

# Laboratorio N° 3

Tomás Vidal  
Circuitos Electrónicos 1  
Facultad de Ingeniería, UNLP, La Plata, Argentina.  
29 de Junio, 2024.

## I. TOPOLOGÍA PRESENTADA

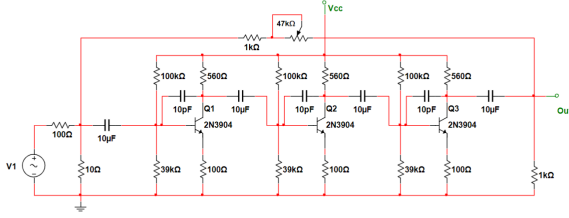


Fig. 1. Circuito dado

### I-A. Circuito completo

A partir del circuito dado (1) se pueden identificar 3 etapas individuales de amplificación y una realimentación de las mismas. Por lo que a continuación se analizan estas etapas individuales y el lazo de realimentación

## II. ETAPA AISLADA

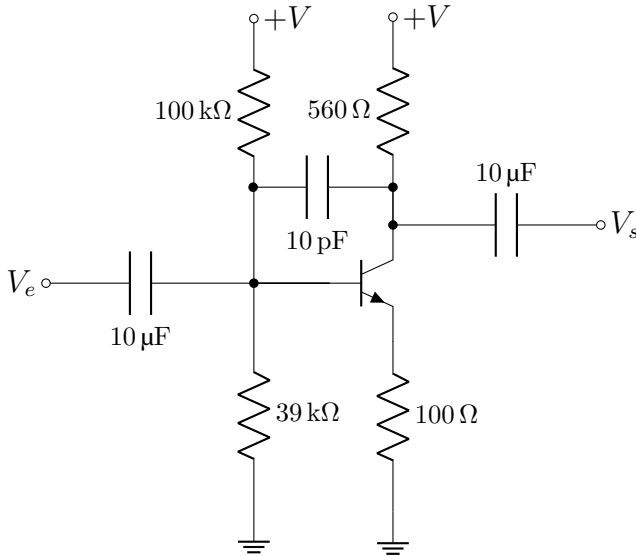


Fig. 2. Etapa individual dentro del lazo directo

Este amplificador es uno de *transadmitancia* ( $[\frac{A}{V}]$ ), y sus parámetros más representativos para este análisis son los de la tabla I; los mismos se obtuvieron aplicando el modelo de pequeña señal del BJT, y considerando que el capacitor de 10 pF está en circuito abierto y, los de 10 μF están en cortocircuito en pequeña señal.

Para calcular la ganancia total de las tres etapas en cascada, se consideró que la última contenía la carga (de 1 kΩ) del circuito

	Analítico	Aproximado
$Z_{in}$	$(100\text{ k}\Omega // 39\text{ k}\Omega) // (100\text{ }\Omega (1 + h_{fe}))$	13,2 kΩ
$Z_{out}$	560 Ω	560 Ω
$A_v$	$\frac{-560\text{ }\Omega}{100\text{ }\Omega}$	-5.6
$A_v$ (con 1 kΩ)	$\frac{-(560\text{ }\Omega // 1\text{ k}\Omega)}{100\text{ }\Omega}$	-3.59

TABLA I. Parámetros del amplificador de transadmitancia

## III. LAZO DIRECTO Y REALIMENTACIÓN

Para poder obtener la ganancia de lazo cerrado total del circuito, primero se considera el modelo con un bloque de ganancia de lazo directo  $a$  y una de realimentación  $\beta$  conectados en paralelo, tal como se puede identificar en el circuito completo 1.

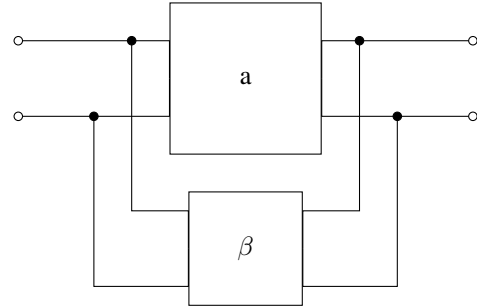


Fig. 3. Circuito completo realimentado (transimpedancia)

La ganancia de lazo directo  $a$  corresponde a las tres etapas en cascada considerando la última cargada con la resistencia de 1 kΩ. La del bloque beta corresponde a la que se obtiene al aplicar los parámetros  $Y$  (en el bloque de realimentación 4). Estos valores se pueden observar en la tabla III. Posteriormente se refiere a la resistencia de la red de realimentación como  $R_f$ , de feedback, esta es la resistencia de 1 kΩ en serie con el potenciómetro

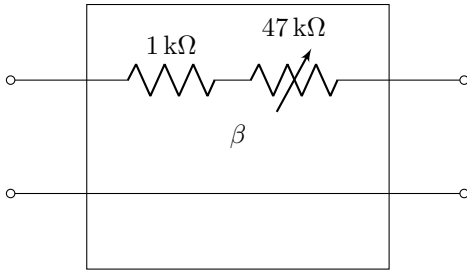


Fig. 4. Bloque beta de realimentación

Admitancias terminales	Análítico	$R_f = 48 \text{ k}\Omega$	$R_f = 1 \text{ k}\Omega$
De entrada $y_{11}$	$\frac{1}{R_f}$	$20,8 \mu\text{S}$	$1 \text{ mS}$
De salida $y_{22}$	$\frac{1}{R_f}$	$20,8 \mu\text{S}$	$1 \text{ mS}$

TABLA II. Parámetros de la realimentación

Ganancia	Análítico	Aproximado
$a_v$	$(A_v)(A_v)(A_{vcargado})$	$(-5,6)(-5,6)(-3,39) \cong -112,6 \frac{\text{V}}{\text{V}}$
$\beta_{max}$	$\frac{-1}{1 \text{ k}\Omega}$	$-1 \text{ m} \frac{\text{A}}{\text{V}}$
$\beta_{min}$	$\frac{-1}{48 \text{ k}\Omega}$	$-20 \mu \frac{\text{A}}{\text{V}}$

TABLA III. Ganancia de los bloques

El potenciómetro que ajusta la realimentación hace que la ganancia  $\beta$  ( $\beta_{max}$ ) sea máxima, cuando el potenciómetro está al mínimo (es decir  $0 \Omega$ ), y de manera análoga, cuando el potenciómetro se encuentra la máximo ( $48 \text{ k}\Omega$ ) la ganancia  $\beta$  es mínima ( $\beta_{min}$ )

### III-A. Ganancia de transimpedancia

Hasta ahora la ganancia del lazo directo calculada es de tensión (tabla III), pero para hacer la realimentación del circuito completo se debe considerar una ganancia de transimpedancia a lazo abierto (1). Para obtenerla se aplicó la ley de Ohm en la entrada del circuito equivalente

$$I_{in} \cdot Z_{in} = V_{in}$$

$$a_{zc} = a_v \cdot Z_{in} \cong -1,5 \text{ M} \left[ \frac{\text{V}}{\text{A}} \right] \quad (1)$$

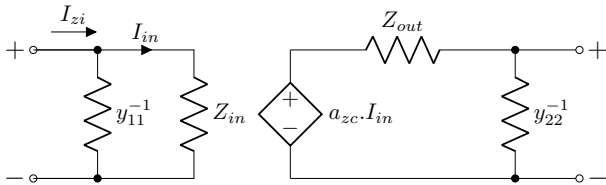


Fig. 5. Bloque de lazo directo cargado

La tensión que se percibe a la salida entonces es la que se impone por el divisor resistivo entre  $Z_{out}$  e  $y_{22}$ . Por lo que la tensión de salida es

$$V_{zo} = \frac{a_{zc} I_{in} y_{22}^{-1}}{Z_{out} + y_{22}^{-1}}$$

Y la corriente en la entrada es la que impone el divisor de corriente de  $Z_{in}$  e  $y_{11}^{-1}$ :

$$I_{zi} = I_{in} \left( 1 + \frac{Z_{in}}{y_{11}^{-1}} \right)$$

Entonces para obtener la ganancia del lazo cargado se hace la tensión de salida sobre la corriente de entrada:

$$G_{zc} = \frac{V_{zo}}{I_{zi}} = \frac{a_{zc}}{(1 + Z_{out} y_{22})(1 + Z_{in} y_{11})}$$

### III-B. Realimentación

A continuación se calcula la ganancia de realimentación del circuito de transimpedancia teniendo en cuenta la ecuación 2.

$$A_{zr} = \frac{G_{zc}}{1 + \beta G_{zc}} \quad (2)$$

Aunque como se cumple que  $G_{zc} > \beta$  entonces se puede hacer la aproximación:  $A_{zr} \cong \frac{1}{\beta}$

También se debe tener que en cuenta que al realimentar, para esta topología, la impedancia de entrada se disminuye en un factor  $1 + \beta G_{zc}$ . Por lo que para obtener la ganancia de tensión del circuito realimentado también se debe calcular esta nueva impedancia

$$Z_{ir} = \frac{y_{11}^{-1} Z_{in}}{y_{11}^{-1} + Z_{in}} \cdot \frac{1}{1 + \beta G_{zc}}$$

Ahora teniendo presente que queremos obtener tensión, se aplica la ley de Ohm en la entrada y se puede calcular la ganancia de tensión de la placa completa (es importante considerar las resistencias de  $10 \Omega$  y  $100 \Omega$  en la entrada). En la tabla IV se muestran los resultados

## IV. RESULTADOS

	Análítico	Medido	error relativo porcentual
$A_{vmin}$	-3.9382	-4.75	20,6 %
$A_{vmax}$	-9.8987	-9	9,07 %

TABLA IV. Resultados analíticos y empíricos

### IV-A. Polos medidos

Se hizo un barrido de frecuencia para los dos valores de  $R_f$  y se encontraron los polos en:  $840 \text{ KHz}$  y  $1570 \text{ KHz}$ , para los valores mínimos y máximos de  $R_f$  respectivamente. Si se considera que la placa provista es un sistema de orden 1, entonces el polo encontrado dicta la frecuencia de corte del sistema. De esta manera se puede calcular el producto ganancia por ancho de banda, como se muestra en la siguiente tabla V

Frecuencia del polo [KHz]	Ganancia	Producto
840	9	7 560 000
1570	4.75	7 457 500

TABLA V. Producto ganancia por ancho de banda

## V. CONCLUSIONES

Las mediciones son bastante cercanas a lo que se predijo en el análisis hecho. Además se midieron los polos y se verificó el producto ganancia por ancho de banda, que resultaron en valores cercanos (solo difieren en 1.35 %). Por lo que todo funcionó según lo esperado.