

En algunas aplicaciones, tales como en el control de bobinas (electroimanes) y en la transmisión de señales por líneas muy largas, a menudo es preferible adoptar una señal de corriente en lugar de una de voltaje; y en el caso de transmisión de señales de corriente muchas veces es necesario, para recibirlas, convertirlas en señales de voltaje.

Las conversiones se realizan básicamente con dos tipos de dispositivos, unos denominados "convertidores V/I" y "convertidores I/V", los cuales transforman un voltaje en corriente o bien una corriente en voltaje; y los llamados "transmisores".

Los transmisores son dispositivos que reciben una señal de un transductor o de un elemento primario y la convierten en una señal eléctrica o en una señal neumática, llamándose respectivamente, transmisores de salida eléctrica o de salida neumática. Los rangos estandarizados de las señales de salida son de 4 a 20 mA para la señal eléctrica y de 3 a 15 PSI para la neumática.

Al campo de voltajes de entrada le corresponden un margen de corriente normalizado de 4 mA a 20 mA. Aunque también puede utilizarse este rango de corriente en aplicaciones en las que la condición de "alambre interrumpido" no se distingue de la condición $I=0$.

El rango de salida del convertidor I/V se selecciona según la aplicación y normalmente es de 0 V a 8 V, de 0 V a 10 V, de -8 V a +8 V y de -10 V a +10 V.

Los convertidores de V/I e I/V se basan en las aplicaciones del amplificador operacional.

El amplificador operacional es un amplificador de alta ganancia y de acoplamiento directo. Generalmente está diseñado para amplificar señales que abarcan un amplio rango de frecuencia y normalmente se usa con redes realimentadas. Muchos amplificadores operacionales usan una sola terminal de entrada, aunque muchos otros utilizan la entrada diferencial, y todos tienen una sola terminal de salida. La mayoría de los amplificadores operacionales se representan por el símbolo de la Figura 1.

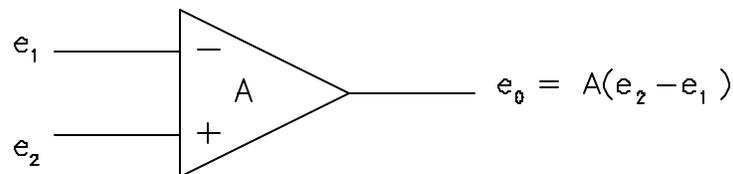


Figura 1.

Existen propiedades ideales de los amplificadores operacionales hacia las cuales está dirigido su diseño. Estas propiedades no se realizan en la práctica, pero su consideración permite realizar análisis preliminares de los circuitos realimentados que se incluyen en todos los amplificadores.

Las propiedades idealizadas del amplificador son las siguientes:

Ganancia = ∞ ($A \rightarrow \infty$)

$e_o = 0$ cuando $e_1 = e_2$

Impedancia de entrada = ∞ ($Z_i \rightarrow \infty$)

Impedancia de salida = 0 ($Z_o \rightarrow 0$)

Ancho de banda = ∞ (retraso en la respuesta = 0)

Cuando se incluye una realimentación, las características del amplificador son determinadas principalmente por la red de realimentación.

Convertidores de voltaje-corriente

Los convertidores V/I más sencillos son los que utilizan el amplificador operacional en su configuración de inversor y no inversor.

Los circuitos ilustrados en la Figura 2 a) y b) constituyen ejemplos de este tipo.

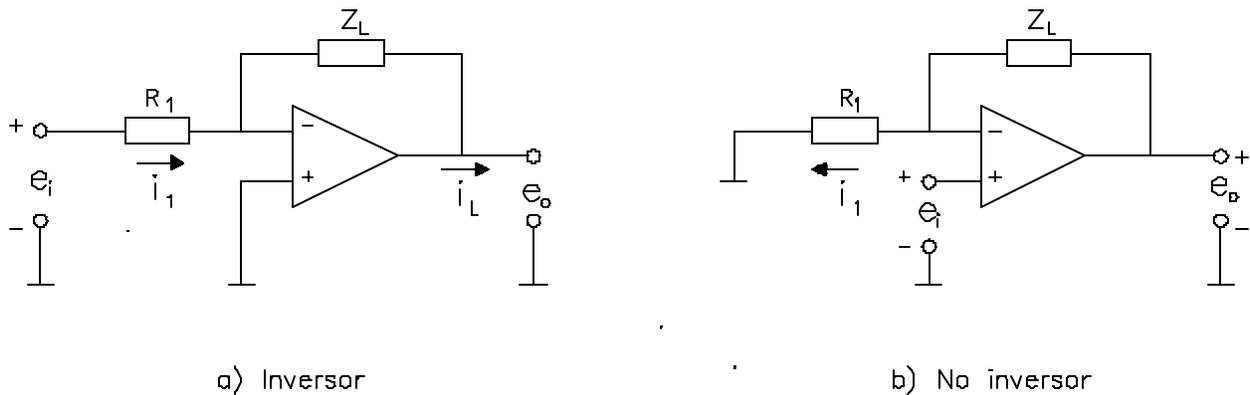


Figura 2.

El circuito de la Figura 2a) es un simple inversor. La corriente de entrada es la corriente de carga y está dada por:

$$i_1 = \frac{e_i}{R_1} = K e_i = i_L$$

ya que R_1 está conectada a la tierra virtual de la unión suma.

Esta misma corriente fluye a través de la impedancia de carga de realimentación Z_L . La corriente i_1 es independiente del valor de Z_L y tanto la fuente de señal como el amplificador operacional deben ser capaces de suministrar la cantidad deseada de corriente de carga.

El circuito de la Figura 2b) opera en modo "no inversor" y presenta una alta impedancia a la fuente de excitación.

La corriente se sigue expresando mediante la ecuación:

$$i_1 = \frac{e_i}{R_1} = K e_i = i_L$$

donde i_1 es de nuevo la corriente de carga. La corriente requerida por la fuente de señal es muy pequeña a causa de la alta impedancia del amplificador no inversor.

Otro convertidor V/I para cargas fluctuantes (esto es, cargas de variaciones pequeñas y rápidas) se ilustra en la Figura 3. En dicho convertidor la mayor parte de la corriente es suministrada por el amplificador operacional y sólo una pequeña parte por la fuente de señal de entrada*.

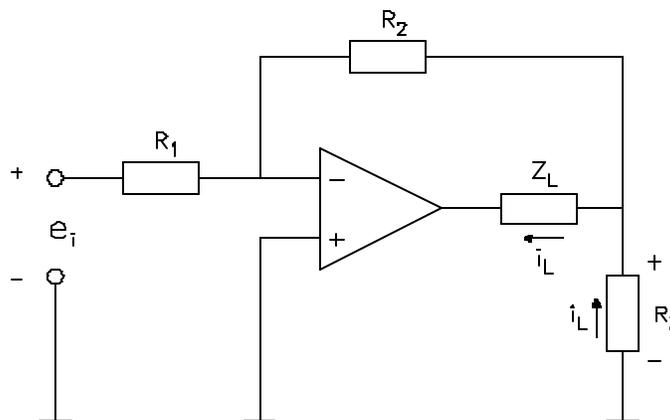


Figura 3 .

Para este circuito, la corriente de carga esta dada por la ecuación:

$$i_L = k e_i$$

donde

$$k = \frac{1}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

entonces

$$i_L = \frac{e_i}{R_1} \left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)$$

* Las deducciones de las ecuaciones para i_L de los convertidores V/I se encuentran en el apéndice C.

R_3 es la resistencia de escalamiento de corriente. Para minimizar la carga de la fuente de señal es conveniente que R_1 sea bastante grande. El amplificador debe ser capaz de proporcionar a la carga toda la corriente y presentar en su salida un voltaje igual a:

$$e_{om\acute{a}x} = i_{Lm\acute{a}x} (Z_L + R_3)$$

Para cargas que están conectadas a tierra, se tiene el circuito de la Figura 4. En éste, con un solo amplificador se tiene una fuente de corriente controlada por voltaje e_i .

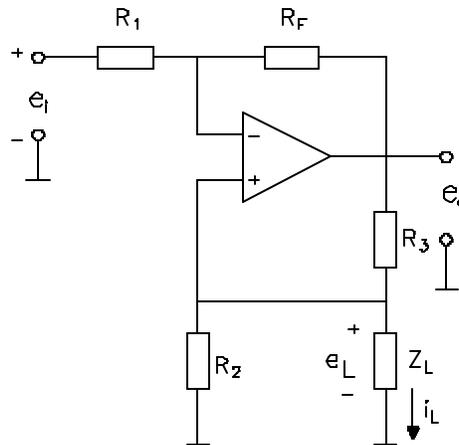


Figura 4.

La ley que vincula el voltaje con la corriente es:

$$i_L = -\frac{e_i}{R_L}$$

siempre que

$$\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_F}{R_1}$$

Si estas relaciones de resistencia son iguales, el circuito funcionara como una fuente de corriente propiamente dicha con una impedancia interior muy alta. Si estas relaciones no se igualan, habra un decremento de la impedancia de entrada de la fuente de corriente. En este circuito las pequenas variaciones de la impedancia de la carga efectiva provocaran también pequenas variaciones en el valor de la corriente de salida.

Este convertidor debe tener un rango de voltaje de salida suficiente para proporcionar el voltaje máximo de carga más la caída de voltaje a través de R_3 . Normalmente, R_1 y R_2 deben ser suficientemente grandes como para que en ellas circulen pequenas corrientes, mientras que R_F y R_3 deberan ser pequenas para reducir al mínimo las caídas de voltaje.

El circuito convertidor V/I de la Figura 5 utiliza dos amplificadores inversores para controlar la corriente de una carga conectada a tierra.

Esta corriente está dada por la ecuación:

$$i_L = e_i \frac{R_5 R_F}{R_4 R_1} \frac{1}{R_3 + Z_L \left[1 + \frac{R_3}{R_2} - \frac{R_5 R_F}{R_4 R_2} \right]}$$

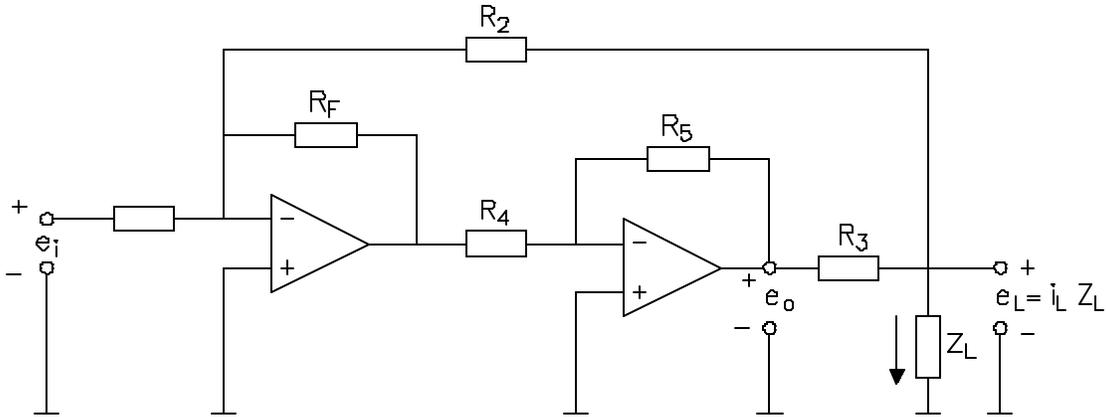


Figura 5.

Si se escogen las resistencias de modo que

$$1 + \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_5 R_F}{R_4 R_1}$$

se tendrá entonces:

$$i_L = \frac{e_i R_5 R_F}{R_3 R_4 R_1}$$

De modo particular, si

$$R_1 = R_F = R_4 = R_5$$

se obtendrá:

$$i_L = \frac{e_i}{R_3}$$

y

$$R_2 = R_F - R_3$$

Si R_1 es grande, la corriente suministrada por la fuente será muy pequeña y muy poca circulará a través de los elementos de realimentación.

Entonces el voltaje de salida está dada por:

$$e_o \text{ máx} = i_L \text{ máx} (Z_L + R_3)$$

La Figura 6 representa una forma modificada del CVI anterior. Este circuito ofrece la característica adicional de tener una impedancia de entrada elevada.

La expresión de la corriente de salida en función del voltaje es la siguiente:

Figura 6

$$i_L = - \frac{e_i \left[\frac{R_5}{R_4} \left(1 + \frac{R_F}{R_2} \right) - \frac{R_3}{R_2} \right]}{R_3 + R_L \left(1 + \frac{R_3}{R_2} - \frac{R_5 R_F}{R_2 R_4} \right)}$$

Si se escogen las resistencias de modo tal que

$$1 + \frac{R_3}{R_2} = \frac{R_5 R_F}{R_2 R_4}$$

y

$$R_F = R_4 = R_5$$

se obtienen:

$$i_L = \frac{2e_i R_F}{R_2 R_3}$$

y si

$$R_2 = R_F - R_3$$

$$i_L = -2 \frac{e_i}{R_3}$$

Convertidores de corriente-voltaje

Los convertidores de corriente-voltaje o amplificadores de corriente son muy sencillos si se utilizan los amplificadores operacionales. Una fuente ideal de corriente tiene una impedancia de salida infinita y una corriente de salida independiente de la carga.

El convertidor de corriente-voltaje de la Figura 7 ofrece una impedancia de carga casi igual a cero ya que la entrada inversora está como tierra virtual.

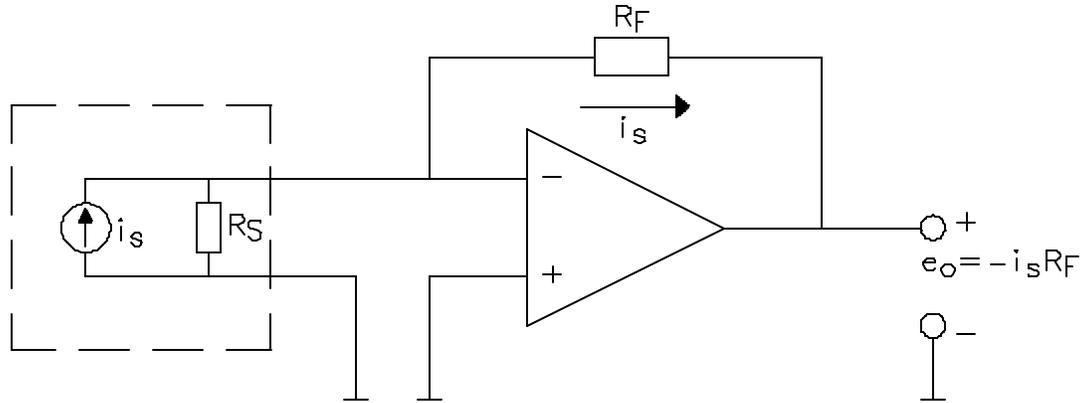


Figura 7.

La corriente de entrada atraviesa la resistencia de realimentación R_F generando un voltaje de salida:

$$e_o = -i_s R_F$$

Si se tienen en cuenta la ganancia finita A y la impedancia de entrada diferencial Z_{iD} de lazo abierto, la impedancia de entrada actual Z_{in} del convertidor de corriente-voltaje es:

$$Z_{in} = \frac{Z_{iD}}{1 + \frac{Z_{iD}}{R_F}(1+A)} = \frac{R_F}{1+A}$$

El límite inferior de medición de la corriente de entrada lo determina la corriente de polarización de la entrada inversora. Para obtener resoluciones más grandes se emplean los FET.

Para el voltaje de "offset" de DC y para el voltaje de ruido, la ganancia del amplificador estará dada por:

$$\frac{R_F + R_S}{R_S} = 1.0 \quad \text{ya que} \quad R_S \gg R_F$$

De esta manera, los errores debidos a estos parámetros son muy pequeños. Sin embargo, el ruido de corriente puede constituir un factor importante a causa de la impedancia muy alta.

Ya que tales circuitos de medición se utilizan para señales de frecuencia muy baja, es común conectar un capacitor C_F en paralelo con la resistencia R_F para reducir el ruido de corriente de alta frecuencia. La impedancia de salida del convertidor será más bien baja.

Parámetros de los convertidores V/I e I/V

En el diseño o selección de un convertidor de voltaje-corriente, o bien, de un convertidor de corriente-voltaje se deben tomar en cuenta los parámetros siguientes:

- Campo de voltajes (o bien, de corrientes) de entrada. Es el rango de valores extremos correspondientes a la máxima y mínima corriente (ó voltaje) de salida.
- Margen de corrientes (o bien, de voltajes) de salida. Es el rango de valores que corresponden al campo de voltajes (ó corrientes) de entrada.

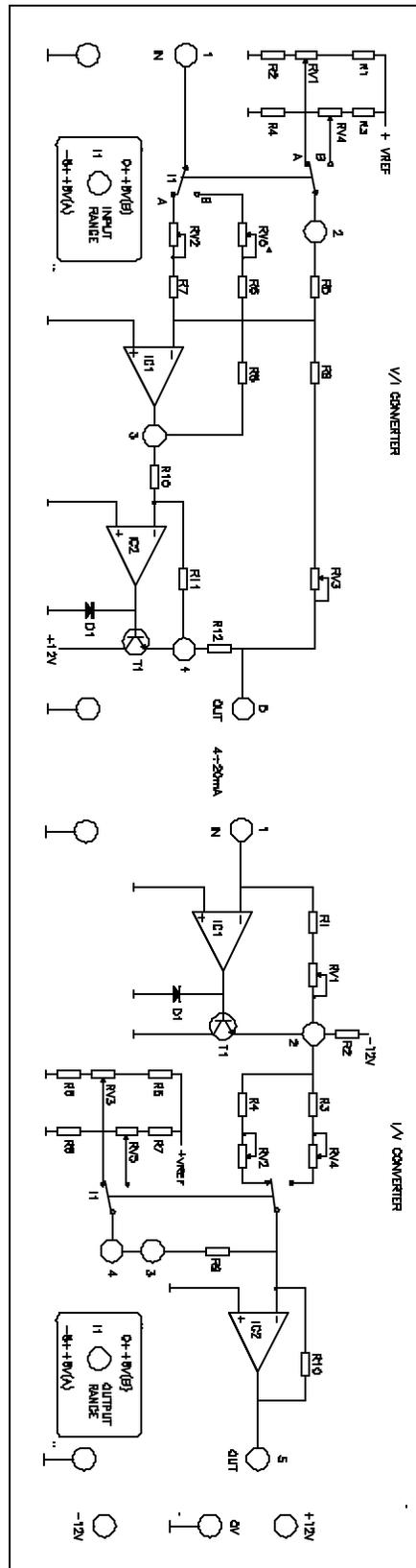


Figura 8.

-
- Máxima impedancia de carga. Es el máximo valor de impedancia que puede presentar el convertidor (como generador de corriente).
 - Curva característica de voltaje-corriente. Es la curva que vincula el voltaje de entrada con la corriente de salida.
 - Curva característica de corriente-voltaje. Es la curva que vincula la corriente de entrada con el voltaje de salida.
 - Por lo que respecta a las características de conversión, también hay que tomar en cuenta la precisión global y la linealidad.
 - El margen de temperaturas de trabajo y eventuales coeficientes de dispersión térmica.

DESCRIPCION DEL EQUIPO

El módulo G32 corresponde a los circuitos de conversión de voltaje-corriente y de corriente-voltaje y está ilustrado en la Figura 8.

Para su funcionamiento, el equipo debe ser alimentado con voltajes continuos estabilizadas de ± 12 V y 0 V.

El esquema electrónico del convertidor de voltaje-corriente representado en la Figura 9, tiene una configuración similar a la de la Figura 5 explicada anteriormente. A este circuito se le aplican dos voltajes, uno de entrada V_{in} (borne 1) y uno de referencia V_{REF} (borne 2).

El funcionamiento es el siguiente: conectando a tierra el borne 5 y considerando unitaria la amplificación de los dos circuitos integrados I_{C1} e I_{C2} se tiene que la corriente de salida i_L será la relación entre el voltaje del borne 4 y la resistencia R_{12} . Si se intercala una resistencia entre el borne 5 y el de tierra, el voltaje en el borne 5 aumenta (a causa de la caída en la resistencia de salida-carga), y este voltaje se lleva hasta la entrada a través de $R_9 + R_{V3}$, con lo que el voltaje en el borne 4 aumentará de modo que el valor de la corriente que fluya en la carga (resistencia) no cambie respecto a la condición de cortocircuito.

El transistor T_1 funciona a modo de amplificador de corriente, mientras que D_1 actúa como protección.

Con el interruptor I_1 se selecciona y se fija el rango de entrada A para -8 a $+8$ V y B para 0 a 8 V. El voltaje de referencia puede variarse y medirse en el borne 2, esto para obtener 4 mA de salida en correspondencia con el valor más bajo de voltaje del rango de entrada.

El valor de R_{12} es igual a 253 ohms y el valor máximo de la resistencia de carga es de 150 ohms. Esto se verifica conectando en la salida (entre el borne 5 y tierra) dicho valor de resistencia. Con la máxima corriente (20 mA) el voltaje del borne 4 será: $20 \text{ mA} \times (253 + 150) = 8 \text{ V}$, que es el valor límite para no salir de la condición lineal.

Para el caso de que el rango de entrada sea entre 0 y 8 V, hay que conmutar I_1 en la posición B . El amplificador $IC1$ amplifica 1/2, por lo que en el borne 3 se tendrá un voltaje de 4 V cuando la entrada sea de 8 V. Con el potenciómetro R_{V4} el voltaje de referencia desplaza la señal de entrada de modo que a un voltaje de entrada de 0 V le corresponda una corriente de salida de 4 mA.

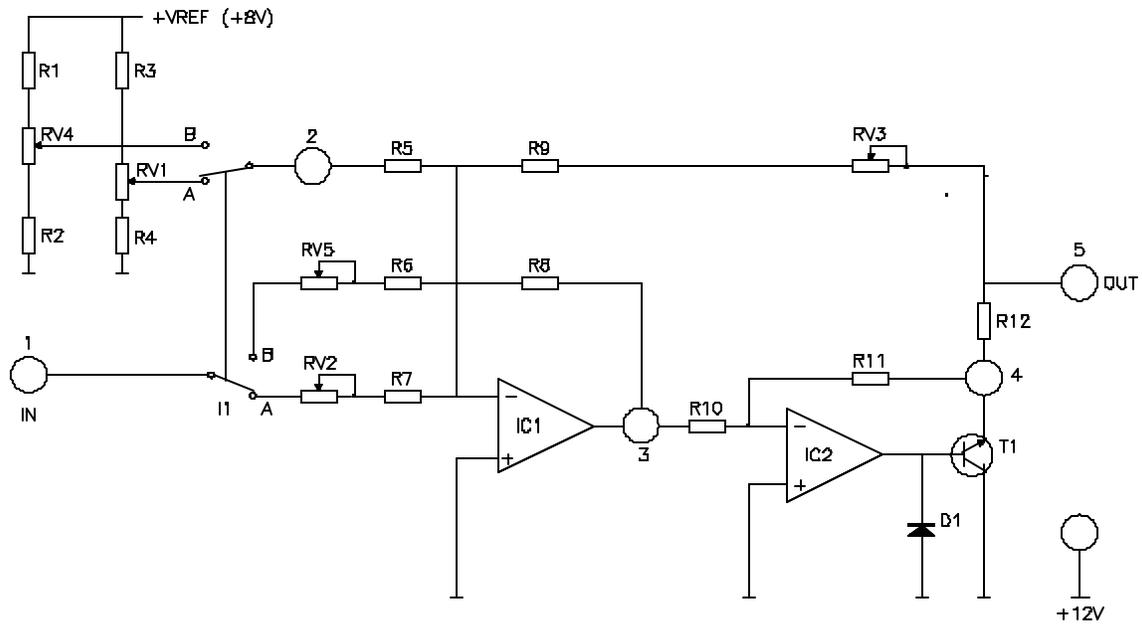


Figura 9.

Conmutando en A el interruptor I_1 el margen de entrada va de -8 V a +8 V, por lo que la amplificación de IC_1 será aproximadamente 1/4 (4 V en el borne 3). Con RV_1 se calibra el convertidor para obtener 4 mA de salida en correspondencia con -8 V de entrada.

Descripción y funcionamiento del convertidor I/V

El esquema electrónico del convertidor de corriente-voltaje está representado en la Figura 10.

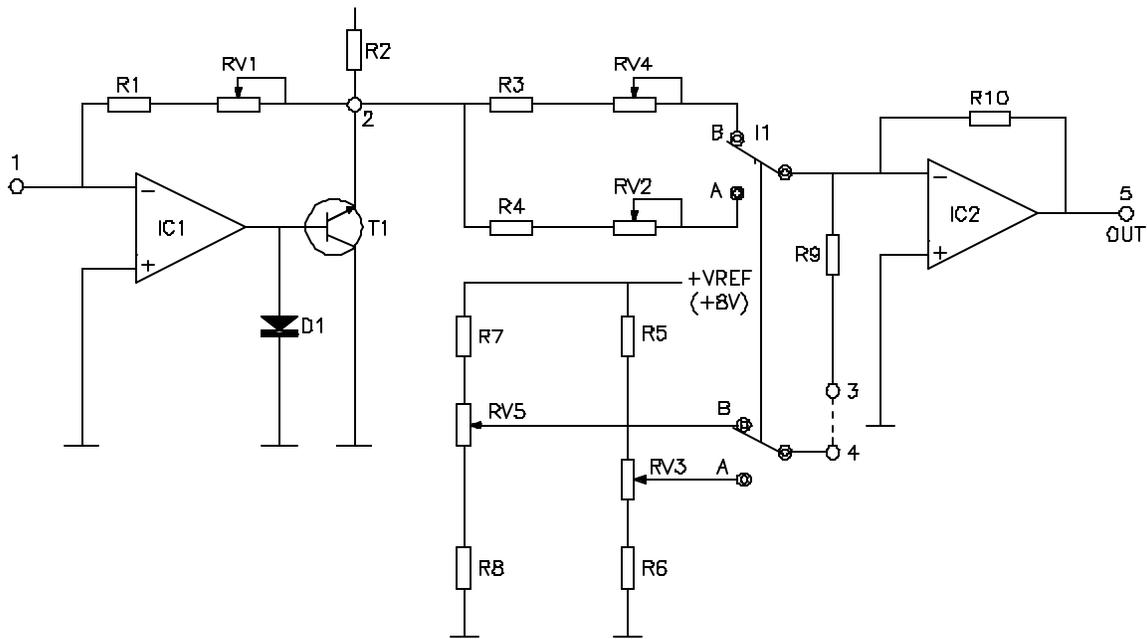


Figura 10.

La corriente de entrada (borne 1) cuyo valor está comprendido entre 4 y 20 mA fluye a través del conjunto $R_1 + R_{V1}$, generando en el borne 2 un voltaje proporcional a la corriente [$V_2 = -I_{in} (R_1 + R_{V1})$].

El amplificador operacional I_{C2} se encarga de amplificar y desplazar la señal de voltaje del borne 2; de este modo y con el conmutador I_1 en la posición *A*, se obtiene en la salida un rango de voltaje de -8V a +8V ó de 0 a 8V en la posición *B*. En cualquiera de estos dos casos se tiene que hacer una conexión del borne 3 al 4.

El transistor T_1 funciona a modo de amplificador de corriente, mientras que el diodo D_1 actúa como protección. La resistencia que el convertidor de corriente-voltaje presenta en entrada es igual a cero, ya que la entrada inversora del amplificador operacional I_{C1} está conectada a tierra (virtual).

Como se indicó anteriormente el rango de voltajes de salida se selecciona con el conmutador I_1 , que además de poder fijar el voltaje de referencia, también fija la amplificación específica para establecer el rango deseado de voltajes de salida.

OBJETIVOS

- Calibrar el convertidor V/I para rangos de entrada de 0 V a 8 V y de -8 V a 8 V, ambas con salidas de 4 a 20 mA.
- Calibrar el convertidor I/V de manera que a un rango de corriente de entrada de 4 a 20 mA le correspondan rangos de salida de 0 a 8 V y de -8 V a +8 V.
- Simular la transmisión de una señal a través de los convertidores V/I e I/V.

EQUIPO Y MATERIAL

- 2 multímetros digitales.
 - Fuente de alimentación estabilizada PS1.
 - Fuente bipolar HP.
 - Módulo G32.
 - 1 resistencia de 1 K.
 - 1 resistencia de 100 ohms.
 - 1 resistencia de 200 ohms.
 - Cables de conexión.
-

EXPERIMENTOS**EXPERIMENTO 1: CALIBRACION Y DETERMINACION DEL RANGO DE OPERACION DEL CONVERTIDOR V/I DE 0 A 8 V / DE 4 A 20 mA**

- Conectar los bornes ± 12 V y 0 V del panel a una fuente de alimentación estabilizada.
- Ubicar el interruptor I_1 en posición *B*.
- Conectar el miliamperímetro a la salida entre el borne 5 y tierra.
- Conectar la fuente de alimentación entre los bornes 1 y tierra, para obtener un voltaje variable entre 0 y +8 V proveniente de la fuente de alimentación.
- Fijar en 0 V el voltaje de entrada y regular el potenciómetro R_{V4} hasta obtener 4 mA en la salida.
- Aumentar a +8.0 V el voltaje de entrada y regular el potenciómetro R_{V5} hasta obtener 20 mA en la salida.
- Con la entrada en +8.0 V, conectar una resistencia de 100 ohms en serie con el miliamperímetro y regular el potenciómetro R_{V3} para obtener 20 mA en la salida.
- Verificar que a un voltaje de entrada de 0 V le corresponda una salida de 4 mA.
- Variar el voltaje de entrada, a partir de 0 V hasta +8 V, con saltos de 1 V y, en correspondencia con cada uno de ellos, medir la corriente de salida con el miliamperímetro.
- Registrar los datos obtenidos en la Tabla 1(a).

N	V_{IN} a a B [Volt]	I_{OUT} [mA]
1	0	
2	1	
3	2	
4	3	
5	4	
6	5	
7	6	
8	7	
9	8	

N	V_{IN} -B a B [Volt]	I_{OUT} [mA]
1	-8	
2	-6	
3	-4	
4	-2	
5	0	
6	2	
7	4	
8	6	
9	8	

Tabla 1

EXPERIMENTO 2: CALIBRACION Y DETERMINACION DEL RANGO DE OPERACION DEL CONVERTIDOR V/I DE -8 V A +8 V / DE 4 A 20 mA

- Conectar los bornes ± 12 V y 0 V del panel a una fuente de alimentación estabilizada.
- Fijar el interruptor I_1 en la posición A .
- Conectar el miliamperímetro a la salida entre el borne 5 y tierra.
- Aplicar a la entrada, entre los bornes 1 y tierra, un voltaje variable entre -8 y +8 V proveniente de una fuente de alimentación.
- Llevar a -8V el voltaje de entrada y regular el trimer R_{V1} hasta obtener 4 mA de salida.
- Llevar a +8,0 V el voltaje de entrada y regular el trimer R_{V2} hasta obtener 20 mA de salida.
- Llevar a -8,0 V el voltaje de entrada y verificar que la salida sea de 4 mA.
- Estando la entrada en +8,0 V conectar una resistencia de 100 ohms en serie con el miliamperímetro y regular el trimer R_{V3} para obtener 20 mA en la salida.
- Incrementar el voltaje de entrada, a partir de -8 V, con saltos de 2 V y, en correspondencia con cada uno de ellos, medir la corriente de salida con el miliamperímetro.
- Agrupar los datos obtenidos en la Tabla 1(b).

EXPERIMENTO 3: CALIBRACION Y DETERMINACION DEL RANGO DE OPERACION DEL CONVERTIDOR I/V DE 4 A 20 mA / 0 A 8 V

- Conectar los bornes ± 12 V y 0 V del panel a una fuente de alimentación estabilizada.
 - Ubicar el interruptor I_1 en la posición B.
 - Desconectar el cable de conexión de los bornes 3 y 4.
 - Conectar el voltímetro a la salida entre el borne 5 y tierra.
 - Para aplicar en la entrada, entre los bornes 1 y tierra, un voltaje variable entre 4 V y +20 V conecte en serie una resistencia de 1 K y un miliamperímetro, como se muestra en la Figura 11.
 - Varíe el voltaje de entrada hasta que en el miliamperímetro se lea la corriente máxima que es de 20 mA, regular el trimer R_{V1} hasta obtener +8 V entre el borne 2 y tierra. Posteriormente regule el trimer R_{V4} para que a la salida, entre los bornes 5 y tierra se tengan 10 V.
 - Conecte el cable de conexión entre los bornes 3 y 4 y con el trimer R_{V5} compare la diferencia de voltajes hasta obtener 8 V entre los bornes 5 y tierra.
-

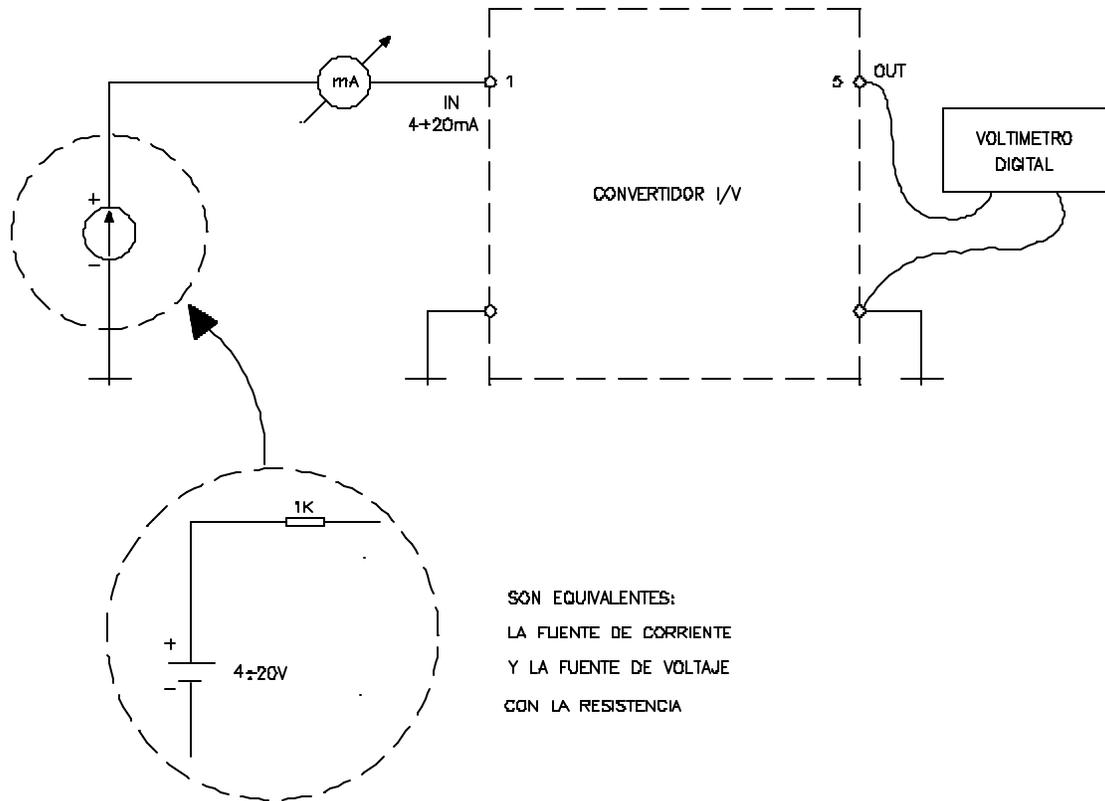


Figura 11.

- Varíe el voltaje de entrada hasta que en el miliamperímetro se lea la corriente mínima, que es de 4 mA y verifique que a la salida, entre los bornes 5 y tierra se tengan aproximadamente 0 V.
- Incremente la corriente de entrada, (ajustando el voltaje de la fuente), a partir de 4 mA con saltos de 2 mA y en correspondencia con cada uno de ellos, leer en el voltímetro digital el voltaje de salida. Registre los datos obtenidos en la Tabla 2(a).

N	I_{IN} [mA]	V_{OUT} [Volt]
1	4	
2	6	
3	8	
4	10	
5	12	
6	14	
7	16	
8	18	
9	20	

N	I_{IN} [mA]	V_{OUT} [Volt]
1	4	
2	6	
3	8	
4	10	
5	12	
6	14	
7	16	
8	18	
9	20	

Tabla 2

EXPERIMENTO 4: CALIBRACION Y DETERMINACION DEL RANGO DE OPERACION DEL CONVERTIDOR I/V 4 A 20 mA / DE -8 V A +8 V

- Conectar los bornes ± 12 V y 0 V del panel a una fuente de alimentación estabilizada.
- Ubicar el interruptor I_1 en la posición *A*.
- Para aplicar en la entrada, entre los bornes 1 y tierra, un voltaje variable entre 4 V y +20 V conecte en serie una resistencia de 1 K y un miliamperímetro, como se muestra en la figura 11.
- Desconecte el cable de conexión de los bornes 3 y 4.
- Varíe el voltaje de entrada hasta que se lean 4 mA en el miliamperímetro. Verifique que entre el borne 5 y tierra se encuentre un voltaje de 4 V.
- Conecte el cable de conexión entre los bornes 3 y 4 y regule el trimer R_{V2} hasta obtener -8 V a la salida entre los bornes 5 y tierra.
- Aumente el voltaje de la fuente hasta leer 20 mA en el miliamperímetro. Posteriormente ajuste con R_{V3} hasta tener 8 V a la salida entre los bornes 5 y tierra.
- Varíe el voltaje de entrada hasta leer 4 mA en el miliamperímetro y verifique que se tengan aproximadamente -8 V en la salida.
- Incremente la corriente de entrada, (ajustando el voltaje de la fuente), a partir de 4 mA con saltos de 2 mA y en correspondencia con cada uno de ellos, lea en el voltmetro digital el voltaje de salida. Registre los datos obtenidos en la tabla 2(b).

EXPERIMENTO 5: TRANSMISION DE UNA SEÑAL ELECTRICA A LARGA DISTANCIA.

- Conectar los bornes ± 12 V y 0 V del panel a una fuente de alimentación estabilizada.
- Ubicar el interruptor I_1 en la posición *B*.
- Teniendo calibrados los convertidores de V/I y de I/V de acuerdo a los experimentos anteriores, conecte el borne 5 del convertidor V/I al borne 1 del convertidor I/V y respectivamente la tierra del V/I con la tierra del I/V.
- Después conecte un voltmetro digital a la salida "OUT" del convertidor I/V.
- Verifique que a una entrada de 0.0 V se tengan aproximadamente 0.0 V y que a una entrada de +8.0 V se tengan aproximadamente +8.0 V.
- Posteriormente conecte entre los bornes 5 del convertidos V/I y 1 del convertidor I/V un cable de cobre muy largo, representando una línea de transmisión. Verifique que los voltajes a la entrada y a la salida sean los mismos.

- Mida la resistencia que presenta el cable de cobre y sustitúyalo por una resistencia de 200 ohms. Observe qué ocurre al aplicar a la entrada los valores mínimo y máximo de voltaje que se aplicaron en los pasos anteriores.

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

1. Investigue qué es un transmisor con salida eléctrica y con salida neumática.
2. ¿Cuáles son los rangos estandarizados de las salidas eléctricas y neumáticas?.
3. Presente un ejemplo o aplicación de un transmisor con salida eléctrica.
4. ¿Cuál es la ventaja principal que presenta el transmisor?.
5. ¿Qué semejanza o relación hay entre el convertidor V/I, el convertidor I/V y el transmisor eléctrico?.
6. Trazar la curva que establece una relación entre el voltaje de entrada del convertidor y la corriente de salida del mismo.
7. Trazar la curva que establece una relación entre la corriente de entrada del convertidor y el voltaje de salida del mismo.