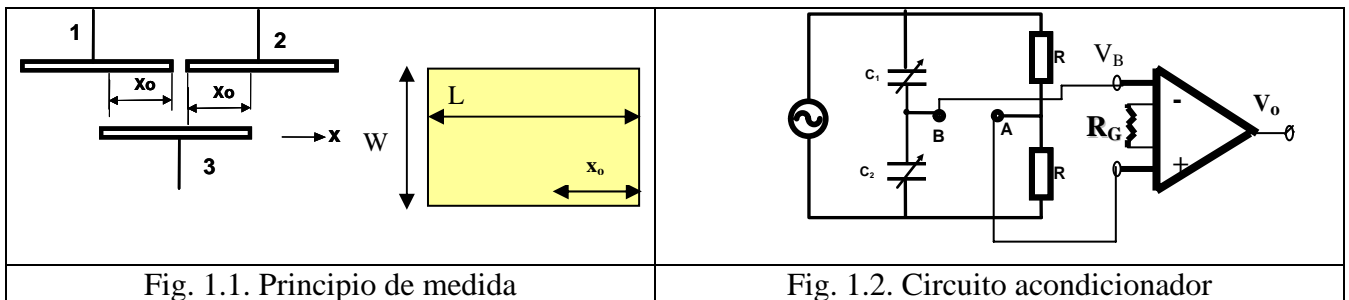


## Ejercicios de repaso con soluciones

### Sensores de posición

#### Problema 1

Se pretende diseñar un sistema para la medida de desplazamientos a partir de un sensor capacitivo de tipo diferencial como el que se muestra en la Fig. 1.1 y utilizando el circuito acondicionador de la Fig.1.2. En el sensor diferencial todas las placas tienen una sección  $S$  ( $W \times L$ ) y la separación entre 1 y 3 es " $d$ ".



- a) calcule la expresión de la capacidad diferencial  $C_1$ - $C_2$  en función del desplazamiento " $x$ " a medir, ¿es lineal?

La capacidad de un condensador de láminas plano paralelas, en función de su geometría y dieléctrico entre las mismas viene dada por:

$C = \epsilon S/d$ , donde " $\epsilon$ " es la permitividad del medio existente entre las placas del condensador, " $d$ " y " $S$ " la distancia entre las mismas y el área común entre ambas, respectivamente.  $S$  toma uno u otro valor, según la posición de la placa móvil.

De forma, que particularizando para el condensador formado por las placas 1 y 3,  $C_1$ , y el formado por 2 y 3,  $C_2$  y suponiendo un desplazamiento en el sentido indicado en la Fig. 1.1, se obtiene:

$$C_1 = \epsilon (W/d)(x_0 - x)$$

$$C_2 = \epsilon (W/d)(x_0 + x)$$

Luego  $C_2 - C_1 = \epsilon (W/d)(2x)$  es efectivamente lineal

- b) describa el comportamiento del circuito acondicionador, verificando que  $C_1$  y  $C_2$  operan en régimen de push-pull ante el desplazamiento a medir, es decir,  $C_2 = C_0 + \Delta C$  y  $C_1 = C_0 - \Delta C$ . Siendo  $C_0$  la capacidad en reposo ambos condensadores. Y calcule la tensión de salida de pico del puente de Wheatstone  $V_A - V_B$  en función de la excitación del puente y el desplazamiento a medir.

A partir de las expresiones anteriores y definiendo  $C_0 = \epsilon (W/d)(x_0)$ , se obtiene

$$C_1 = \epsilon (x_0 - x)(W/d) = C_0 - \epsilon (x)(W/d) = C_0 - \Delta C$$

$$C_2 = \epsilon (x_0 + x)(W/d) = C_0 + \epsilon (x)(W/d) = C_0 + \Delta C$$

Si se define la señal de excitación como  $V_p \text{sen}(\omega t)$  se obtiene que la tensión de pico diferencial  $V_A - V_B$  es igual a:

$$V_A - V_B = V_p/2 - V_p(Z_2/(Z_1 + Z_2)) = V_p[1/2 - C_1/(C_1 + C_2)] = V_p/2[(C_2 - C_1)/(C_2 + C_1)]$$

Si sustituimos las expresiones anteriores

$$(C_2 - C_1) = 2 \Delta C \text{ y } (C_2 + C_1) = 2 C_0$$

Luego

$$V_A - V_B = V_p/2[\Delta C/C_0] = V_p/2[x/x_0]$$

Luego el comportamiento del circuito es el siguiente:

-El puente de Wheatstone, o circuito del acondicionador pasivo, convierte las variaciones de capacidad que provoca el desplazamiento “x” en variaciones de tensión diferencial a su salida,

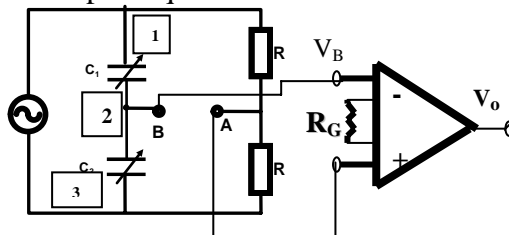
-esta tensión diferencial se amplifica a través del amplificador de instrumentación AD620.

**c) determine cómo conectaría los terminales 1, 2 y 3 del sensor capacitivo diferencial en el circuito acondicionador y represente el sistema de medida completo.**

El terminal 3, al terminal común B; el terminal 1 a la alimentación V y el terminal 3 a tierra.

Por otro lado, el terminal B se conecta a la entrada inversora y el terminal A a la no inversora del amplificador de instrumentación para que la salida varíe de forma positiva a medida que se produce el desplazamiento en el sentido que indica la figura 1.1.

El circuito completo quedaría



**d) calcule la tensión de salida del circuito en función de x y  $R_G$  (se adjuntan las hojas de características del AD620)**

A partir de la expresión:  $V_A - V_B = V_p/2[\Delta C/C_0] = V_p/2[x/x_0]$  y sabiendo que  $V_o = G(V_A - V_B)$  con  $G = 1 + 49.4k/R_G$  se obtiene:

$$V_o = V_p (1 + 49.4k/R_G)[x/2x_0]$$

- e) Diseñe todos los componentes del sistema para que la amplitud de la señal de salida varíe de 0 a 5Vp para un desplazamiento de 0 a 5mm, si el dieléctrico entre las placas es propano líquido con una permitividad relativa de 1,6 y  $x_0 = 25\text{mm}$ . ¿Qué ocurre en el caso de que el dieléctrico sea petróleo con una permitividad relativa de 2?


$V_o/V_p = (1 + 49.4k/R_G) [x/2x_0]$  De forma que particularizando para:

- $x=0$ ,  $V_o/V_p=0$
- $x=25\text{mm}$ ,  $V_o/V_p=5/1 = (1 + 49.4k/R_G) [5\text{mm}/50\text{mm}]$  luego  $R_G = [(5 \cdot 10^{-1})/49.4k]^{-1} = 1,008k$

El tipo de dieléctrico no afecta en la medida.

2.- Se quiere utilizar uno de los LVDT cuyas características se adjuntan para medir desplazamientos de  $\pm 3\text{mm}$ .

Specification		
	DG/1.0 & DG/2.5	DG/5.0
Calibrated range	$\pm 1\text{mm}$ & $\pm 2.5\text{mm}$	$\pm 5\text{mm}$
<b>Mechanical</b>		
Outward travel from zero	2.65mm $\pm 0.05$	5.15mm $\pm 0.05$
Inward travel from zero	3.35mm $\pm 0.2$	5.85mm $\pm 0.2$
Spring rate	13g/mm	10g/mm
Spring force at electrical zero	90g	70g
Gaiter material	Viton	Viton
Probe tip	$\phi 3\text{mm}$	$\phi 3\text{mm}$
<b>Electrical</b>		
Winding configuration	LVDT	LVDT
Calibrated @	10V dc into 20k $\Omega$	10V dc into 20k $\Omega$
Energising voltage range	10-24V dc stabilised	10-24V dc stabilised
Energising current	10mA @ 10V dc	13mA @ 10V dc
Sensitivity	750mV/mm @ 10V	540mV/mm @ 10V
Output ripple	< 1%pk-pk of F.S.output	< 1%pk-pk of F.S.output
Non-linearity	< 0.3% of full range output	< 0.3% of full range output
Repeatability	< 0.15 $\mu\text{m}$	< 0.15 $\mu\text{m}$
Temperature range	-20 to +80 $^{\circ}\text{C}$	-20 to +80 $^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient Zero	Typ 0.01%F.S./ $^{\circ}\text{C}$	Typ 0.01%F.S./ $^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient Sensitivity	Typ 0.02%F.S./ $^{\circ}\text{C}$	Typ 0.02%F.S./ $^{\circ}\text{C}$
Dynamic frequency for -3dB attenuation	75Hz	50Hz
Response time constant	Typ 3ms	Typ 5ms
<b>Electrical connections</b>		
Positive energising	Red	Red
Negative energising	Blue	Blue
Signal (+ve output for inward displacement)	White	White
Single earth	Green	Green



- Cualquiera de los modelos vale, pero los DG/1.0 o DG/2.5 son los más adecuados por su mayor sensibilidad y menor consumo.
- Si se alimenta el LVDT con 10V, la salida variará entre  $-1,62\text{V}$  y  $+1,62\text{V}$ , independientemente de la temperatura.
- La diferencia máxima entre dos medidas consecutivas de la misma posición y realizadas en las mismas condiciones es de  $\pm 0,15\mu\text{m}$ .
- Ninguna de las anteriores.

a) **Falsa**, sólo el DG/5.0 tiene un rango suficiente ( $> \pm 3\text{mm}$ ) para la aplicación planteada.



- b) **Falsa**, la sensibilidad del LVDT (y por tanto, el rango en que varía la tensión a su salida para el rango de desplazamiento de  $\pm 3\text{mm}$ ) deriva con la temperatura a razón de  $0.02\% / ^\circ\text{C}$ .
- 
- c) **Verdadera**, La repetitividad del LVDT es de  $\pm 0,15\mu\text{m}$ .
- 
- d) **Falsa**, c) es verdadera