frac{V}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} \frac{1}{j\omega C_1} = V \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

$$V_2 = \frac{V}{Z_1 + Z_2} Z_2 = \frac{V}{\frac{1}{j\omega C_1} + \frac{1}{j\omega C_2}} \frac{1}{j\omega C_2} = V \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

$$V_1 - V_2 = V \left(\frac{d+x}{\gamma d} - \frac{d-x}{\gamma d} \right) = V \frac{x}{d}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

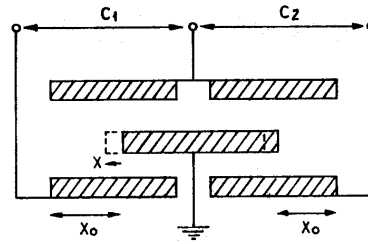
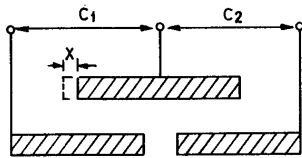
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores capacitivos.

Condensador diferencial.

- Condensador diferencial basado en la variación de área.



$$C_1 = \epsilon \frac{a(x_0 - x)}{d} = \epsilon \frac{a}{d} x_0 \frac{x_0 - x}{x_0} = C_0 \frac{x_0 - x}{x_0}$$

$$C_2 = \epsilon \frac{a(x_0 + x)}{d} = \epsilon \frac{a}{d} x_0 \frac{x_0 + x}{x_0} = C_0 \frac{x_0 + x}{x_0}$$

13

Sensores reactivos

1. Sensores capacitivos.
2. Sensores inductivos.
 - 2.1.- Sensores basados en variación de reluctancia.
 - 2.2.- Sensores basados en corrientes de Foucault.
 - 2.3.- Transformadores diferenciales (LVDT).
 - 2.4.- Sensores magnetoelásticos.
3. Medida de impedancia.
4. Fuentes de alterna

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores inductivos

Inductancia variable

- La inductancia de un circuito indica el flujo magnético que concatena debido a una corriente eléctrica, bien que circula por el propio circuito (autoinductancia) o no (inductancia mutua).

$$L = N \frac{d\Phi}{di}$$

$$\Phi = \frac{M}{R}$$

$$M = N * i$$

$$\dot{i} \} \dot{i} \} \dot{i}$$

$$\dot{i} \Rightarrow L = \frac{N^2}{R} \dot{i}$$

N = número de vueltas del circuito

i = corriente

Φ = flujo

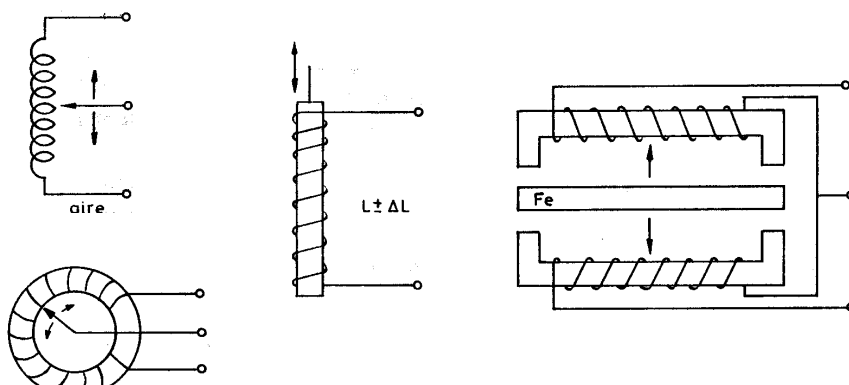
M = fuerza magnetomotriz

R = reluctancia magnética

15

Sensores inductivos. Constitución.

- Diversas configuraciones de sensores



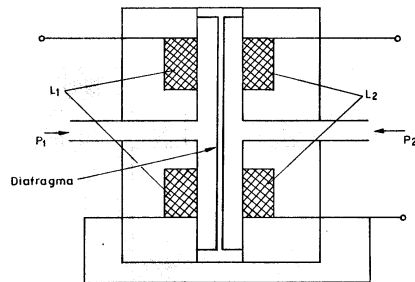
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores inductivos. Aplicaciones.

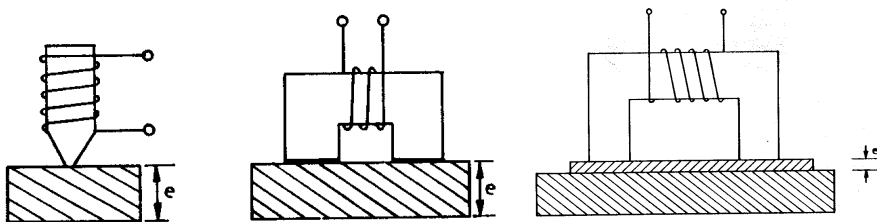
- Medida de desplazamiento y posición.
- Medida de presión:



17

Sensores inductivos. Aplicaciones

- Medida de espesor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

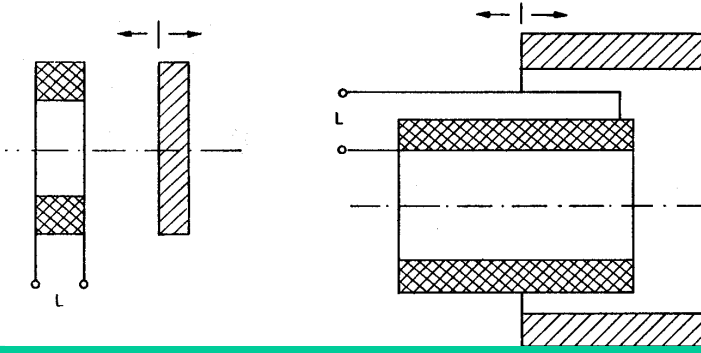
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores inductivos

Sensores basados en corrientes de Foucault

- Corrientes inducidas en un conductor cuando entra en el campo creado por una bobina.
- La impedancia de la bobina se ve alterada.

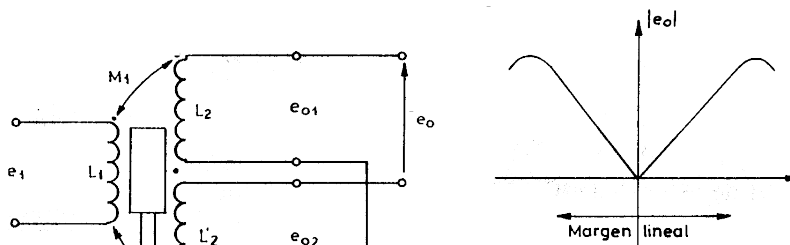


19

Sensores inductivos

Transformador diferencial (LVDT)

- Basado en la variación de la inductancia mutua entre un primario y dos secundarios al desplazarse entre ellos un núcleo de material ferromagnético.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Sensores inductivos

Transformador diferencial. Circuito equivalente

En el primario:

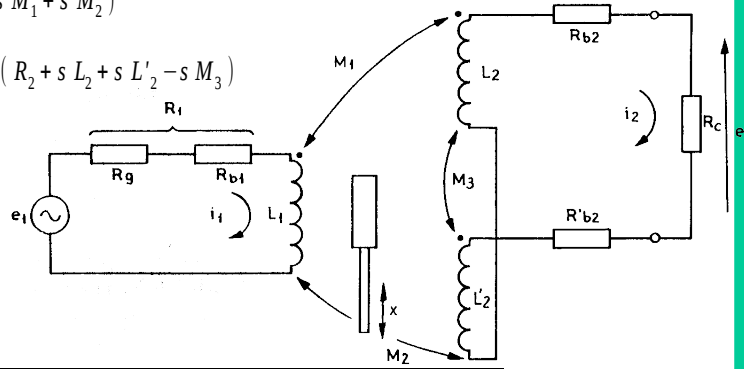
$$E_1 = I_1 (R_1 + s L_1) + I_2 (-s M_1 + s M_2)$$

En el secundario:

$$0 = I_1 (-s M_1 + s M_2) + I_2 (R_2 + s L_2 + s L'_2 - s M_3)$$

con:

$$R_2 = R_{B2} + R'_{B2} + R_C$$



Combinando:

$$I_2 = \frac{-s (M_2 - M_1) E_1}{s^2 [L_1 (L_2 + L'_2 - 2 M_3) - (M_2 - M_1)^2] + s [R_2 L_1 + (L_2 + L'_2 - 2 M_3)] + R_1 R_2}$$

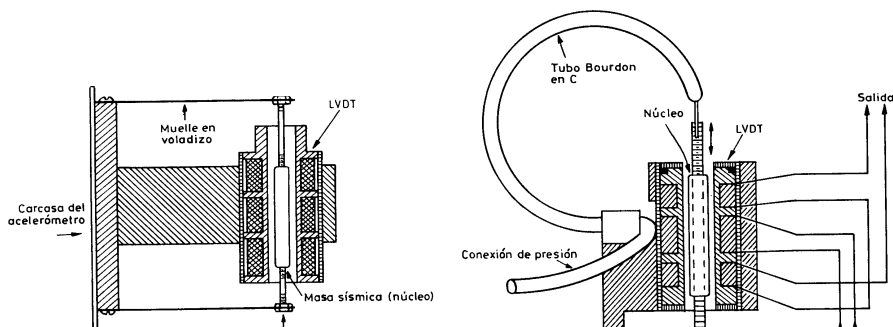
La tensión de salida es:

$$E_0 = I_2 R_C$$

Sensores inductivos

Ejemplos de aplicación del LVDT.

- Medida de aceleración (a) y presión (b)



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

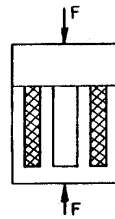
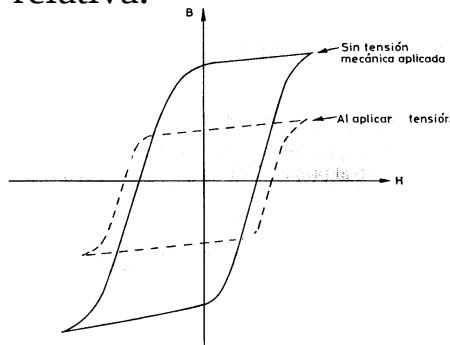
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

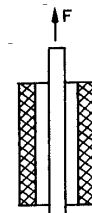
Sensores inductivos

Sensores magnetoelásticos

- Basados en el efecto Villari.
- Un esfuerzo provoca cambios en su curva de magnetización -> se modifica su permeabilidad relativa.



Compresión



Tracción

23

Sensores reactivos

1. Sensores capacitivos.
2. Sensores inductivos.
3. Medida de impedancia.
4. Puentes de alterna.
5. Acondicionamiento de sensores capacitivos.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Medida de impedancia

Condensador variable

- Los sensores vistos varían su impedancia con la magnitud a medir.
- Para obtener una señal útil necesitamos:
 - Una fuente de tensión alterna para alimentar el componente.
 - Alguna forma de detectar las variaciones producidas.
- Una forma de detectar las variaciones es medir la impedancia.

25

Medida de impedancia

Circuito linealizador.

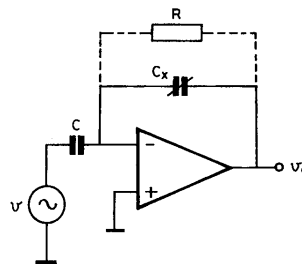
- Excitamos el sensor a corriente constante.

Si C_x es:

$$C_x = C_0 \frac{1}{1+x}$$

la tensión de salida vale:

$$v_0 = -v \frac{Z_x}{Z} = -v \frac{C}{C_0} (1+x)$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

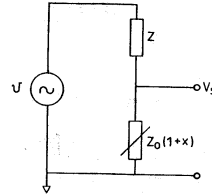
Cartagena99

Medida de impedancia

- Divisor de tensión

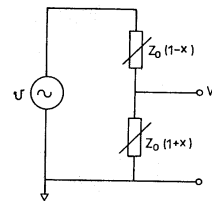
- Sensor simple

$$v_s = v \frac{Z_0(1+x)}{Z + Z_0(1+x)} = v \frac{1+x}{2+x}$$



- Sensor diferencial

$$v_s = v \frac{Z_0(1+x)}{Z_0(1-x) + Z_0(1+x)} = v \frac{1+x}{2}$$



27

Sensores reactivos

1. Sensores capacitivos.
2. Sensores inductivos.
3. Medida de impedancia.
4. Puentes de alterna.
5. Acondicionamiento de sensores capacitivos.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

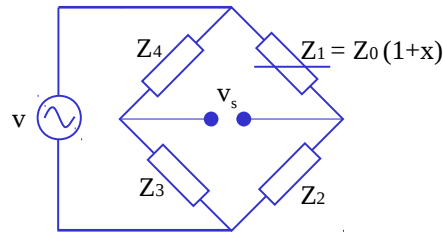
Cartagena99

Puentes de alterna

- Podemos utilizar puentes en alterna.
- Puente general

$$v_s = -v \frac{x}{2(2+x)}$$

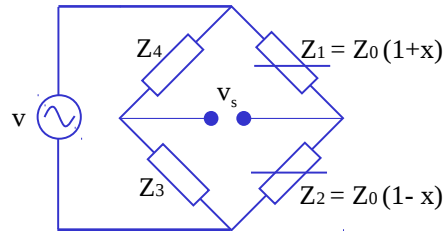
si $Z_0 = Z_2 = Z_3 = Z_4$



- Puente lineal

$$v_s = v \frac{x}{2}$$

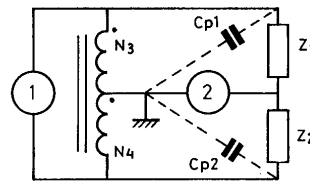
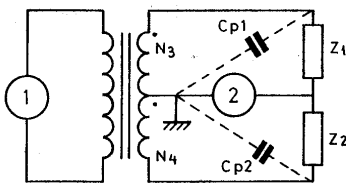
si $Z_0 = Z_3 = Z_4$



29

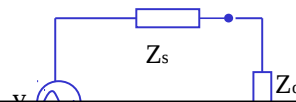
Puentes de alterna

- Puentes de Blumlein, con transformador:



- Circuito equivalente

$$Z_s = Z_1 || Z_2$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

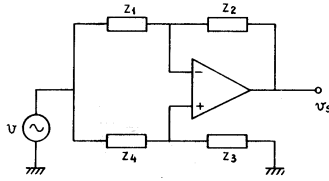
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

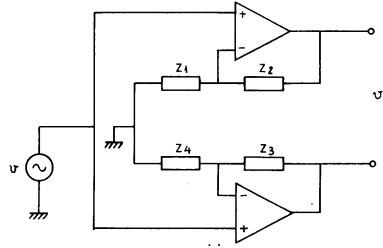
Puentes de alterna

Linealización analógica de puentes capacitivos

- Son circuitos menos complejos y más lineales que los puentes. Ejemplos:



$$v_s = v \frac{\frac{Z_3}{Z_4} - \frac{Z_2}{Z_1}}{1 + \frac{Z_3}{Z_4}}$$



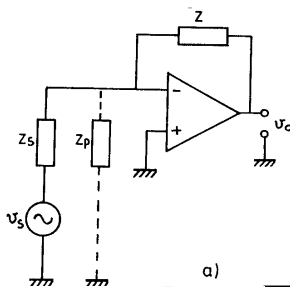
$$v_s = v \frac{Z_2}{Z_1} - \frac{Z_3}{Z_4}$$

31

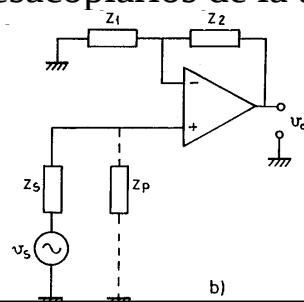
Puentes de alterna

Amplificadores de alterna. Desacoplo.

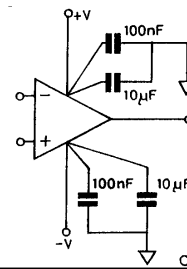
- Permiten amplificar la salida del puente.
- No es necesario que sean diferenciales.
- Es conveniente desacoplarlos de la alimentación.



a)



b)



c)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

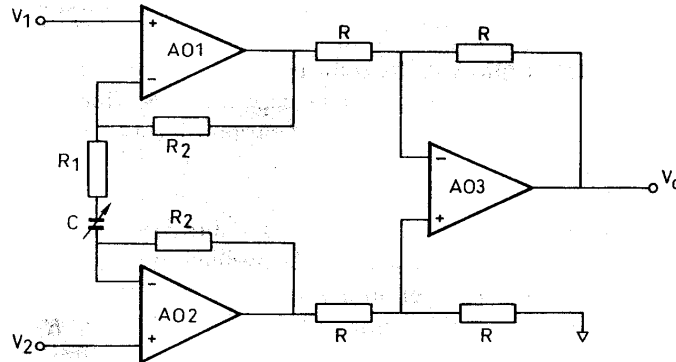
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Puentes de alterna

Amplificador sintonizado

- Para variaciones lentas de la magnitud.
- Tiene un ancho de banda estrecho, centrado en la frecuencia de alimentación.

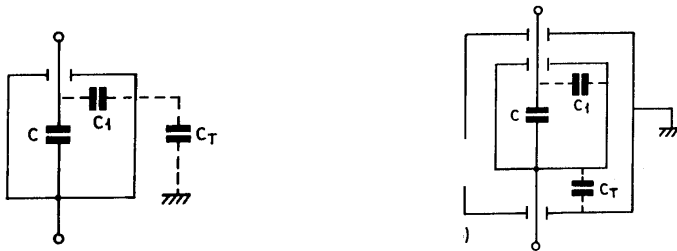


33

Puentes de alterna

Blindajes electrostáticos

- Su objetivo es mantener la capacidad constante, independientemente del entorno.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

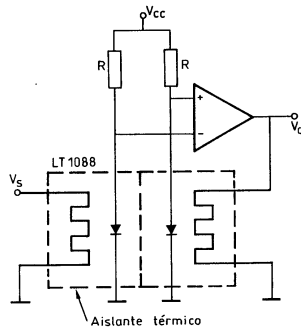
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

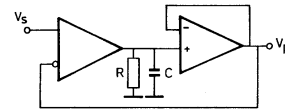
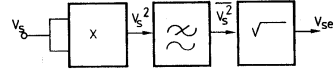
Puentes de alterna

Convertidores alterna-continua.

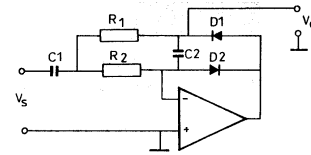
- Permiten obtener un valor continuo significativo a partir de la salida alterna del puente.



– Medida de valor eficaz



– Detector de pico



– Medida de valor absoluto

35

Sensores reactivos

1. Sensores capacitivos.
2. Sensores inductivos.
3. Medida de impedancia.
4. Puentes de alterna.
5. Acondicionamiento de sensores capacitivos.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

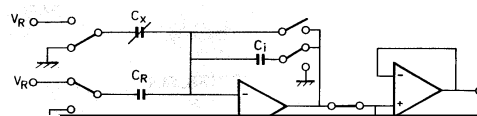
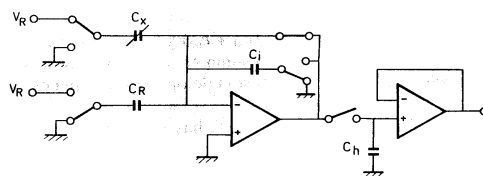
Acondicionamiento específico de sensores capacitivos

- Podemos integrar en un chip sensores capacitivos, pero no puentes.
- Por ello se han desarrollado circuitos de acondicionamiento específico, que son:
 - Fácilmente integrables.
 - Inmunes a las capacidades parásitas.
- Veamos algunos ejemplos.

37

Acondicionamiento específico de sensores capacitivos

Método de redistribución de carga



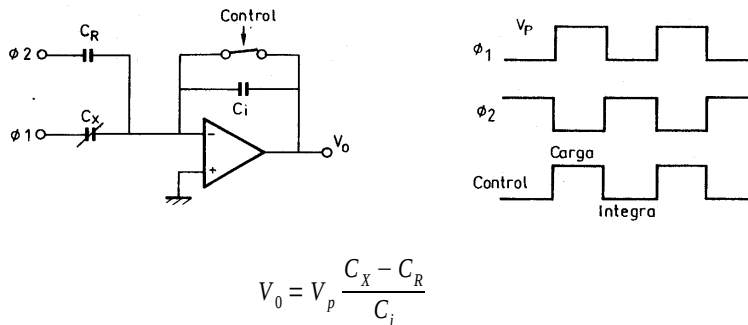
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99

Acondicionamiento específico de sensores capacitivos

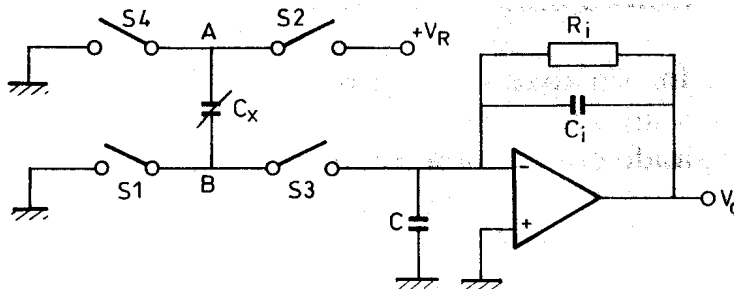
Integrador basado en condensadores conmutados



39

Acondicionamiento específico de sensores capacitivos

Método de transferencia de carga



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Cartagena99