

Lazos de Corriente con Amplificadores Operacionales

Axel A. Skrauba^a, Héctor R. Anocibar^b

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

^b Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: axelskrauba@gmail.com, anocibar@fio.unam.edu.ar

Resumen

En los procesos industriales de control es frecuente el uso de lazos de corriente, es por ello que resulta de suma importancia conocerlos e implementarlos de forma correcta. En el presente escrito se abarca el lazo de corriente de 4 a 20 mA, vinculando para ello los conocimientos adquiridos en Electrónica Analógica y realizando la implementación práctica de los circuitos correspondientes, a fines de analizarlos y contrastar ambas partes. Además, se propone un esquema de generación práctico a modo de opción para su utilización en el campo laboral. Todo el contenido se aborda como parte de una actividad de enseñanza fuera de clase, para que el alumno pueda trabajar con los tiempos que posea e involucrarlo en los aspectos del autoaprendizaje.

Palabras Clave – Amplificadores, Autoaprendizaje, Corriente, Operacionales, Lazo.

1. Introducción

Los lazos de corriente son utilizados en gran medida en la actualidad, siendo el nexo principal entre las señales provenientes de los sensores y el sistema de control en general. Al mencionar un ejemplo típico de su uso, se ingresa en el ámbito de los procesos industriales. En donde abundan los sistemas de control para que el producto a obtener resulte homogéneo e invariante entre los diversos lotes y de esta manera asegurar la calidad de los mismos.

Para lograr un sistema de control con este cometido, es necesario que cada etapa pueda comunicarse con la siguiente y que la información intercambiada entre una y otra resulte fidedigna. Es decir, que la información relevada por los sensores pueda llegar a la etapa de control sin sufrir alteraciones de ningún tipo.

Entre las etapas de sensado y control es frecuente la existencia de largas distancias, en estas condiciones entran en juego las ventajas de un lazo de corriente por sobre uno de tensión. Las señales de corriente son más inmunes a los ruidos eléctricos que las señales de tensión.

El estándar a nivel mundial en instrumentación industrial para control de procesos es el lazo de corriente analógica de 4 a 20 mA [1]. Entre las ventajas que presenta se pueden mencionar las siguientes: al representar el mínimo valor con 4 mA y no con 0 mA es posible detectar la ruptura de un cable y no se confunde una señal de cero con una de mal funcionamiento, se puede trabajar en largas distancias, no hay riesgo personal al entrar en contacto con el cable siendo la alimentación industrial más utilizada la de 24 V, la señal es fácilmente convertible a un rango de tensión, etc.

Dados estos factores, surge la iniciativa de experimentar la generación de un lazo de corriente con las especificaciones ya mencionadas como parte de una actividad en la asignatura Electrónica Analógica de la carrera Ingeniería Electrónica, a fines de vincular los conocimientos adquiridos

durante el cursado de la misma, e incentivar al alumno a experimentar en su hogar con los elementos y dispositivos característicos de la asignatura y la carrera propiamente dicha.

Cabe resaltar que durante la etapa de estudio es de suma importancia vincular con la experimentación el marco teórico adquirido, y con más énfasis aun, tratándose de aspectos que ligan directamente a una posible actividad a desempeñar en la etapa profesional futura.

2. Metodología

2.1. Esquema y cálculos para el circuito propuesto por el docente

Se propone para la generación del lazo de corriente el esquema de la Fig. 1.

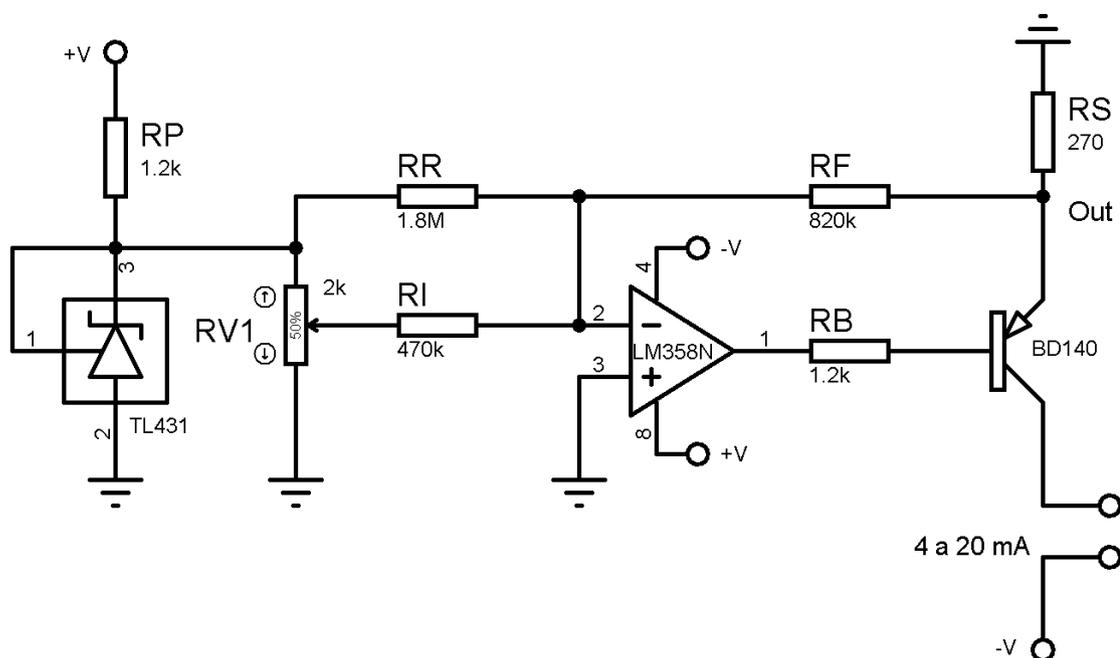


Fig. 1. Esquema circuital para la generación del lazo de corriente.

Para la conformación del circuito de la Fig. 1, se emplean los siguientes componentes:

- Amplificador operacional (AO), LM358
- Referencia de precisión programable, TL431
- Transistor PNP, BD140
- Resistores y preset (RV1)

La ecuación (1) describe el comportamiento de la configuración de la Fig. 1:

$$-V_r * \frac{R_F}{R_R} - V_i * \frac{R_F}{R_I} = V_{out} = -I_o * R_S \quad (1)$$

Dónde: V_r es la tensión de referencia dada por el TL431 (2,5 V en la configuración de la Fig. 1); V_i es la tensión resultante por la afectación de RV1 a la tensión de referencia dada por el TL431; V_{out} es la tensión de salida sensada por el AO; I_o es la corriente del lazo generado.

Reemplazando los elementos expuestos en (1) por sus valores numéricos hallados en la Fig. 1 y reordenando se tiene:

$$V_{out} = -R_F \left(\frac{V_r}{R_R} + \frac{V_i}{R_I} \right) = -820 \text{ k}\Omega \left(\frac{2,5 \text{ V}}{1,8 \text{ M}\Omega} + \frac{V_i}{470 \text{ k}\Omega} \right) = -I_o * R_S \quad (2)$$

$$I_o = \frac{820 \text{ k}\Omega \left(\frac{2,5 \text{ V}}{1,8 \text{ M}\Omega} + \frac{V_i}{470 \text{ k}\Omega} \right)}{270 \text{ }\Omega} \quad (3)$$

Se demuestra con (3) que la corriente de salida depende únicamente de V_i , por lo cual, la corriente del lazo generado se comanda con la regulación del preset RV1 al realizar las pruebas.

Se procede a verificar la posibilidad de generación de un lazo de 4 a 20 mA, para ello se testean ambos extremos de RV1 (0 y 2,5 V):

$$I_o = \frac{820 \text{ k}\Omega \left(\frac{2,5 \text{ V}}{1,8 \text{ M}\Omega} + \frac{0 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} \right)}{270 \text{ }\Omega} = 4,22 \text{ mA} \quad (4)$$

$$I_o = \frac{820 \text{ k}\Omega \left(\frac{2,5 \text{ V}}{1,8 \text{ M}\Omega} + \frac{2,5 \text{ V}}{470 \text{ k}\Omega} \right)}{270 \text{ }\Omega} = 20,37 \text{ mA} \quad (5)$$

Con (4) y (5) se verifica que es posible llegar de manera teórica a una buena aproximación utilizando resistores de la serie E12, que son los que fácilmente pueden adquirirse en el mercado local. Además, se deja en evidencia la utilidad del circuito: convertir una señal de tensión (de 0 a 2,5 V) en una de corriente (de 4 a 20 mA). Es decir, en lugar del RV1 empleado para las pruebas, ingresa al circuito la señal de tensión correspondiente (V_i por el resistor R_I).

Se procede a la implementación práctica a fines de corroborar experimentalmente los resultados.

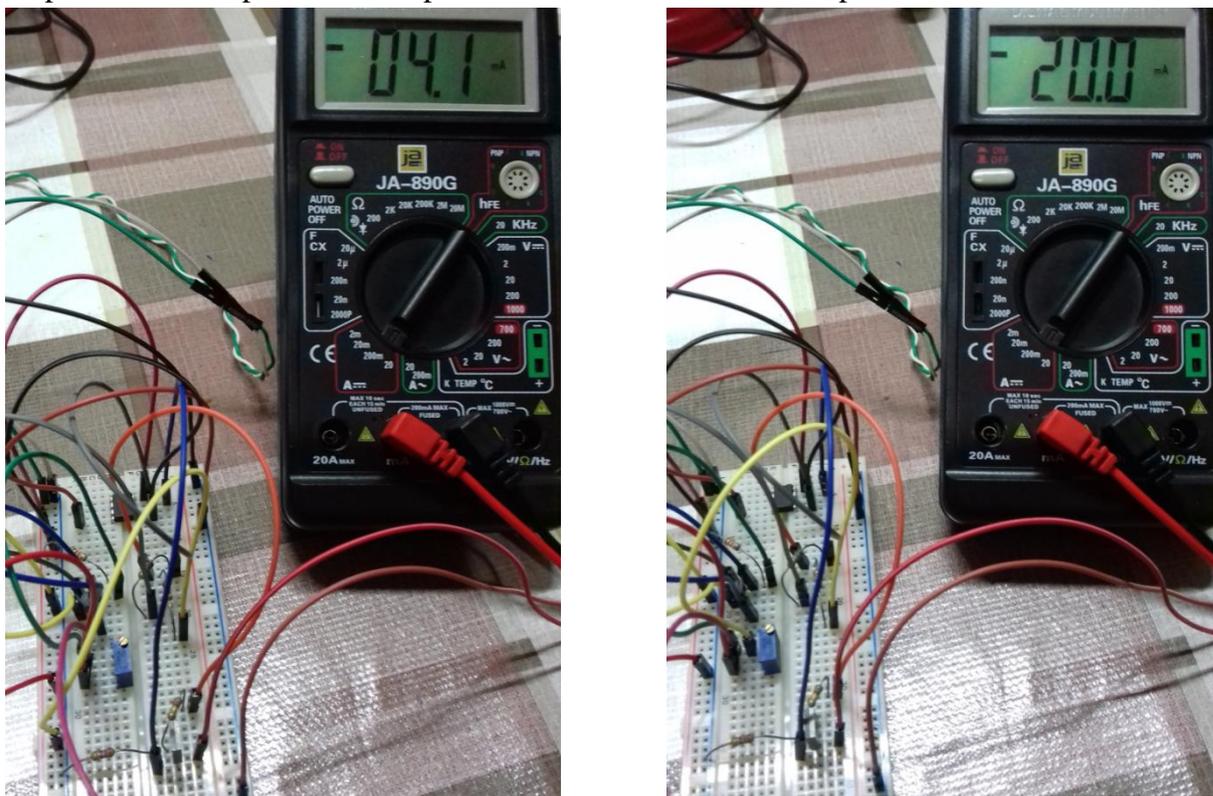


Fig. 2. Resultados de la experimentación. (a) Con $V_i = 0 \text{ V}$, (b) con $V_i = 2,5 \text{ V}$

Con los resultados de la Fig. 2 se comprueba experimentalmente el circuito. Siendo posible la conversión de la señal de tensión en el lazo de corriente establecido y obteniendo a su vez resultados satisfactorios (de 4,1 a 20 mA).

2.2. Esquema y cálculos para el circuito propuesto por el alumno

Se parte del principio básico de funcionamiento del AO en la configuración no inversora.

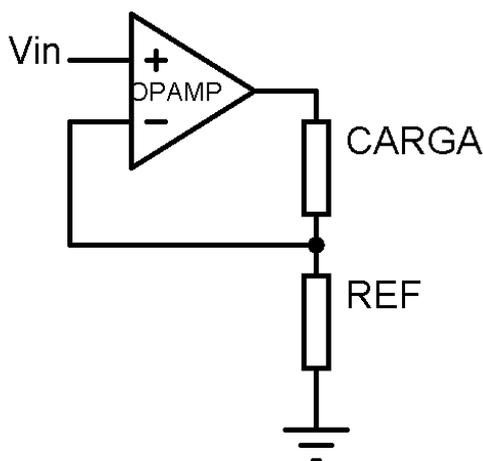


Fig. 3. Configuración no inversora del AO.

El comportamiento de la configuración en la Fig. 3 se rige por:

$$V_{in} = I_o * R_{REF} \quad (6)$$

Dónde: I_o es la corriente circulante por CARGA y REF (Fig. 3).

El funcionamiento del esquema presentado en la Fig. 3 es el siguiente: el AO opera de manera tal que las tensiones sobre el resistor REF y la del pin no inversor del operacional (V_{in}) resulten iguales.

De esta manera la corriente puede comandarse con una tensión de referencia de manera similar al caso anterior (V_r). Para el circuito a desarrollar, se propone un modelo que consista en una tensión de referencia constante ($V_{in} \equiv V_r$) y que la generación del lazo de corriente se produzca mediante la modificación del resistor REF.

En el campo laboral, es muy común estar presente frente a una situación en donde resulte necesario testear el funcionamiento de una línea de transmisión, corroborar si la señal inyectada por un determinado sensor llega de manera correcta a la sala de control, etc.

Para casos de este tipo, no es tan importante generar el espectro completo de corrientes entre los 4 y 20 mA, sino más bien, es necesario contar de manera rápida con una corriente determinada y disponer de ella para los testeos. Es decir, no resulta práctico calibrar un preset a fines de obtener una corriente determinada, ya que esto requiere de disponer un multímetro e instrumentos para la mencionada calibración. En lugar de eso, se propone un circuito fijo que permita obtener 5 valores de corriente predeterminados conectando jumpers.

A diferencia del caso anterior (Fig. 1), en este se implementará un generador de 4 a 20 mA y no un convertor de tensión a corriente.

A continuación se presenta el esquema propuesto:

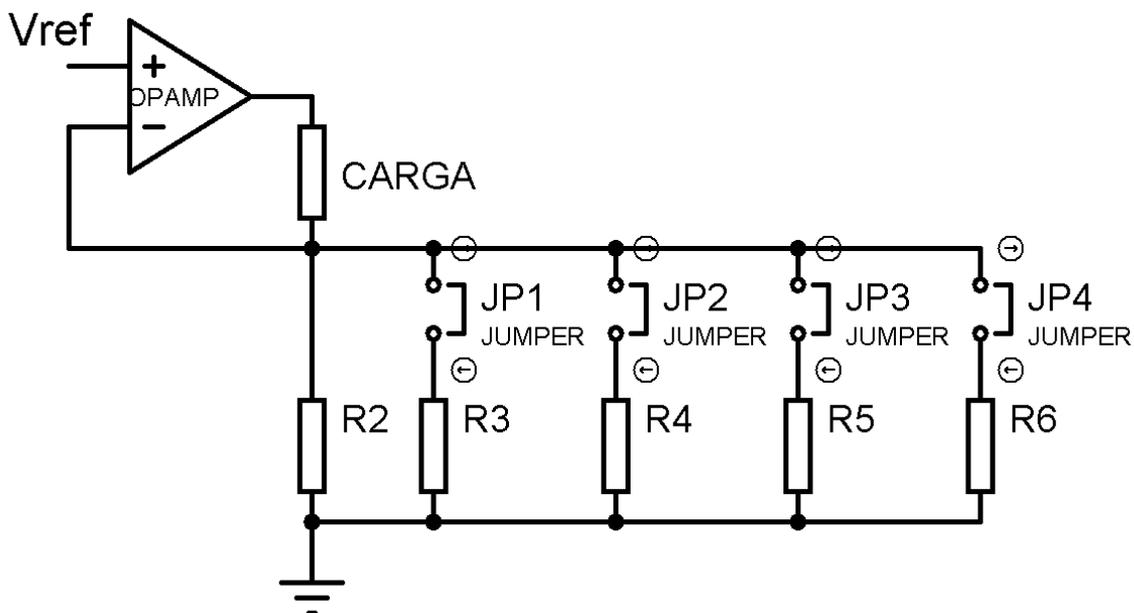


Fig. 4. Esquema propuesto para la generación del lazo de corriente en el campo laboral.

Con el esquema de la Fig. 4 se logra modificar la resistencia de referencia equivalente (Fig. 3) mediante establecer configuraciones de resistores en paralelo. De esta manera según los resistores a implementar resultan las corrientes a obtener con cada jumper conectado.

Se opta por lograr las siguientes corrientes: 4, 8, 12, 16 y 20 mA.

Para ello entonces, de la serie E12 se adoptan resistores convenientes a modo de requerir una tensión de referencia posible de lograr con la configuración ya empleada del TL431:

$$R2 = R3 = R4 = R5 = R6 = 560 \Omega \quad (7)$$

Con los resistores definidos en (7), la tensión de referencia para conseguir las corrientes definidas será:

$$V_{in} = 4 \text{ mA} * 560 \Omega = 2,24 \text{ V} \quad (8)$$

De esta manera se obtiene una $V_{in} = 2,24 \text{ V}$, es una tensión que fácilmente se logra con la configuración del TL431 empleada y un preset como divisor resistivo.

Se procede a analizar la máxima carga soportada en el lazo generado para que el efecto se siga manteniendo. Para ello se emplea la peor condición de corriente y una alimentación simétrica del AO de $\pm 12 \text{ V}$:

$$R_{CARGA} \leq \frac{V_{cc} - V_{in}}{I_{omax}} \leq \frac{12 \text{ V} - 2,24 \text{ V}}{20 \text{ mA}} \leq 488 \Omega \quad (9)$$

El circuito final, se observa en la Fig. 5:

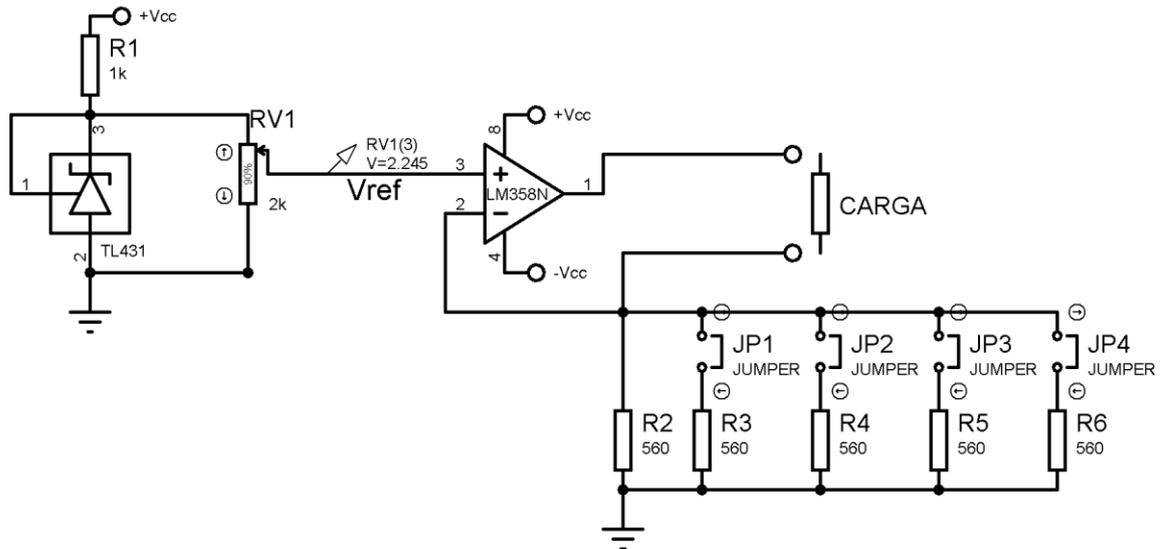


Fig. 5. Circuito propuesto para la generación de corriente en el campo laboral.

3. Análisis de resultados obtenidos

Al analizar los resultados obtenidos en la Fig. 2 se tiene que los mismos son prácticamente coincidentes con los planteamientos teóricos. Siendo posible la implementación de un circuito con dispositivos de fácil adquisición en el mercado local, y se logran resultados óptimos.

De igual manera, con el circuito de la Fig. 5 se consigue un lazo regulable mediante corrientes predefinidas en su construcción, y de esta manera, de forma sencilla se consiguen corrientes puntuales para su utilización en el campo. En este mismo caso, los componentes para la implementación resultan de fácil adquisición, otorgando la posibilidad de su uso al que lo requiera y en el momento que se requiera. Esto no sucede con los generadores comerciales debido a que para adquirirlos es necesario solicitarlos con anticipación a grandes distribuidores, los mismos no son difundidos con naturalidad en casas de electrónica locales, además de ser costosos.

4. Conclusiones

En la etapa de estudio, es de suma importancia que el docente permita al alumno realizar ensayos, investigar, experimentar y efectuar actividades por cuenta propia. Cabe resaltar, que todo ello siempre bajo las recomendaciones y consejos por parte del mismo. De esta manera se logran confirmar los conceptos y principios adquiridos, y la obtención de valiosa experiencia para la posterior inserción al campo laboral. Implementar actividades prácticas conlleva a mucho más que eso, incentiva a la investigación, búsqueda de alternativas y obtención de conclusiones que de otra manera no sucederían.

En muchos casos, realizar actividades áulicas en horarios acotados no permite desarrollar correctamente el saber. El enfoque del alumno está en culminar la actividad en el tiempo que se ha designado para la misma, incluso por sobre los objetivos mismos de la actividad en cuanto a

principios y conceptos que deberían ser fijados en el alumno. Cada persona necesita un lapso de tiempo diferente para adquirir destrezas tanto físicas como intelectuales, la posibilidad de desarrollar esta actividad en el entorno familiar y con los tiempos del alumno conllevó a satisfacer y con creces los objetivos propios de la actividad y además fijar en su totalidad el conocimiento, combinando teoría y ensayos prácticos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias a la cátedra Electrónica Analógica de la carrera Ingeniería Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones. Se agradece en especial al plantel docente por la dedicación y entrega a la hora de transmitir su conocimiento y su colaboración en la preparación del presente artículo.

Referencias

- [1] Compatibility of Analog Signals for Electronic Industrial Process Instruments. ANSI/ISA–50.1–1982 (R1992)