

PRACTICA No 11

TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO - VOLTAJE

INTRODUCCION

Un instrumento que tiene como variable de entrada un desplazamiento lineal y como salida una señal de voltaje, proporcional a la entrada, se puede implementar mediante varios transductores como los mostrados en la figura 1.

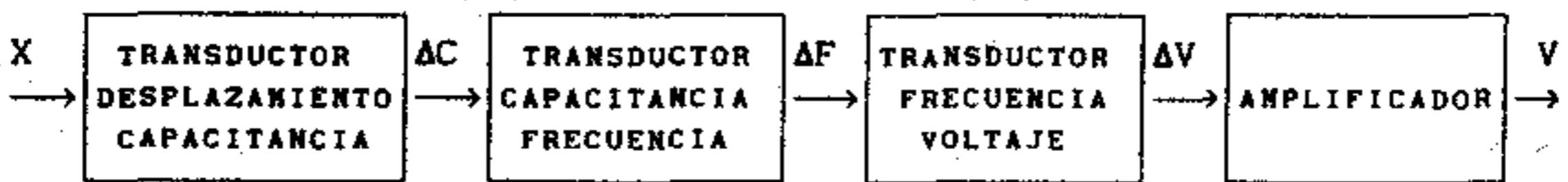


Figura 1

En este instrumento, la relación salida / entrada (voltaje / desplazamiento) corresponde al producto de las relaciones salida / entrada de cada uno de los bloques ya que se encuentran conectados en cascada. Es decir, la sensibilidad del transductor está dada por el producto de las sensibilidades individuales.

TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO-CAPACITANCIA

Es un transductor formado por dos cilindros concéntricos, en el cual al desplazar el cilindro interior, se varía el área de enfrentamiento entre ellos como se muestra en la figura 2, por lo que se tiene en consecuencia una variación en la capacitancia cuyo valor depende de la posición del cilindro interior.

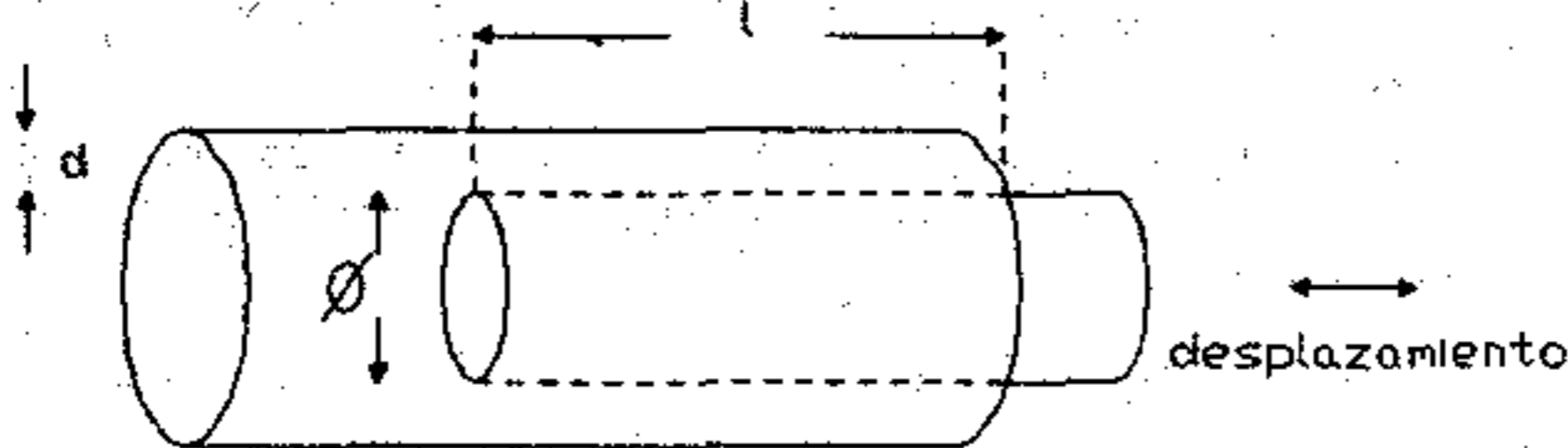


Figura 2

donde:

ϕ = diámetro medio

l = longitud (variable según la posición)

El área de enfrentamiento es:

$$A = (\pi)(\phi)(l) \quad (1)$$

y la capacitancia está dada por:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (2)$$

donde:

ϵ_r - permitividad del dieléctrico

ϵ_0 - permitividad del aire (8.85 [pf/m])

d - distancia entre cilindros

A - área de enfrentamiento (variable según la posición)

sustituyendo (1) en (2):

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi \phi l}{d} \quad (3)$$

La sensibilidad puede determinarse a partir de la parcial de la función de salida con respecto a la variable de entrada:

$$\frac{\delta C}{\delta l} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \pi \phi}{d} \quad (4)$$

o bien, experimentalmente con las variaciones de capacitancia con respecto al desplazamiento:

$$\frac{\Delta C}{\Delta l} = \frac{C_{n-1} - C_n}{l_{n-1} - l_n} \quad (5)$$

TRANSDUCTOR CAPACITANCIA FRECUENCIA

Para convertir las variaciones de capacitancia en las correspondientes variaciones de frecuencia es útil el circuito oscilador sintonizado LC como el mostrado en la figura 3.

El circuito tanque de la figura anterior presenta la configuración mostrada en la figura 4.

En este circuito, la capacitancia equivalente está dada por:

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3 \quad (6)$$

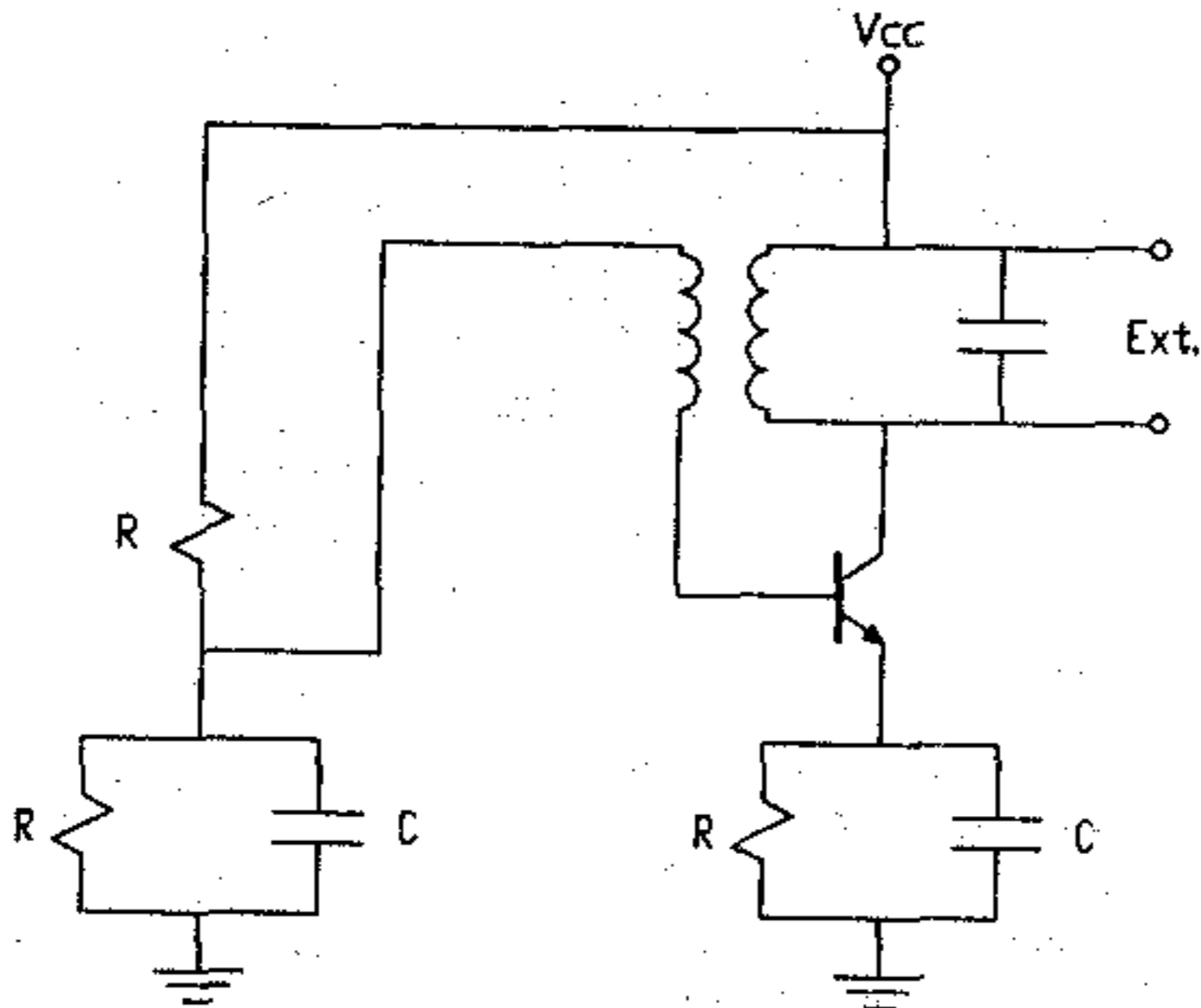


Figura 3

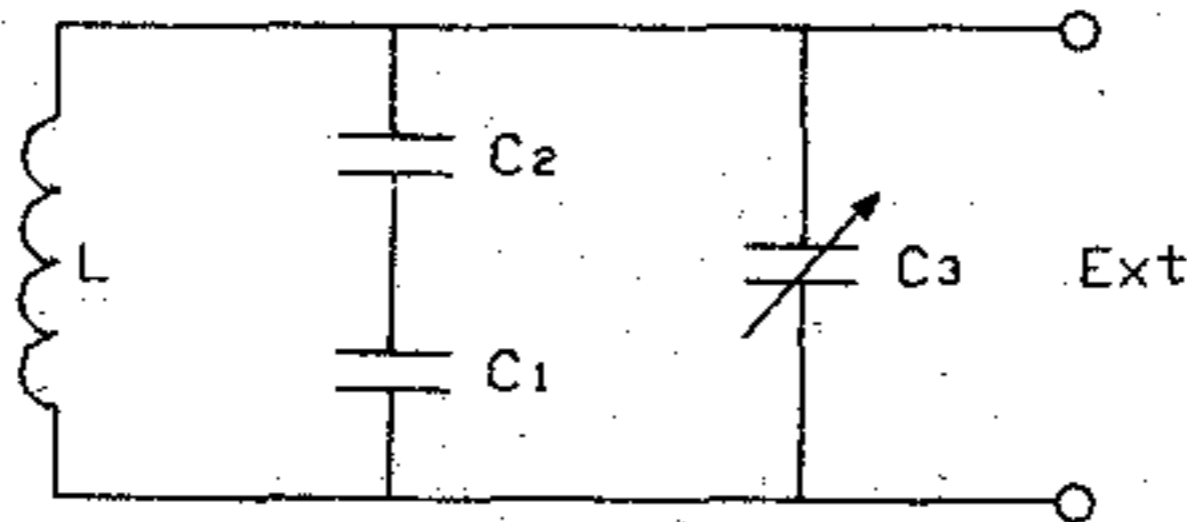


Figura 4

Del circuito tanque anterior se observa que la capacitancia equivalente tiene diferentes valores dependiendo del capacitor variable C_3 , esto permite hacer un ajuste a condiciones iniciales a la frecuencia conveniente o deseada.

La frecuencia de oscilación del circuito sintonizador está dada por la frecuencia de resonancia del circuito tanque, esto es:

$$f_{osc} = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L C}} \quad (7)$$

Al conectarse la salida del transductor posición-capacitancia en las terminales de componente externo del circuito tanque, se tendrá que la nueva capacitancia equivalente es la suma $(C_{eq} + C_x)$ con lo que la frecuencia de oscilación variará de acuerdo con la capacitancia C_x del transductor posición-capacitancia.

La sensibilidad de este transductor se obtiene evaluando la parcial de la frecuencia con respecto a la capacitancia :

$$\frac{\delta f_{osc}}{\delta C} = - \frac{1}{4 \pi C \sqrt{LC}} \quad (8)$$

Experimentalmente se puede determinar mediante las variaciones de frecuencia de la señal de salida con respecto a las variaciones de capacitancia esto es:

$$\frac{\Delta f_{osc}}{\Delta C} = \frac{f_{n-1} - f_n}{C_{n-1} - C_n} \quad (9)$$

TRANSDUCTOR FRECUENCIA-VOLTAJE

Este transductor es un demodulador de FM (discriminador), el cual transforma una señal de corriente alterna en un voltaje de corriente directa cuyo valor depende de la frecuencia de entrada. La figura 5 muestra el demodulador balanceado o discriminador de frecuencias configuración Foster Seeley, que es el utilizado en el módulo de la práctica.

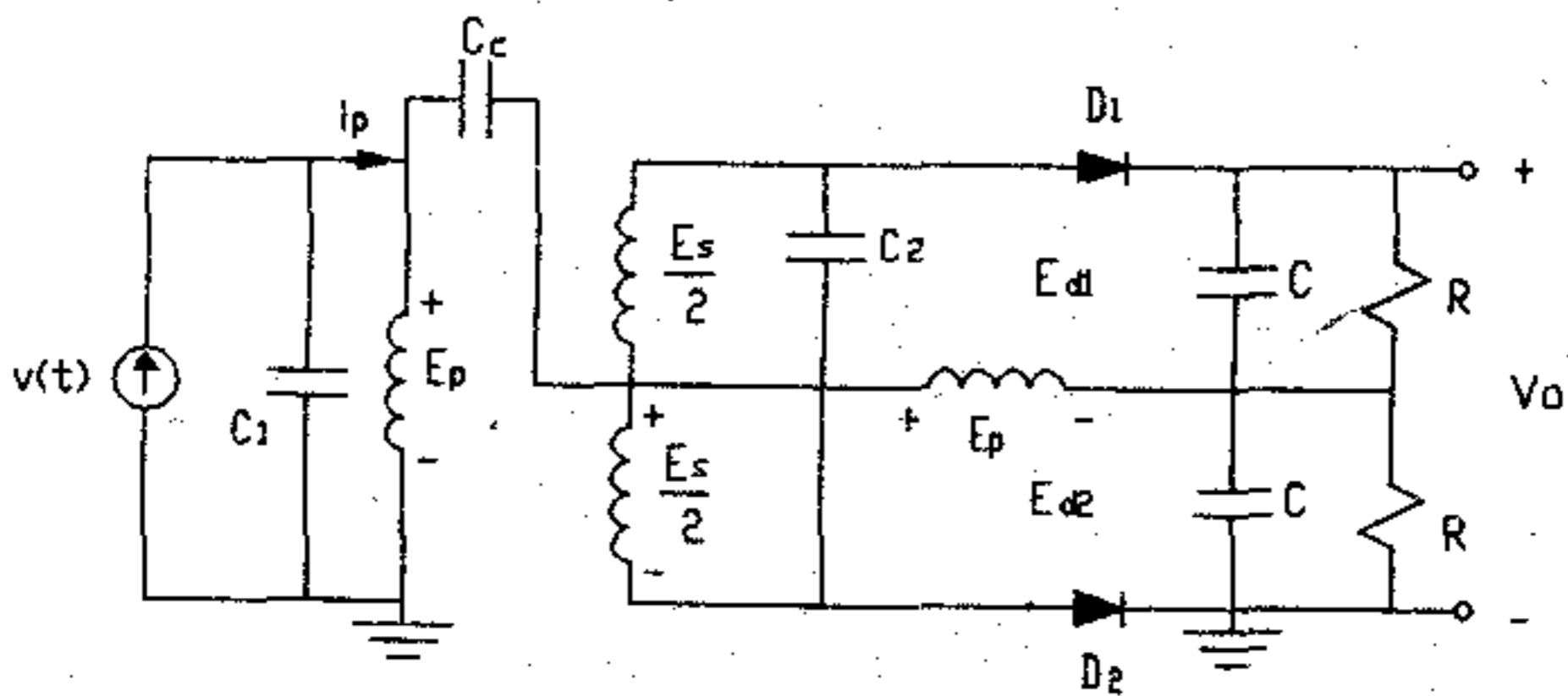


Figura 5

Utiliza un circuito doblemente sintonizado con una conexión de ca entre el primario y el centro del secundario. Los capacitores C_c y C tienen impedancia despreciable en $\omega = \omega_c$. Todo el voltaje del primario aparece a través de la bobina L . El voltaje en el detector superior es: $E_{d1} = E_p + E_s/2$ y para el detector inferior es $E_{d2} = E_p - E_s/2$

En la figura 6 se muestra el circuito equivalente simplificado.

Los parámetros se ajustan de modo que el circuito se encuentre en resonancia en $\omega = \omega_c$. Bajo esta condición la corriente I se encuentra en fase con el voltaje E_p ; en consecuencia, el voltaje a través del capacitor C_2 , que es causado por I , retrasa a E_p 90° . Pero el voltaje a través de C_2

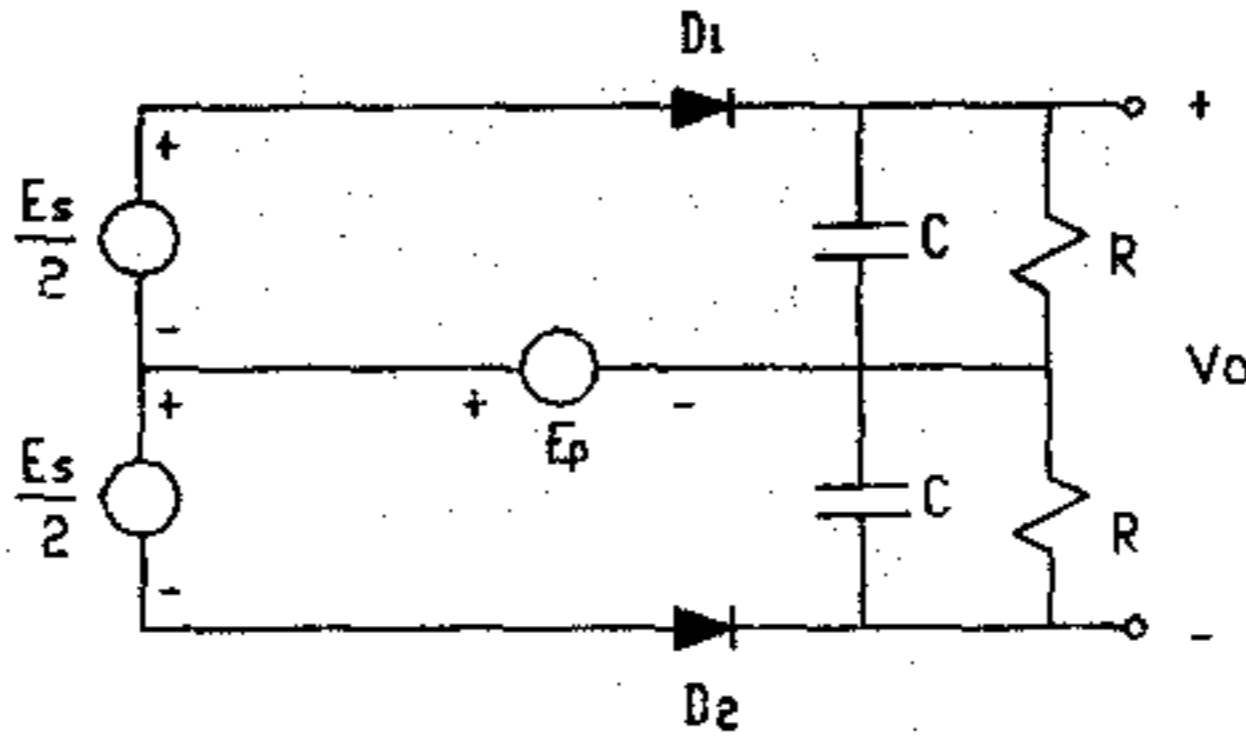


Figura 6

es E_s . Por tanto E_s retrasa a E_p 90° en $\omega = \omega_c$. Para $\omega > \omega_c$, el circuito es inductivo, e I retrasa a E_p . En consecuencia, E_s retrasa a E_p mas de 90° . En forma similar, E_s retrasa E_p menos de 90° para $\omega < \omega_c$. Esto se muestra en los diagramas fasoriales de la figura 7.

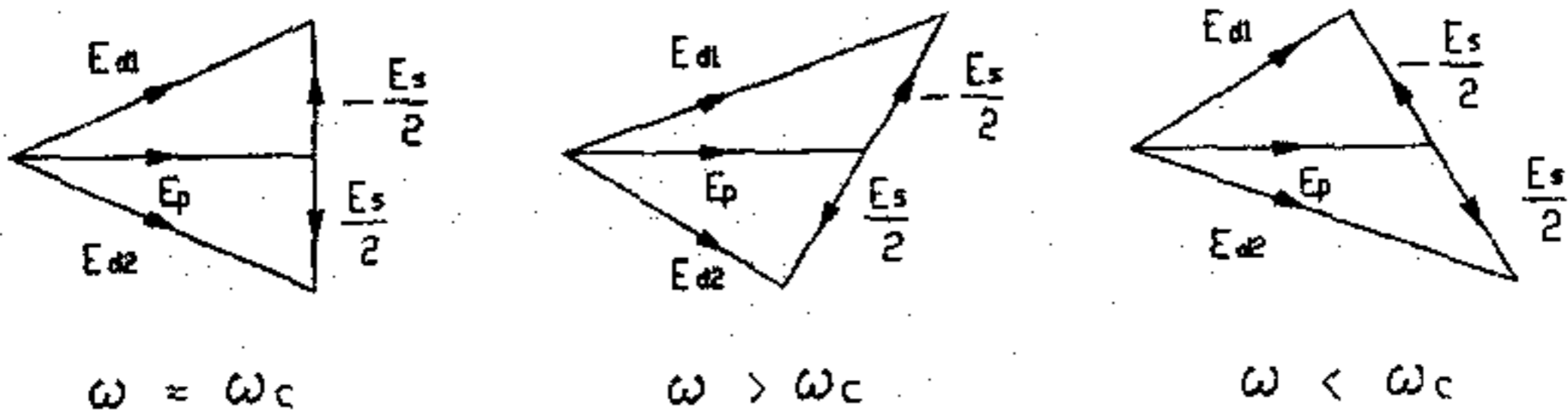


Figura 7

La salida v_0 es $|E_{d1}| - |E_{d2}|$, que es la diferencia de las dos salidas del detector.

De lo anterior se obtiene que $v_0 = 0$ en $\omega = \omega_c$ con v_0 aumentando para $\omega > \omega_c$ y disminuyendo para $\omega < \omega_c$ como se observa en la figura 8.

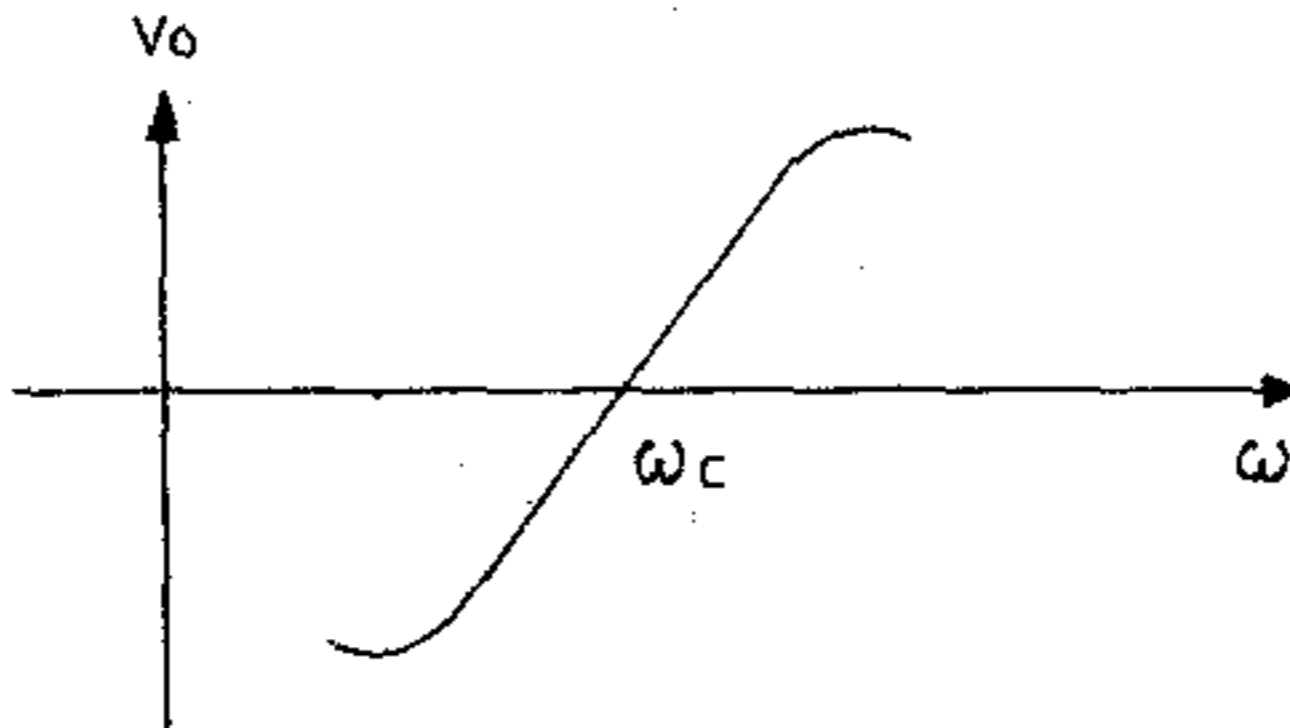


Figura 8

AMPLIFICADOR

Debido a que el voltaje que se genera a la salida del discriminador es muy pequeño, es conveniente amplificarlo para realizar la lectura en un voltmetro común; el amplificador utilizado tiene una configuración de amplificador diferencial como lo muestra la figura 9 :

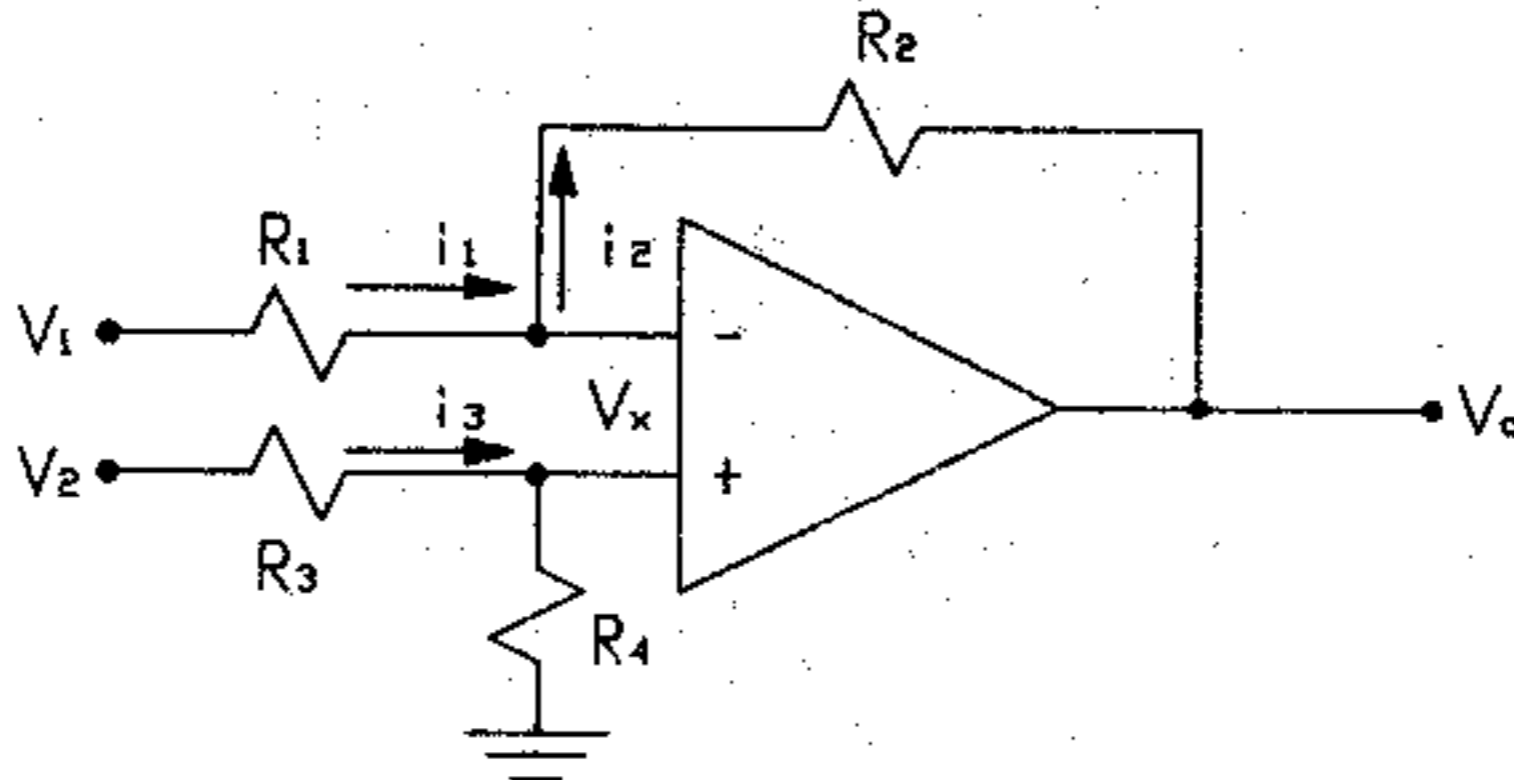


Figura 9

En un amplificador operacional la impedancia de entrada Z_i puede considerarse como infinita y la impedancia de salida Z_o es casi cero. Tomando en cuenta lo anterior, puede despreciarse la corriente que fluye a través del amplificador por tanto la suma de corrientes en el nodo 1 será:

$$i_1 - i_2 = 0 \quad (10)$$

pero:

$$i_1 = \frac{V_1 - V_x}{R_1} \quad (11)$$

$$i_2 = \frac{V_o - V_x}{R_2} \quad (12)$$

por otra parte:

$$V_{n1} = V_{n2} = V_x \quad (13)$$

y

$$V_x = \frac{V_2 R_4}{R_3 + R_4} \quad (14)$$

Sustituyendo (11) y (12) en (10):

$$\frac{V_1 - V_x}{R_1} - \frac{V_o - V_x}{R_2} = 0 \quad (15)$$

Evaluando la ecuación (15) para V_o , sustituyendo (14) y considerando que $R_1 = R_3$ y $R_2 = R_4$ se obtiene:

$$V_o = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \quad (16)$$

Por tanto el voltaje de salida será la diferencia $(V_2 - V_1)$ multiplicada por el factor (R_2/R_1) al cual se le llama ganancia (G) esto es:

$$V_o = G (V_2 - V_1)$$

OBJETIVOS

- Proporcionar al alumno los conocimientos teórico-prácticos sobre los transductores capacitivo, oscilador tipo tanque, discriminador de frecuencias y amplificador operacional.
- Caracterizar cada uno de los módulos.
- Implementar un transductor de posición a voltaje.

EQUIPO Y MATERIAL

Transductor capacitivo de cilindros concéntricos
Módulo oscilador 294 C
Discriminador de frecuencias 294 D
Módulo amplificador 294 B
Osciloscopio
Medidor de capacitancias
Medidor de frecuencia
Generador de señales
Vóltmetro
Cables de conexión

NOTA 1

Es importante que al realizar cualquier medición en los experimentos propuestos se retiren las manos de los módulos para evitar errores por capacitancias parásitas.

NOTA 2

Se debe procurar no mover los módulos, y los cables para interconectar los módulos sean lo más corto posible; ya que de lo contrario puede haber errores debido a variaciones en la capacitancia por la proximidad entre los cables.

NOTA 3

Se debe tener cuidado de polarizar correctamente los módulos con los voltajes indicados de lo contrario pueden dañarse.

DESARROLLO

EXPERIMENTO I CARACTERIZACION DEL TRANSDUCTOR DE POSICION-CAPACITANCIA

- a) Fije el transductor posición-capacitancia en la base del micrómetro como lo muestra la figura 10.

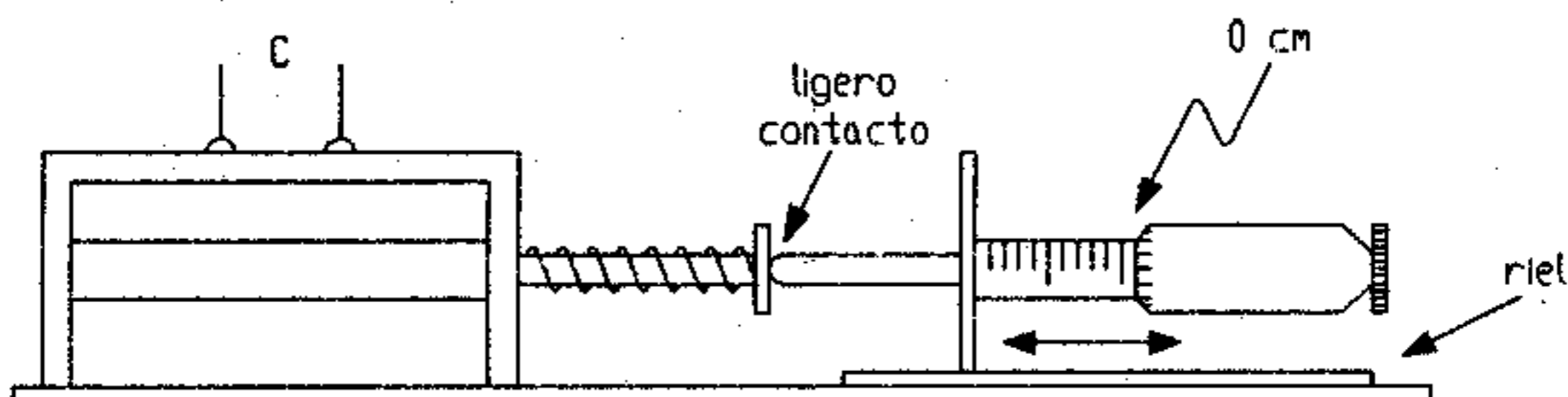


Figura 10

- Gire el tornillo de ajuste del micrómetro para que éste indique 0 cm; desplácelo sobre el riel hasta que la punta del micrómetro apenas haga contacto con el émbolo del capacitor variable; éstas son las condiciones iniciales para realizar las mediciones.
- Identifique las terminales del capacitor y conecte en ellas un medidor de capacitancias.
- Mida la capacitancia para las diferentes posiciones del micrómetro indicadas en la tabla 1, y registre los datos obtenidos en la columna correspondiente.

EXPERIMENTO II CARACTERIZACION DEL MODULO OSCILADOR

- a) Polarice el módulo oscilador (294-C) con + 15 V, -15 V y tierra, además conecte el frecuencímetro como lo muestra la figura 11, sin conectar aun el capacitor de área variable.
- Identifique la perilla de la frecuencia de oscilación (capacitor variable C_3 del circuito tanque) y con el frecuencímetro mida y registre las frecuencias de salida para las posiciones (min) y (max).
 - Identifique la perilla de amplitud de salida y con un osciloscopio mida y registre la amplitud pico-pico de la señal observada para las diferentes posiciones de la perilla.
 - Verifique que el interruptor de componente externo se encuentra en la posición C (esto indica que la entrada será una capacitancia variable).
 - Coloque la perilla de frecuencia en la posición central (entre las marcas min y max) y ajuste la perilla de voltaje de modo que obtenga una señal

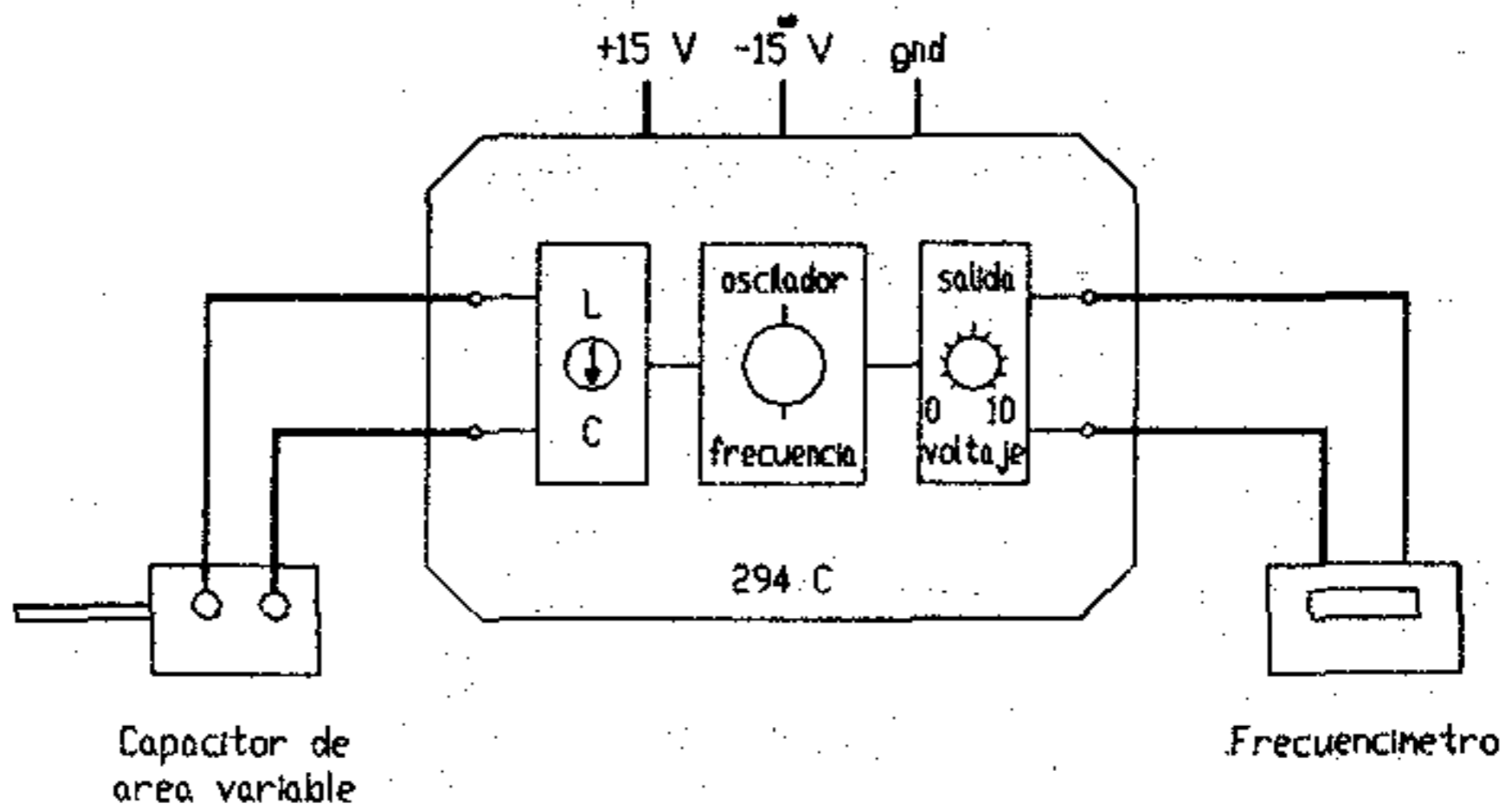


Figura 11

de 3 V pico-pico. Estos ajustes se deben a que es preferible trabajar en la parte central del rango de operación de un instrumento para evitar saturaciones.

- Ajuste el transductor posición-capacitancia a las condiciones iniciales propuestas en el experimento 1
- Identifique las terminales de entrada correspondientes a componente externo del módulo oscilador y conecte en ellas la salida del transductor posición-capacitancia.
- Para las diferentes posiciones del micrómetro especificadas en la tabla 1, mida con un frecuencímetro la frecuencia obtenida y asiente los datos en la columna correspondiente.

TABLA 1

Micrometro [cm]	Capacitancia [pF]	Frecuencia [kHz]
0.0		
0.25		
0.50		
0.75		
1.00		
1.25		
1.50		
1.75		
2.00		
2.25		
2.50		

EXPERIMENTO III CARACTERIZACION DEL DISCRIMINADOR DE FRECUENCIAS Y EL AMPLIFICADOR DIFERENCIAL

a) Polarice los módulos discriminador de frecuencias (294 D) y amplificador diferencial (294 B) con + 15 V, - 15 V y tierra; interconéctelos en cascada como lo muestra la figura 12.

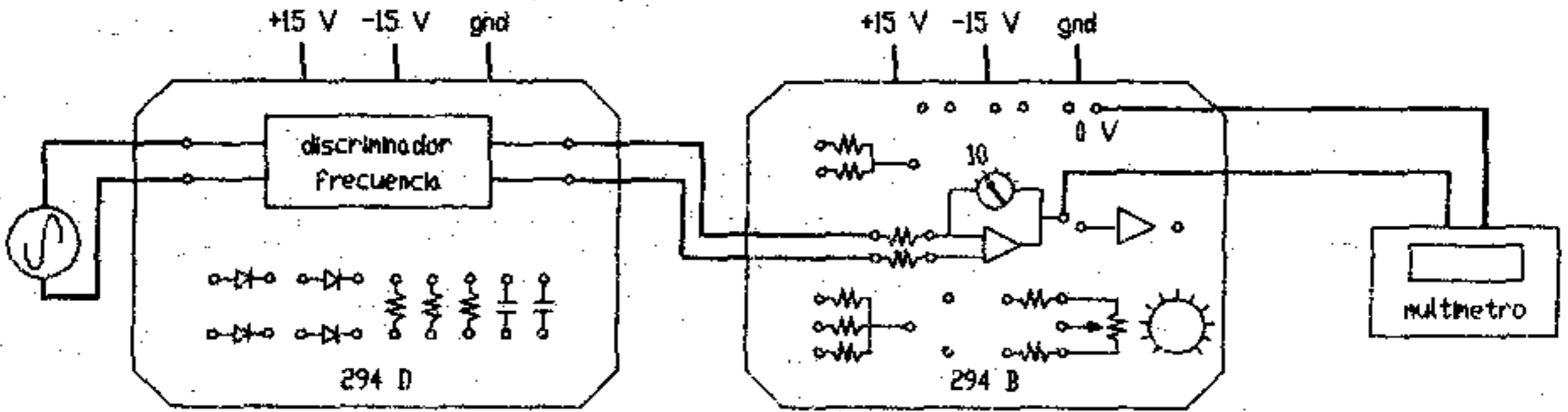


Figura 12

- Ajuste la ganancia del amplificador diferencial a 10 y con un generador de señales, aplique a la entrada del discriminador una señal senoidal de 2.5 V_{pp}.
- Para los diferentes valores de frecuencia propuestos en la tabla 2 mida con un voltmetro los voltajes de salida del discriminador de frecuencias y del amplificador diferencial y llene las columnas correspondientes.
- Mida exactamente la frecuencia cuando $V_o \approx 0$ V.

TABLA 2

Frecuencia [KHz]	Voltaje en el Discriminador [V]	Voltaje en el Amplificador [V]
420		
430		
440		
450		
460		
470		
480		
490		
500		
510		
520		

EXPERIMENTO IV IMPLEMENTACION DEL TRANSDUCTOR DESPLAZAMIENTO - VOLTAJE

- a) Interconecte en cascada los módulos anteriores como se muestra en la figura 13.
- b) Fije las siguientes condiciones iniciales:
 - Ajuste el tornillo del micrómetro para que éste indique 0 cm y desplácelo sobre el riel hasta que la punta del micrómetro apenas haga contacto con el émbolo del capacitor variable.

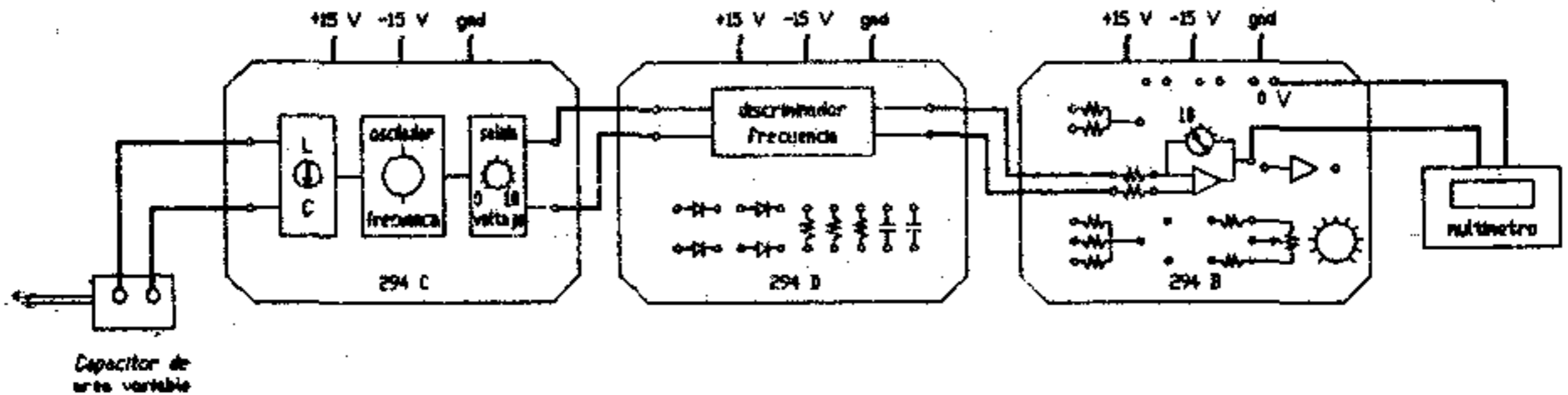


Figura 13

- Polarice los módulos con + 15 V, - 15 V y tierra.
- Verifique que el interruptor de componente externo se encuentre en la posición (C).
- Identifique las terminales de entrada de componente externo del módulo oscilador y conecte en ellas la salida del transductor posición-capacitancia.
- Una vez conectado el capacitor variable, ajuste el tornillo del micrómetro a 1.25 cm, esta será la posición de referencia.
- Con la perilla de frecuencia de oscilación, ajuste el valor de frecuencia de salida del oscilador al valor de cruce por 0 V.
- Con ayuda de un osciloscopio, ajuste la amplitud de la señal de salida del oscilador a 2.5 V.
- Para las posiciones del micrómetro propuestas en la tabla 3, mida los correspondientes voltajes a la salida del amplificador V_o y llene la columna correspondiente.

TABLA 3

POSICION MICRONETRO (cm)	AMPLIFICADOR (V _o)
1.25	
1.50	
1.75	
2.00	
2.25	
2.50	
2.75	

ANALISIS DE DATOS Y RESULTADOS

- 1.- Con los datos de la tabla 1, grafique capacitancia vs desplazamiento.
- 2.- Determine para cada punto la sensibilidad del transductor capacitivo.
- 3.- ¿En qué intervalo de valores de desplazamiento puede considerarse lineal la respuesta del transductor capacitivo?
- 4.- ¿Cuál es el intervalo de frecuencias a la salida del oscilador?
- 5.- ¿Cuáles son los voltajes pico-pico mínimo y máximo de salida del oscilador?
- 6.- Con los datos de la tabla 1, obtenga las gráficas frecuencia vs. desplazamiento y frecuencia vs. capacitancia.
- 7.- Determine en cada punto la sensibilidad del oscilador.
- 8.- ¿Para qué intervalo de valores de la capacitancia de entrada puede considerarse lineal la respuesta del transductor oscilador ?
- 9.- ¿Cuál es la frecuencia en la que se tiene cero volts a la salida del discriminador?
- 10.-¿A qué frecuencia se tiene el máximo voltaje positivo y cuál es ese valor de voltaje?
- 11.-¿A qué frecuencia se tiene el máximo voltaje negativo y cuál es ese valor de voltaje?

- 12.-Con los datos obtenidos en la tabla 2, grafique V_{disc} vs frecuencia y V_{amp} vs V_{disc} .
- 13.-¿Para qué intervalo de frecuencias se puede considerar lineal la respuesta del discriminador?
- 14.-¿Cuál es la sensibilidad del discriminador?
- 15.-¿Para qué intervalo de valores de voltaje de entrada puede considerarse lineal la respuesta del amplificador?
- 16.-¿Cuál es la ganancia del amplificador?
- 17.-¿Es adecuado el módulo oscilador a la entrada del discriminador de frecuencias para que este último trabaje en su zona lineal?
- 18.-Con los datos de la tabla 3, grafique V_o vs desplazamiento.
- 19.-Con los datos de la tabla 3 determine la sensibilidad en cada punto.
- 20.-¿Es esta sensibilidad constante para todo el intervalo de operación del transductor?
- 21.-¿Cuál es el error en la respuesta del transductor y a que se puede deber?
- 22.-¿En que intervalo de operación es confiable la respuesta del transductor?
- 23.-¿Para que intervalo de valores de la posición del micrómetro es lineal la respuesta del transductor?