



TRANSDUCTORES DE POSICION

Para determinar una posición lineal o angular se requiere medir la longitud de un segmento, o bien un ángulo comprendido entre dos segmentos. Dichas longitudes se pueden medir eléctricamente por medio de una amplia gama de transductores.

Un transductor es un dispositivo que normalmente absorbe energía de un sistema para regresarla después en otra forma a otro sistema. Los transductores de posición, dependiendo del principio físico en el que se basen, se pueden dividir en tres grupos principales:

- a) Los que se basan en los principios eléctricos, sin la intervención del campo magnético.

Estos transductores convierten la posición en una magnitud eléctrica. Dentro de este tipo de transductores se pueden mencionar los transductores capacitivos de placas planas y paralelas cuya capacitancia es función de sus dimensiones.

Este tipo de transductores se utiliza en la medición de vibraciones, similares a los micrófonos de condensador, o bien los dispositivos para la determinación del nivel alcanzado por los líquidos dieléctricos en los tanques metálicos.

Otros transductores que se basan en los principios eléctricos son los transductores "resistivos" o "potenciométricos", los cuales permiten expresar la resistencia eléctrica de un conductor en función de sus dimensiones.

En el caso de transductores de mayor precisión y mayor tamaño, se utilizan los sensores potenciométricos rectilíneos y circulares.

Otro fenómeno eléctrico utilizado en los transductores de posición es el de la piezorrestividad, que es la propiedad que poseen ciertos materiales para poder cambiar su propia resistencia cuando se deforman.

Los sensores que se basan en este principio se denominan extensómetros y se usan frecuentemente para convertir la deformación de una superficie (en una dirección prefijada) en una variación de la resistencia del elemento.

- b) Los que se basan en las máscaras codificadas.

Estos transductores cumplen la función de generar una señal de salida digital en correspondencia con un desplazamiento angular o lineal de tipo analógico.

El transductor está compuesto normalmente de un disco móvil o de una barra, en los que están impresos o perforados una sucesión de números conforme a un código adecuado. La rotación del disco o el desplazamiento de la barra son proporcionales al desplazamiento angular o lineal.

Una característica de todos los transductores de este tipo es el paso de la cuantificación, con el cual está realizada la conversión digital de la entrada.

c) Los que se basan en los principios eléctricos, con la intervención del campo magnético.

Los transductores que se basan en los principios electromagnéticos para la determinación de un ángulo, funcionan como medidores de flujo concatenado y tienen un circuito cerrado, el cual está constituido por un conductor eléctrico. Esta medición consiste en determinar la diferencia de potencial que existe entre los extremos de dicho circuito eléctrico.

Dependiendo de la forma de funcionar, los transductores que se basan en los fenómenos electromagnéticos se pueden dividir en:

- "Sincro". Con el nombre de sincro se conoce o se denomina a una familia de elementos, cuya acción es similar a la de un transformador variable.

Los sincro se dividen en varias categorías dependiendo de su función precisa, estos dispositivos generalmente se utilizan para transmitir y recibir posiciones angulares por medios eléctricos.

-Solucionadores "sincro". Dentro de la familia de los elementos síncronos, el transformador de control es un dispositivo de gran utilidad cuando se desea seguir la posición angular en forma eléctrica. Esta necesidad se debe a que no siempre se transmite la posición en forma directa. Por ejemplo: si se trata de un servomecanismo de muy alta potencia se usan los elementos síncronos para transmitir y detectar las señales de posición y después de ser amplificados accionan al elemento actuador.

- Transformadores diferenciales lineales (LVDT). Este tipo de transductores se estudiarán en forma más completa en el transcurso de la práctica, debido a que son el objeto de la misma.

TRANSDUCTOR LVDT

El transformador diferencial de variación lineal (LVDT) mide fuerza en términos del desplazamiento del núcleo ferromagnético de un transformador. La construcción básica del LVDT se muestra en la figura 1.

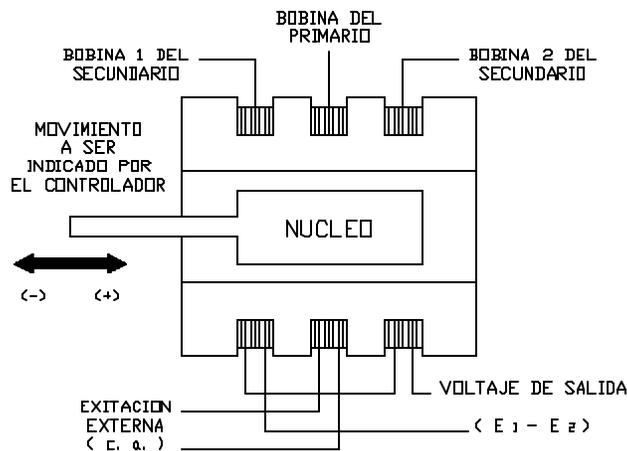


Figura 1

El transformador consiste de un embobinado primario y dos embobinados secundarios, los cuales están en contrafase con el primario. Los secundarios tienen igual número de vueltas, están conectados en serie y en oposición de fase, con lo cual, las fems inducidas en las bobinas se oponen. La posición del cursor determina el

flujo concatenado entre el voltaje alterno de excitación del primario y el correspondiente a los embobinados del secundario.

Con el cursor en el centro o posición de referencia, las fems inducidas en los secundarios son iguales, y como son opuestas una con otra, el voltaje de salida será de 0 V. Cuando una fuerza externa aplica un movimiento al cursor hacia la izquierda habrá más líneas de flujo magnético en la bobina izquierda que en la bobina derecha, y por lo tanto la fem inducida en la bobina izquierda será mayor. La magnitud del voltaje de salida es entonces igual a la diferencia entre los dos voltajes del secundario y estará en fase con el voltaje de la bobina izquierda. En forma análoga, cuando el cursor es movido a la derecha, existirán más líneas de flujo de la bobina derecha y la magnitud del voltaje de salida estará ahora en fase con la fem de la bobina de la derecha. Dichas magnitudes serán iguales y de fase opuesta mientras que la diferencia entre las dos fems inducidas sean las mismas y de fase opuesta. La figura 2 muestra la salida de voltaje del LVDT en función de la posición del cursor.

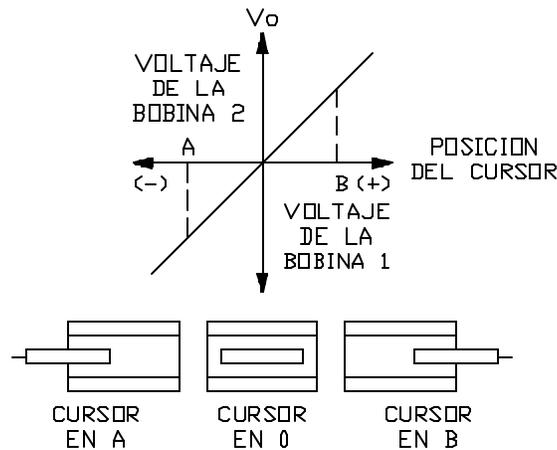


Figura 2

El LVDT provee resolución continua y presenta baja histéresis. Puede usarse en desplazamientos relativamente largos. El instrumento es sensible a las vibraciones. Los instrumentos receptores deben ser seleccionados para operar con señales de corriente alterna o con un demodulador si se requiere salida de corriente continua.

Las características fundamentales que determinan el campo de empleo y la calidad de estos dispositivos son las siguientes:

- i) Voltaje de entrada nominal: es el valor eficaz del voltaje senoidal con que se debe alimentar al primario del LVDT.
- ii) Margen de frecuencias: es el rango en el que se hallan comprendidas las frecuencias admisibles para el voltaje de entrada.
- iii) Campo nominal de desplazamiento: es el valor del desplazamiento máximo que cada transductor puede convertir manteniendo las características de medición.
- iv) La impedancia del primario y del secundario.
- v) El campo de temperaturas de trabajo y de almacenamiento.

Las características relativas a la calidad de la conversión son las siguientes: linealidad, sensibilidad y variación de fase.

La linealidad, cuando es referida al valor a plena escala, se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Linealidad} = \frac{V_2 - V_1}{F.S.O.} \left(\pm \frac{1}{2} \right)$$

El valor de la linealidad normalmente se expresa en porcentaje y F.S.O. (Full Scale Output) indica la salida a plena escala, es decir, la variación del voltaje que sufre la salida cuando el desplazamiento varía de acuerdo a una cantidad que es igual al valor total de su escala, V_1 y V_2 son los voltajes respectivos, tal como se muestra en la figura 3.

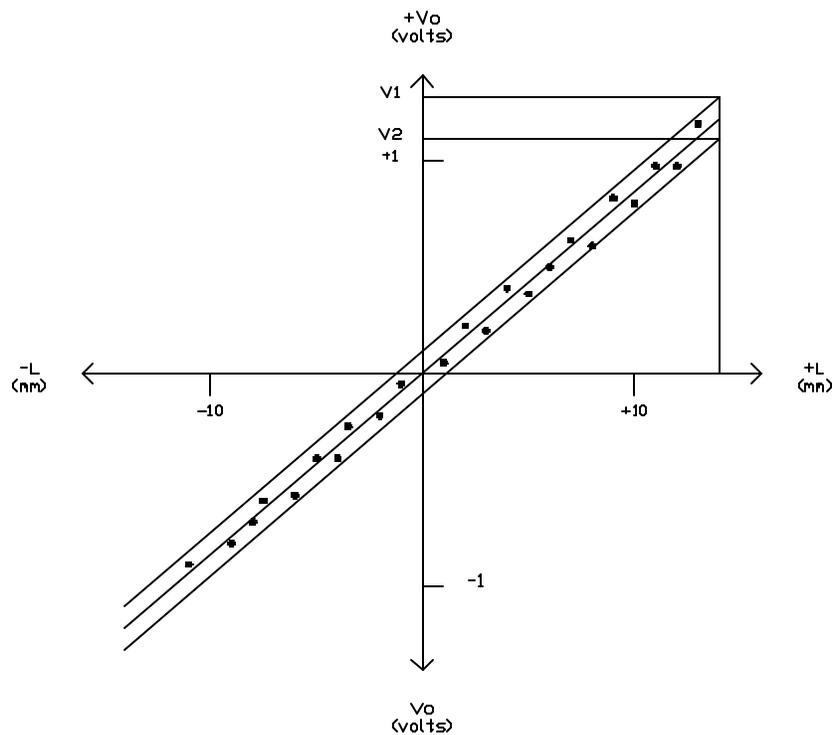


Figura 3

La sensibilidad es la relación que existe entre la variación de voltaje que se obtiene a la salida con respecto a la variación del desplazamiento de entrada, es decir:

$$S = \frac{V_2 - V_0}{D_2 - D_0}$$

En donde S representa la sensibilidad, $(V_2 - V_0)$ la variación de voltaje a la salida y esta dada en volts y $(D_2 - D_0)$ es el desplazamiento a la entrada en mm.

APLICACIONES DEL TRANSFORMADOR DIFERENCIAL DE VARIACION LINEAL (LVDT)

Una aplicación común que se le da al LVDT es como componente de un servo sistema fuerza-balance. Esto es indicado esquemáticamente en la figura 4. Las terminales de salida de un transformador de entrada y un transformador balanceado se conectan en serie y en oposición. La suma algebraica de los dos voltajes alimenta a un amplificador que maneja un motor de dos fases. Cuando los dos transformadores están en sus posiciones de

referencia, la suma de sus voltajes de salida es cero y no hay voltaje hacia el servomotor. Cuando se mueve el cursor del transformador de entrada de su posición de referencia, existirá un voltaje de salida, que será enviado al amplificador, provocando que el motor gire. El motor está mecánicamente acoplado al núcleo del transformador balanceado. Cuando la salida del transformador balanceado se opone a la salida del transformador de entrada el motor girará, hasta que las salidas de los dos transformadores sean iguales. El indicador en el motor se calibra para leer el desplazamiento del transformador balanceado, e indirectamente el desplazamiento del transformador de entrada.

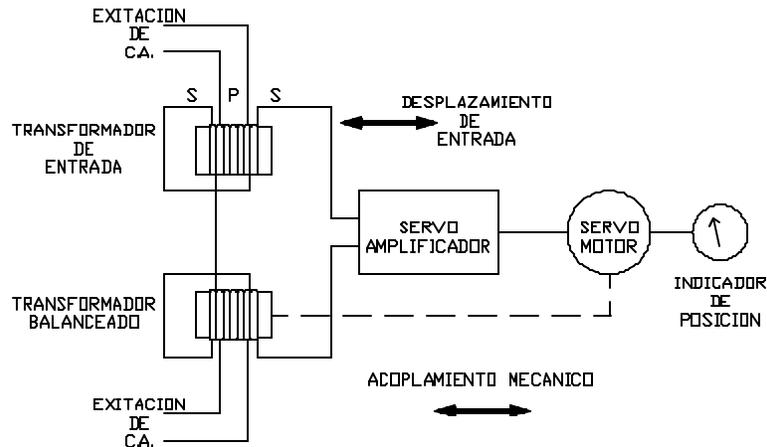


Figura 4

Una variación en la posición del cursor del LVDT es mostrado en la figura 5. El embobinado del primario está montado en la parte central del núcleo tipo 'E', y los embobinados del secundario están en las partes externas del núcleo tipo 'E'. La armadura se encuentra girando debido a la aplicación de una fuerza externa en un punto pivote a lo largo de la pata del centro del núcleo. Cuando la armadura es desplazada de su posición de referencia, la reluctancia del circuito magnético a través de una bobina del secundario disminuye, mientras que simultáneamente, la reluctancia del circuito magnético a través de la otra bobina del secundario aumenta. Las fems inducidas en los embobinados del secundario son iguales en la posición de referencia de la armadura, y serán diferentes en magnitud como resultado del desplazamiento aplicado. Las fems están en fase opuesta una con respecto de la otra y el transformador opera de la misma manera que el desplazamiento del cursor del transformador de la figura 5.

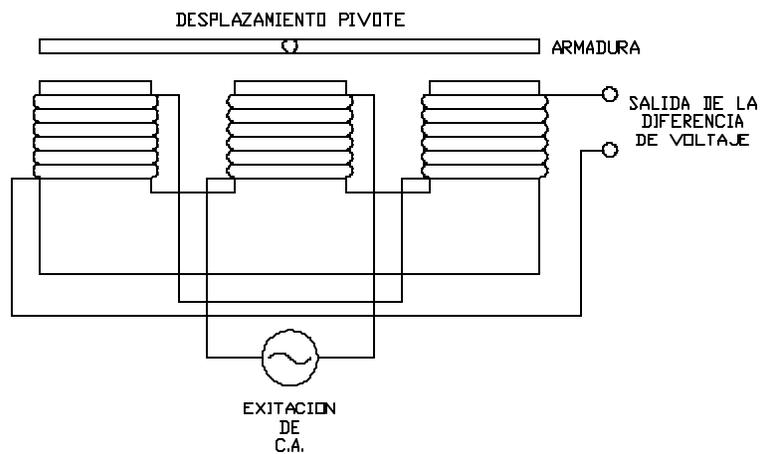


Figura 5

ACONDICIONADORES DE SEÑAL EMPLEADOS CON LOS TRANSDUCTORES DE POSICION

Los circuitos acondicionadores de señal empleados en los transductores capacitivos, son muy complejos, pues están constituidos por un oscilador 'chopper' y un demodulador (para proporcionar una señal de salida continua). Estos también deben ser capaces de determinar y elaborar pequenísimas variaciones de voltaje y capacitancia.

El sistema de interfase para los transductores del tipo piezorresistivo comprende un amplificador diferencial para instrumentos (de alta ganancia en el caso de extensómetros resistivos) de un generador de voltaje con estabilidad térmica elevada.

Resultan más sencillos los acondicionadores de señal empleados con los transductores resistivos y potenciométricos, ya que deben poder suministrar un voltaje de alimentación muy estable y desconectar el sistema de lectura si dicho sistema presenta una resistencia de entrada igual a la del transductor.

Los dispositivos de interfase que se utilizan con los 'sincro' son muy complejos ya que deben de extraer la información de la posición correspondiente al ángulo del par de los voltajes senoidales que salen del transductor. Esto se realiza recurriendo a un sistema de cálculo que efectúa todos los tratamientos necesarios para dar resultados directamente en forma digital.

Los acondicionadores de señal para los transductores del tipo LVDT generalmente comprenden un generador de ondas senoidales destinado a alimentar el primario del LVDT, un demodulador síncrono para convertir la amplitud y la fase de la señal de salida de los LVDT en una información de posición y un amplificador de salida para obtener la ganancia y el filtrado que sean requeridos. La figura 6 muestra el esquema básico de un acondicionador de señal para transductores del tipo LVDT.

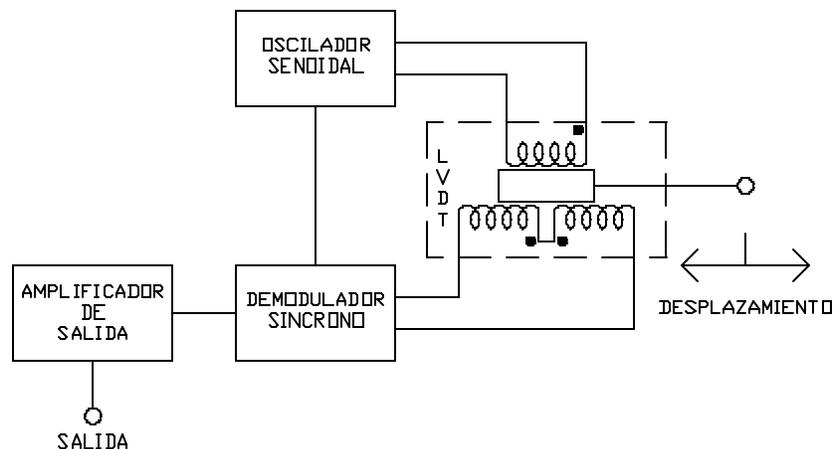


Figura 6

DESCRIPCION DEL MODULO TRANSDUCTOR Y ACONDICIONADOR G27

La figura 7 muestra el diagrama del módulo G27, el cual incluye el LVDT, el acondicionador y el circuito que genera los voltajes de referencia.

En el circuito de interfase, que se encuentra representado íntegramente en el panel didáctico (figura 7), el transductor está conectado internamente al acondicionador de señal.

Voltajes de Referencia. Se generan voltajes de referencia de 8 V que son necesarios para el funcionamiento del acondicionador de señal.

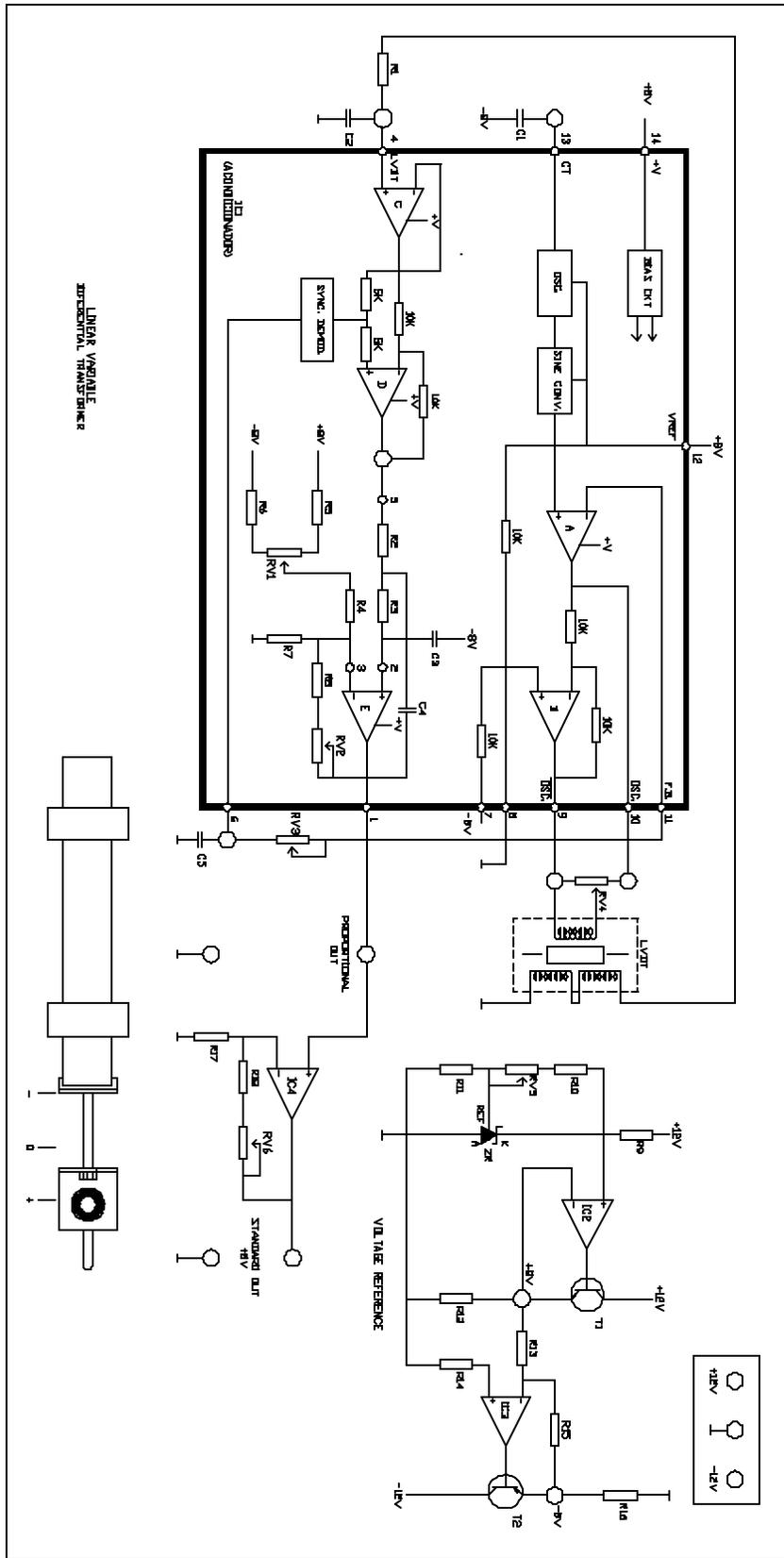


Figura 7

Figura 7

Acondicionador del LVDT. Este grupo en el modulo G27 está delimitado por un recuadro de trazo grueso y está diseñado con base a un circuito integrado. Tiene la función de suministrar una señal de salida analógica cuyo voltaje es proporcional al desplazamiento del núcleo del transductor. Este acondicionador está compuesto de las siguientes partes principales:

Oscilador. Consiste en un generador de ondas triangulares. La frecuencia de oscilación esta relacionada con el capacitor conectado al contacto 13 (CT).

Convertidor Senoidal. Este elemento, constituido por una carga no lineal, transforma la onda triangular de entrada en una onda senoidal de baja distorsión (borne 4).

Amplificadores Operacionales A y B. Estos amplificadores separan la señal senoidal que sale del convertidor senoidal, presentandola entre los contactos 9 (OSC) y 10 (OSC) en oposición de fase con respecto a la del Convertidor Senoidal. La señal que está presente en dichos contactos es la alimentación al primario del LVDT.

Demodulador Sincro. Este dispositivo se encarga de efectuar la rectificación de doble semionda (contacto 6) en sincronía de fase con la salida del oscilador.

Amplificador Operacional C. Este amplificador sirve para separar la señal diferencia proveniente del secundario del transductor.

Amplificador Operacional D. Según sea que la salida del Demodulador Sincro tenga un valor alto o el valor de tierra (salida en fase con el primario o viceversa), este amplificador operacional (D) presentará en su salida un 'OFFSET' de voltaje continuo, positivo o negativo según sea el caso (Demodulador de salida o contacto 5).

Amplificador Operacional E (Amplificador Auxiliar). Con los capacitores y resistencias adecuados este dispositivo actúa como un filtro que elimina la señal portadora que sale del Demodulador de Salida, suministrando en el contacto 1 una señal continua proporcional al desplazamiento.

OBJETIVOS

- Conocer el funcionamiento básico del Transformador Diferencial de Variación Lineal (LVDT).
 - Aprender el procedimiento de calibración para el acondicionador de señal.
 - Obtener la recta óptima o ideal del transductor.
 - Determinar el porcentaje de linealidad del sistema formado por el transductor y el acondicionador.
 - Determinar la sensibilidad del sistema.
-

EQUIPO Y MATERIAL

- Módulo G27 (transductor LVDT).
- Fuente de alimentación tipo PS1EV.
- Un voltmetro digital de tres dígitos y medio.
- Un osciloscopio de doble traza.
- Un Vernier o pie de rey.⁷

DESARROLLO

EXPERIMENTO 1. CALIBRACION DEL ACONDICIONADOR DEL LVDT

- Sin encender la fuente, conecte los bornes de ± 12.0 V, así como el de 0 V del módulo G27 a la fuente regulada.
 - Conectar el voltmetro digital entre el borne marcado con +8 V y alguno de los bornes de tierra.
 - Verificar las conexiones y encender la fuente.
 - Regular RV5 hasta que el voltmetro indique exactamente +8 V; y verificar que en el borne indicado como -8 V exista ese voltaje.
 - Observar que en el borne 13 se encuentre presente una señal triangular, de aproximadamente 8 Vpp de amplitud y de 4300 Hz de frecuencia.
 - Colocar el cursor del LVDT en la posición marcada con '+' y regular RV4 tratando de que en el borne 4 este presente una señal senoidal de 1 Vpp.
 - Conectar el canal 1 del osciloscopio al borne 4 y el canal 2 al borne 6. Regular RV3 (error de fase) hasta observar dos señales defasadas 180 grados, si el cursor del LVDT, se encuentra en la posición '-'; o bien, exactamente en fase, si el cursor se encuentra en la posición '+'.
— Verificar que la señal presente en el borne 5 este rectificadas positivamente si el cursor se halla en la posición '+'; o en caso de estar en la posición '-' deberá ser una rectificación negativa.
 - La máxima amplitud tendrá que ser de 0.5 Volts para un recorrido de 12.5 mm.
 - Colocar el cursor en la posición 0 y observar que el valor del voltaje en el borne 5 sea de 0 Volts (de ser necesario, ajustar el cuerpo del LVDT); regular RV1 (ZERO) hasta que el voltaje de salida en el borne 1 (salida proporcional) sea de 0 Volts.
 - Colocar el cursor del LVDT a +12.5 mm de la posición 0 y regular RV2 (GAIN) de tal forma que el voltaje de salida en el borne 1 sea de +1.25 V.
-

- Situar el cursor del LVDT en la posición de -12.5 mm y medir el voltaje de salida (aproximadamente de -1.25 Volts).
- Conectar el voltmetro digital en la salida standard y regular RV6 tratando de obtener -8 Volts cuando el voltaje en la salida proporcional es de -1.25 Volts respectivamente.

EXPERIMENTO 2. OBTENCION DE LA CURVA CARACTERISTICA DISTANCIA-VOLTAJE DEL SISTEMA FORMADO POR EL ACONDICIONADOR Y EL TRANSDUCTOR LVDT

- Efectuar la calibración del acondicionador como se indicó en el experimento I.
- Conectar el voltmetro digital entre el borne 1 y alguno de los bornes de tierra.

NOTA:

Para obtener mejores resultados tenga cuidado al situar el cursor en la posición deseada, fije el cursor con el tornillo y asegurese que las láminas de medición estén perfectamente paralelas.

- Mover el cursor partiendo de la posición 0 hacia los valores positivos en intervalos de 2 mm, registrando los valores observados en el voltmetro en la Tabla 1.

L (mm)	V _o (Volts)	L (mm)	V _o (Volts)
14.0		14.0	
12.5		12.5	
12.0		12.0	
10.0		10.0	
8.0		8.0	
6.0		6.0	
4.0		4.0	
2.0		2.0	
0.0		0.0	
-2.0		-2.0	
-4.0		-4.0	
-6.0		-6.0	
-8.0		-8.0	
-10.0		-10.0	
-12.5		-12.5	
-14.0		-14.0	

Tabla 1

- Repita el paso anterior, pero ahora regresando el cursor hacia la posición cero, los valores de voltaje que obtenga anótelos en la Tabla 1.
- Desplazar el cursor en sentido negativo, con saltos de 2 mm, haciendo un registro de los valores de voltaje que obtenga, y anótelos en la Tabla 1.
- Repetir el paso anterior, pero ahora en sentido opuesto, es decir, regresando el cursor a la posición cero, los voltajes obtenidos en el voltmetro se deben anotar en la Tabla 1.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

1. ¿ Cuáles fueron los voltajes de calibración que midió en el experimento I ?
2. Dibuje la forma de onda observada en el borne 13.
3. Dibuje la señal que observó en el borne 4.
4. Dibuje las señales observadas en el paso 7 del experimento I.
5. Muestre las formas de onda que observó en el paso 8 del experimento I.
6. Anóte los valores de voltaje que observó en los pasos 10, 11 y 12 correspondientes al experimento I.
7. Traslade sobre el plano cartesiano los datos obtenidos en las tabla 1, donde el desplazamiento corresponde al valor de las abscisa y el voltaje al de las ordenadas.
8. Repita el paso anterior, pero ahora con los datos de la tabla 1 que van en sentido descendente.
9. Trazar la línea que más se aproxime a los valores determinados por los puntos para obtener la recta óptima del transductor. A continuación, trácese dos rectas paralelas y equidistantes a la recta óptima, de tal forma, que entre las dos primeras queden contenidos todos los puntos que se marcaron en la gráfica.
10. En base al punto 9, obtenga el modelo matemático del transductor.
11. Trace una recta paralela al eje de las ordenadas y mida los valores del voltaje en los puntos de intersección, con las dos rectas que delimitan todos los puntos de medición, para obtener V_1 y V_2 .
12. Calcule la linealidad del sistema formado por el transductor y el acondicionador, de acuerdo con la teoría.
13. De acuerdo con los datos de la tabla 1, calcule la sensibilidad del sistema.
14. Proponga un sistema que utilice un LVDT y que sea distinto del que se mencionó en la teoría.
15. ¿ Presenta histéresis el transductor ? Explique.
16. Reporte sus observaciones y conclusiones.