



Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de La Plata

Cátedra: Circuitos Electrónicos II

AMPLIFICADORES LOCK IN

(MULTIPLICADOR ANALÓGICO – DETECTOR SENSIBLE A FASE)

GUÍA DE LABORATORIO N° 5

Profesor: Ing. Aníbal Laquidara.

J.T.P.: Ing. Isidoro Pablo Perez.

Ay. Diplomado: Ing. Carlos Díaz.

Ay. Diplomado: Ing. Alejandro Giordana

Ay. Alumno: Sr. Nicolás Ibáñez.

URL: <http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/electronicos2/>

INTRODUCCIÓN

En este laboratorio, se desea medir temperatura con una precisión de 0.01°C , utilizando como sensor una Pt100 (resistencia que varía su valor con la temperatura, con un coeficiente positivo).

Asimismo, está presente un ruido mucho mayor que la señal de interés, de forma tal que la relación señal / ruido en la entrada del amplificador será mucho menor que uno.

Para la Pt100 se cumple que vale $100\ \Omega$ a 0°C , y aumenta $0.39\ \Omega$ por cada $^\circ\text{C}$ de aumento de temperatura, de modo que:

$$\begin{aligned} 0^\circ\text{C} &\Rightarrow Pt_{100} = 100\ \Omega \\ 25^\circ\text{C} &\Rightarrow Pt_{100} \cong 109.75\ \Omega \\ 100^\circ\text{C} &\Rightarrow Pt_{100} \cong 139\ \Omega \end{aligned}$$

Se implementa un circuito puente de medida, cuyo esquema es el de la Figura N° 1:

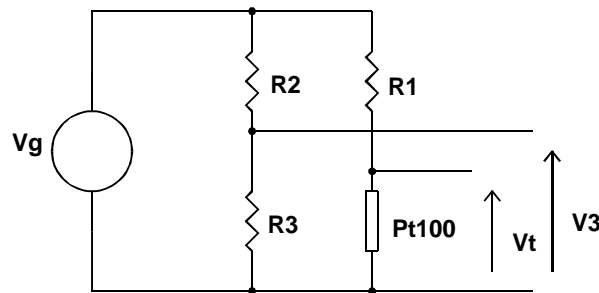


Figura N° 1

En él se puede plantear:

$$\begin{aligned} v_t &= \frac{v_g}{R_1 + Pt_{100}} Pt_{100} \quad y \quad v_3 = \frac{v_g}{R_2 + R_3} R_3 \\ \Rightarrow \Delta v &= v_t - v_3 = v_g \left(\frac{Pt_{100}}{R_1 + Pt_{100}} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) \end{aligned} \quad [1]$$

Siendo $R_1 = R_2 = 2800\ \Omega$, y $R_3 = 110\ \Omega$

$$\Delta v = v_g \left(\frac{Pt_{100}}{R_1 + Pt_{100}} - \frac{110}{2910} \right) = v_g \left(\frac{Pt_{100}}{R_1 + Pt_{100}} - 0.038 \right) \quad [2]$$

El equilibrio del puente se logra para aquella temperatura que hace nula la expresión [2]:

$$\begin{aligned} \frac{Pt_{100}}{R_1 + Pt_{100}} = 0.038 &\Rightarrow Pt_{100} = \frac{R_1}{\frac{1}{0.038} - 1} = \frac{2800}{25.31} = 110.6\ \Omega \\ 110.6 = 100 + 0.39T &\quad \therefore \quad \underline{T = 27.2^\circ\text{C}} \end{aligned}$$

Esta es la temperatura de equilibrio del puente.

Como amplificador de entrada (Figura N° 2) se utiliza un INA14, cuya ganancia se ajustó para que valga 500. La salida del amplificador está dada por:

$$V_e = -A_v \Delta v = -A_v (v_t - v_3)$$

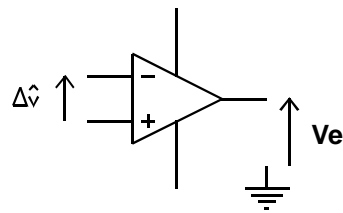


Figura N° 2

De modo que si la señal con que se alimenta al puente es:

$$v_g = 1 \cos(\omega t) \quad \text{con} \quad f = 1000 \text{ Hz}$$

$$\Rightarrow \Delta v = v_g \left(\frac{Pt_{100}}{R_1 + Pt_{100}} - 0.038 \right)$$

$$\text{Para } T = 25^\circ\text{C}, Pt_{100} = 109.75 \Omega$$

$$\therefore \Delta v = 1 \left(\frac{109.75}{2800 + 109.75} - 0.038 \right) = (0.0377 - 0.038)$$

$$\Delta v = -0.3 \text{ mV} \quad (\text{a la entrada del amplificador})$$

$$v_e = 500 * 0.3 \text{ mV} = 150 \text{ mV} \quad (\text{a la salida del amplificador})$$

Para un apartamiento de 1 °C del equilibrio ($T = 26.2^\circ\text{C}$), la Pt100 vale 110.14 Ω , de manera que se produce un $\Delta v = -0.153 \text{ mV}$ a la entrada del INA114. A su salida:

$$V_e = 76.5 \text{ mV} \quad \Rightarrow \quad 1^\circ\text{C}$$

$$V_e = 7.65 \text{ mV} \quad \Rightarrow \quad 0.1^\circ\text{C}$$

$$V_e = 0.765 \text{ mV} \Rightarrow \quad 0.01^\circ\text{C}$$

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA DE LABORATORIO

Instrumental y elementos necesarios:

- * Osciloscopio de dos canales (c / dos puntas)
- * Generador de señales sinusoidales
- * Multímetro digital + kit de puntas accesorias HP
- * Fuente de alimentación $\pm 15 \text{ Vcc}$
- * 1 destornillador perillero

1) Verificación del funcionamiento del multiplicador analógico AD633:

- a) Identificar los componentes del circuito siguiendo el esquema circuital

- b) Verificar que si una entrada del multiplicador es nula, la salida es nula (el producto es nulo). Para ello:
- Llave LL1 en posición K, y con un Multímetro sobre el punto de prueba TP2 ajustar la constante a 5V (con el Preset P5).
 - Llave LL2 en posición GND (masa), y verificar con el téster que la tensión es nula.
 - En estas condiciones, medir la tensión de salida del multiplicador $V_s^* = 0$ V (sobre TP4).
- c) Comprobación de la multiplicación de una señal sinusoidal por una constante:
- Conectar el generador de señales a la entrada correspondiente de la plaqueta, previamente ajustado en: $V_{g\text{pico}} = 1$ V y $f = 1$ kHz. Verificar que el jumper J1 esté en la posición “bc” y la llave LL2 en posición “señal”.
 - Sobre TP3 (punto medio de LL2), medir la amplitud de señal que llega a una de las entradas del multiplicador, ajustando el Preset P1 hasta que la amplitud de esta señal sea de 0.5 V.
 - Llave LL1 en posición “K”, con una tensión de +5V.
 - En uno de los canales del osciloscopio ver esta señal sinusoidal de entrada al multiplicador (TP3).
 - En el otro canal, ver la salida del multiplicador (TP4). Verificar que sea una senoide de amplitud $(0.1 \cdot 0.5 \cdot 5 = 0.25\text{V})$ y en fase con la señal de entrada.
 - Variando el Preset P5, ver cómo varía la amplitud de la señal de salida del multiplicador (osciloscopio en TP4). Comprobar que cuando la constante por la que se multiplica vale -5V (TP2), la salida del AD633 vuelve a ser de 0.25 V de amplitud, pero que está en contra-fase con la entrada.
- d) Producto de 2 señales de igual frecuencia y distinta fase:
- Llave LL1 en posición ϕ , y llave LL2 en “señal” (en TP3: $V_e = -A_v \cdot \Delta v$).
- Pin 1 del multiplicador: $v_x = v_e = V \hat{e} \cos(\omega t)$
- Pin 3 del multiplicador: $v_y = v_g = 1 \cos(\omega t + \theta)$ - La salida del multiplicador es (TP4):
$$v_s^* = \frac{1}{2} k \hat{v}_x \hat{v}_y [\cos(2\omega t + \theta) + \cos\theta]$$
 - Ajustar el potenciómetro P4 de modo que la diferencia de fase de las dos señales de entrada al multiplicador sea cero. Verificar con el osciloscopio en TP4, que la señal de salida es de frecuencia doble (2 kHz), y amplitud pico $= 0,5 \cdot 0.1 \cdot 0.5 \cdot 1 = 25$ mV.
 - Variando el potenciómetro P4, comprobar que la salida del multiplicador no cambia su amplitud ni su frecuencia, sino solamente su fase; y que el nivel de continua sobre el que está montada la componente alterna cambia aproximadamente de +25 mV a -25 mV, pasando por 0 cuando $\theta = 90^\circ$.

e) La expresión de la tensión de salida, después del filtro es

$$V_s = \frac{1}{2} k \hat{v}_x \hat{v}_y \cos\theta$$

- i) Con la LL2 en posición “GND”, y P8 en posición intermedia, ajustar el Preset P7 hasta obtener una tensión nula en la salida.
- ii) Volver la LL2 a la posición “señal y variar el Preset P4 obtener $\theta = 45^\circ$.
- iii) Medir la tensión de salida. El valor deberá ser aproximadamente

$$V_s = 0.707 * 25 \text{ mV} = 18 \text{ mV}$$

2) Verificación del comportamiento con la fuente de ruido.

- a) Se ajusta P1 hasta obtener la mínima salida en TP3 y se enchufa la fuente de ruido.
- b) Variando P2, se ajusta la fuente de ruido a un valor tal que en TP3 se midan 2 Vpico de señal de 50 Hz. Luego, se cumple que:

$$v_x = 2 \cos(\omega_x t)$$

$$v_y = 1 \cos(\omega_y t) \quad \text{con} \quad \omega_x \neq \omega_y$$

$$v_s^* = \frac{1}{2} k v_x v_y \{ [\cos(\omega_x + \omega_y)t] + [\cos(\omega_x - \omega_y)t] \}$$

$$v_s^* = 0.5 \times 0.1 \times 2 \times 1 [\cos(2\pi 1050 t) + \cos(2\pi 950 t)]$$

Puede considerarse que al filtro ingresan dos fuentes de ruido: una de 950 Hz y otra de 1050 Hz, como lo muestra la Figura N° 3. [Recordar que en la entrada Vx del multiplicador (pin 1), sólo tenemos ruido, sin la del generador].

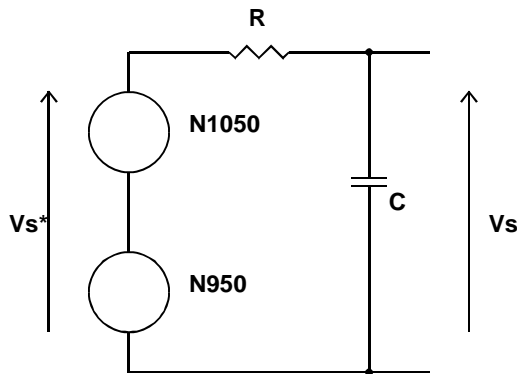


Figura N° 3

Escribimos:

$$\hat{v}_s(t) = \frac{\hat{v}_s^*(t)}{R + \frac{1}{j\omega C}} \quad y \quad |\hat{v}_s(t)| = \frac{\hat{v}_s^*(t)}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} = \frac{\frac{1}{2}k\hat{V}_x\hat{V}_y}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}}$$

$$|\hat{v}_s(t)| = \frac{0.5 \times 0.1 \times 2 \times 1}{\sqrt{1 + (6.28 \times 950 \times 10^{-5} \times 10^4)^2}} = 167,6 \mu V \Rightarrow V_{s_{ef}} \cong 119 \mu V_{ef}$$

$$|\hat{v}_s(t)| = \frac{0.5 \times 0.1 \times 2 \times 1}{\sqrt{1 + (6.28 \times 1050 \times 10^{-5} \times 10^4)^2}} = 151,6 \mu V \Rightarrow V_{s_{ef}} \cong 107.5 \mu V_{ef}$$

$$\text{Llamamos a } V_{s_{ef}} = N(\text{señal de ruido}) \quad y \quad N_{Total} = \sqrt{N_{ef950}^2 + N_{ef1050}^2}$$

$$N_{Total} = 160 \mu V$$

Este debería ser el valor medido, si se dispusiera de un instrumento adecuado. Observando con el osciloscopio, y considerando el ruido propio del sistema electrónico, se aprecia un ruido de aproximadamente 0.4 mV.

- c) Desconectar fuente de ruido, generador de señal y fuente de alimentación. Reinstalar el INA114. Volver a conectar la alimentación $\pm V_{cc}$, el generador de señal y la fuente de ruido.
- d) Verificar la modulación de amplitud mirando con el osciloscopio en TP3, donde la señal moduladora es: $V_m = 2 \cos(2\pi 50 t)$; y la señal portadora es: $V_c = 1 \cos(2\pi 1000 t)$.
- e) Medir a la salida la relación S/N y verificar cómo cambia el valor de la tensión de salida eliminando y restituyendo la fuente de ruido.
- f) Si la salida del INA 114 es de 0.5 mV ($\cong 19,4^\circ C$), para un pico de señal de ruido a la entrada de 2 V, y con $\cos \theta = 1$, luego del filtro el valor a medir es de $\cong 25$ mVpico, y como $N = 0.3$ mVpico, tendremos:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_e = \frac{0.5}{2} = 0.25 \Rightarrow -12 \text{ db}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_s = \frac{25}{0,4} = 62.5 \Rightarrow 35 \text{ db}$$

Esta gran mejora que se logra en la relación señal/ruido es lo que demuestra que este amplificador es ideal para medir señales pequeñas inmersas en grandes ruidos.

Lista de componentes

Resistencias:

R1 = 2K8Ω (MF)
R2 = 2K8Ω (MF)
R3 = 133Ω (MF)
R4 = 127Ω (MF)
R5 = 100Ω
R6 = 10KΩ
R7 = 4K7Ω
R8 = 150Ω - 2W
R9 = 10KΩ
R10 = 10KΩ
R11 = 10KΩ
R12 = 10KΩ
R13 = 10KΩ
R14 = 10KΩ
R15 = 110KΩ (MF)
R16 = 100Ω (MF)
R17 = 100KΩ (MF)
R18 = 5K2Ω (MF)
R19 = 5K2Ω (MF)

Presets:

P2 = 2KΩ
P3 = 25KΩ
P5 = 20KΩ
P6 = 20KΩ
P7 = 20KΩ
P8 = 100KΩ

Trimpots:

P1 = 10Ω - 20 vueltas

Potenciómetros:

P4 = 2 x 10KΩ (2 pistas) p/PCB

Diodos:

D1 = 1N4007
D2 = 1N4007

Capacitores:

C1 = 10 nF - cerámico
C2 = 10 nF - cerámico
C3 = 10 nF - cerámico
C4 = 10 nF - cerámico
C5 = 56nF - poliéster
C6 = 56nF - poliéster
C7 = 10 nF - cerámico
C8 = 10 nF - cerámico
C9 = 4,7μF - no polarizado
C10 = 10 nF - cerámico
C11 = 10 nF - cerámico
C12 = 10 nF - cerámico
C13 = 10 nF - cerámico
C14 = 10μF - no polarizado
C15 = 10 nF - cerámico
C16 = 10 nF - cerámico
C17 = 4,7nF - poliéster
C18 = 100μF/25V - electrolítico
C19 = 100μF/25V - electrolítico

Circuitos integrados:

U1 = INA 114
U2 = LM 741
U3 = LM 358
U4 = LM 741
U5 = AD 633
U6 = LM 358

Transformador:

Tr1 : (220/6) Vef - 100 mA

Llaves tipo palanca:

LL1 : Simple inversora
LL2 : Simple inversora

Sensor:

PT-100

Conector sensor:

Paso .1" - macho p/PCB - x3 pines

