

# Informe final - Amplificador Diferencial Retroalimentado

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

Escuela profesional de Ingeniería Electrónica

Laboratorio de Circuitos Electrónicos III

Miguel Angel Janqui Cavero  
Ingeniero Electrónico  
Cusco, Perú  
miguel.janqui@unsaac.edu.pe

Ruth Juana Espino Puma - 185746  
Estudiante de Ingeniería Electrónica  
Cusco, Perú  
184657@unsaac.edu.pe

Davis Bremdow Salazar Roa - 200353  
Estudiante de Ingeniería Electrónica  
Cusco, Perú  
200353@unsaac.edu.pe

**Abstract**—Los amplificadores retroalimentados son dispositivos electrónicos que incorporan una parte de la señal de salida de nuevo a su entrada con el objetivo de controlar y mejorar su comportamiento. Esta retroalimentación puede ser negativa, lo que estabiliza la ganancia, reduce la distorsión y amplía el ancho de banda, o positiva, que se utiliza en aplicaciones como osciladores.

**Index Terms**—feedback, amplifier, gain, stability, bandwidth, distortion, negative, positive, op-amp, linearity

## I. ANÁLISIS EN ALTERNA Y PARÁMETROS DE SALIDA: T, AIF, AVF, ZIF, ZOF

El análisis a realizar para el amplificador diferencial se muestra en la figura 1 y es el que se tomara en cuenta para realizar el análisis en alterna, siendo este modificado mediante el agregado de una resistencia para poder obtener una correcta polarización en los transistores logrando mantener la señal de entrada con un ligero desfase.

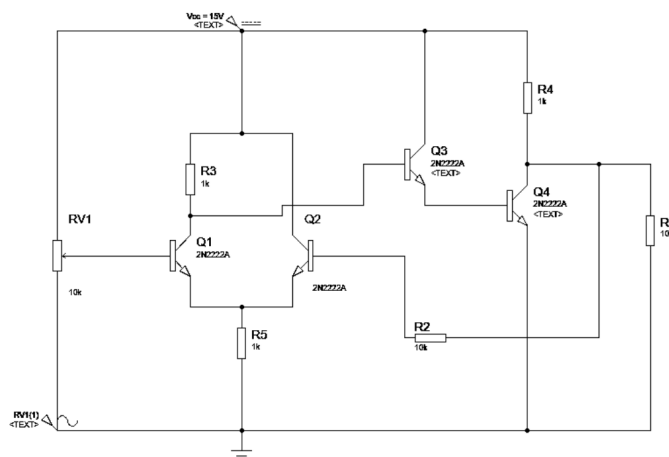


Fig. 1: Amplificador diferencial con ganancia de corriente

Para poder determinar la respuesta del circuito frente a señales fue necesario analizar el circuito en su modelo en pequeña señal la cual se dividió en 2 partes (entrada y

salida) teniendo en cuenta para ello el método de la fuente de prueba para representar este circuito mediante el desglose de la resistencia de retroalimentación en la entrada y salida del circuit, siendo el circuito de entrada del circuito el que se aprecia en la figura 2

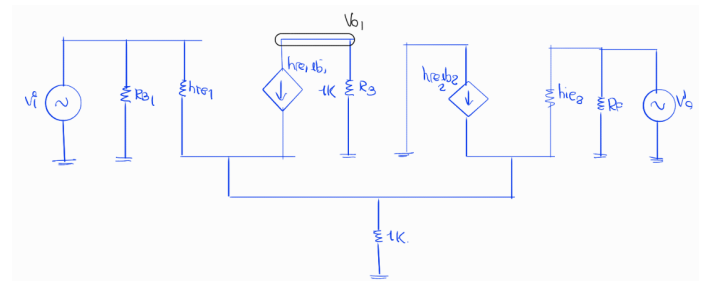


Fig. 2: Modelo en pequeña señal de la entrada del circuito

Por otro lado para el circuito de salida se tuvo en consideración el mismo reflejo de la resistencia de retroalimentación y la que se puede apreciar en la figura 3

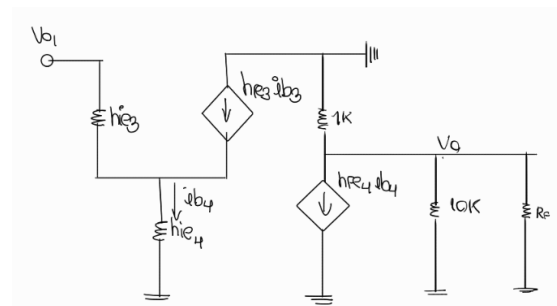


Fig. 3: Modelo en pequeña señal de salida del circuito

En función a los circuitos mostrados se realizó el cálculo de los respectivos parámetros de salida al relacionar la entrada y salida para la ganancia de voltaje y corriente y se hace uso de la fuente de prueba  $V'_O$  para determinar el factor T.

Para facilitar el análisis del circuito para diferentes valores se calculo una ganancia genérica en función a las características del circuito como la resistencia de entrada de cada transistor y las resistencias equivalentes producto del análisis en pequeña señal.

#### A. Calculo del factor de retroalimentación T

Para el cálculo de este valor se tuvo en cuenta la fuente de prueba  $V'_O$  y la salida  $V_O$  obteniendo tal relación mediante el empleo del voltaje  $V_{O1}$  que se aprecia en la figura 3.

Al realizar las equivalencias mediante las leyes eléctricas se obtiene para el circuito de entrada de la figura 2 que:

$$V_{O1} = -h_{fe1} * i_{b1} * R_3 \quad (1)$$

Y para el circuito de salida se tiene:

$$V'_O = -i_{b1} * (R_f + h_{ie1} + h_{ie2} + RB_1) \quad (2)$$

Siendo así que para obtener T se realizo la relación entre las ecuaciones 1 y 2 obteniendo finalmente:

$$\frac{V_O}{V_{O1}} = \frac{-h_{ie4} * R_{eq} * (1 + h_{fe3}) * h_{fe1} * R_3}{h_{ie3} * (R_f + h_{ie1} + h_{ie2} + RB_1)} \quad (3)$$

Una vez definida la ganancia de retroalimentación se procedió a calcular la ganancia de voltaje del sistema  $A_V$  con el objetivo de determinar la ganancia de retroalimentación regida por la siguiente ecuación definida en [1]

$$A_v = \frac{A_v}{1 - T} \quad (4)$$

Y su equivalente para la ganancia de corriente de retroalimentación será:

$$A_i = \frac{A_i}{1 - T} \quad (5)$$

Al proseguir con el calculo se tiene que la ganancia de voltaje al relacionar la entrada y salida del circuito se tiene:

$$A_v = \frac{h_{ie3} * R_{eq} * (1 + h_{fe3}) * R_3 * h_{fe1}}{h_{ie3}^2 * h_{ie1}} \quad (6)$$

De igual forma esta ganancia se calcula para la ganancia de corriente en retroalimentación y la cual por propia configuración del sistema se verá amplificada en gran medida debido a la configuración darlington en la salida.

## II. PARAMÉTRICOS EN PEQUEÑA SEÑAL PARA CADA TRANSISTOR: HIE1, HIE2, HIE3 Y HIE4

La resistencia de entrada de cada transistor, se encuentra en función de la ganancia, el voltaje termico y la corriente  $I_{CQ}$  determinada por la polarización CD del circuito.

Siendo así que para este caso al considerar una resistencia de 8K en la entrada la ecuación general que se tendrá en cuenta para el calculo para cada resistencia de entrada del transistor

$$h_{ie_n} = \frac{h_{fe_n} * V_T}{I_{CQ_n}} \quad (7)$$

Resistencia Entrada	$I_{CQ}$ [mA]	hie [KΩ]
$hie_1$	6.56	0.5945122
$hie_2$	0.0274	142.335766
$hie_3$	0.0354	110.169492
$hie_4$	7.13	0.54698457

TABLE I: Corriente de polarización y resistencia de entrada para cada transistor

Las resistencias de entrada para cada transistor se aprecian en la tabla I y de las cuales se puede observar que los transistores cuya resistencia de entrada es superior a los 100K Ω se encuentran en saturación debido a una mala polarización en los transistores.

## III. GRÁFICAS DE POLARIZACIÓN Y PUNTOS DE OPERACIÓN

Se presenta la tabla 4, la cual contiene valores obtenidos a partir de la simulación del circuito en Multisim para los diferentes valores de resistencia definidos para la etapa de entrada en el transistor  $Q_1$  que se aprecia en la figura 1, siendo así que esta tabla nos brinda un visión general del comportamiento del circuito en función de los voltajes y corrientes obtenidas para determinar el función dentro de la región de activa o caso contrario.

Rv1 [Kohm]	Ib1 [uA]	Vce1 [v]	Vce2 [v]	Vce3 [v]	Vce4 [v]
0,5	0,00626	11,183	11,184	0,5739	4,622
1	0,00553	11,183	11,184	0,5739	4,622
1,5	0,00478	11,168	11,173	0,5739	4,622
2	0,004	11,183	11,184	0,5739	4,622
2,5	0,00161	10,985	11,128	0,7153	4,675
3	0,00178	10,837	11,086	0,8204	4,715
3,5	9,6	8,559	10,404	2,409	5,358
4	19,2	6,38	9,697	3,874	6,03
4,5	31,5	4,365	8,991	5,117	6,704
5	47,7	2,508	8,293	6,331	7,373
5,5	70,8	0,8013	7,61	7,349	8,029
6	255	0,09338	7,302	7,748	8,303
6,5	571	0,06709	7,2642	7,714	8,281
7	896	0,05424	7,079	7,565	8,177
7,5	1290	0,04458	6,876	7,372	8,046
8	1800	0,03585	6,611	7,117	7,875
8,5	2530	0,02751	6,232	6,748	7,636
9	3740	0,0187	5,622	6,15	7,267
9,5	6120	0,00839	4,423	4,967	6,595

Fig. 4: Tabla de valores obtenidos en Multisim.

Además en la tabla 4 también se puede desglosar para analizar la variación el voltaje para cada resistencia configurada en la entrada siendo así que valores de resistencia entre los 4KΩ y los 5.5KΩ se pudo apreciar niveles de polarización adecuados para el correcto funcionamiento del circuito, sin embargo para que esto sea posible fue necesario agregar una resistencia de 200KΩ en la base del transistor  $Q_4$  la cual permitió limitar la corriente de control de  $IB_4$  permitiendo el funcionamiento de tal transistor en su zona activa.

En la figura 5, se puede apreciar tal modificación y mediante la cual se obtiene una salida no amplificada de la señal de entrada manteniendo su ganancia cerca de 1, en la figura también se puede apreciar el uso de un potenciómetro utilizado con la finalidad de poder calibrar la salida y poder ajustar dinamicamente el comportamiento del circuito durante su ejecución.

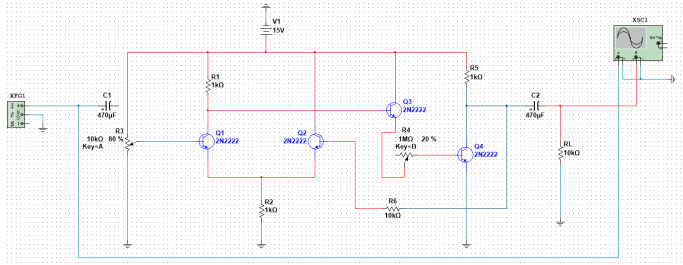


Fig. 5: Simulación del amplificador retroalimentado - Multisim

A continuación se muestran las gráficas y la evolución del voltaje y corriente en función de la resistencias de polarización de entrada  $RV_1$ ,  $RV_2$ .

#### A. Representación $I_{B1}$ vs $R_{v1}$

En la figura 6 se observa que a medida que el valor de  $R_{V1}$  se incrementa, la corriente  $I_{b1}$  va creciendo de forma no lineal aproximándose la curva a una exponencial a causa del incremento de voltaje en el divisor de voltaje creado por el potenciómetro, siendo tal fenómeno el que causa la operación de los transistores fuera de la zona activa configurándolos en modo saturación.

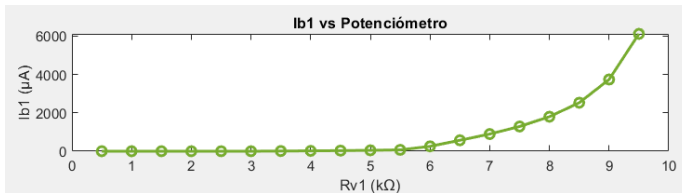


Fig. 6:  $I_{B1}$  vs  $R_{v1}$

#### B. Representación $V_{CE1}$ vs $R_{v1}$

Para valores bajos de  $RV_1$ ,  $V_{CE1}$  se mantiene casi constante. A partir del punto 3.5Kohm  $V_{CE1}$  cae rápidamente.

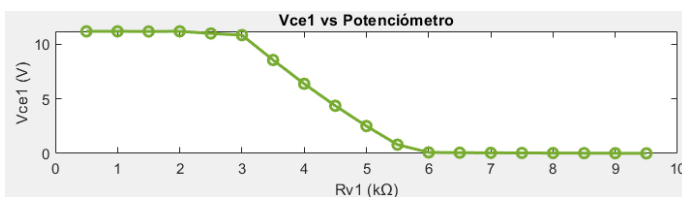


Fig. 7:  $V_{CE1}$  vs  $R_{v1}$

#### C. Representación $V_{CE2}$ vs $R_{v1}$

Semejante al caso anterior  $V_{CE2}$  se mantiene casi constante y de la misma forma a partir del punto 3.5kohm  $V_{CE2}$  cae.

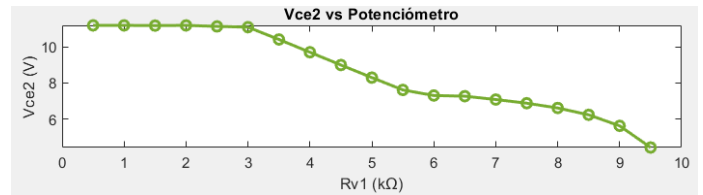


Fig. 8:  $V_{CE2}$  vs  $R_{v1}$

#### D. Representación $V_{CE3}$ vs $R_{v1}$

$V_{CE3}$  crece progresivamente.

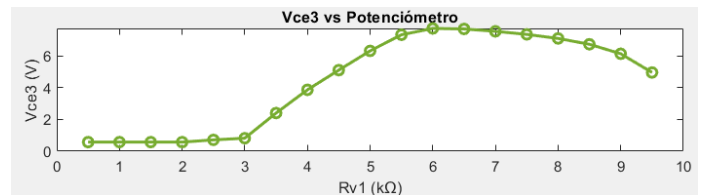


Fig. 9:  $V_{CE3}$  vs  $R_{v1}$

#### E. Representación $V_{CE4}$ vs $R_{v1}$

De igual manera que el caso anterior  $V_{CE4}$  crece rápidamente.

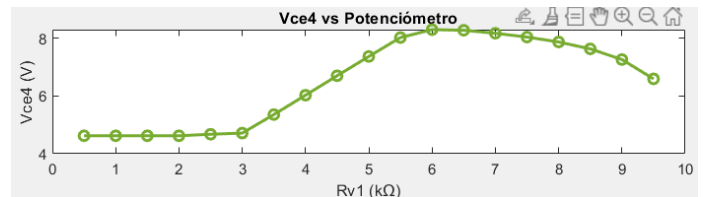


Fig. 10:  $V_{CE4}$  vs  $R_{v1}$

#### F. Representación $V_{CR2}$ vs $R_{v1}$

$V_{CR2}$  aumenta de manera notable en cuanto  $R_{v1}$  crece de colector.

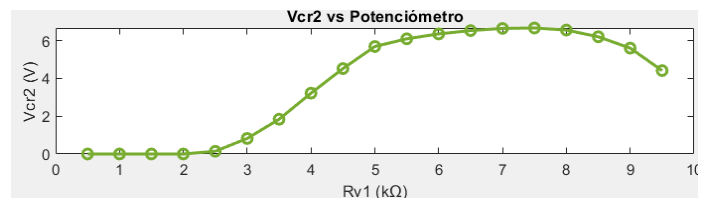


Fig. 11:  $V_{CR2}$  vs  $R_{v1}$

#### G. Representación $V_{CR4}$ vs $R_{v1}$

De igual forma se aprecia un cambio notable al incrementar  $R_{v1}$ .

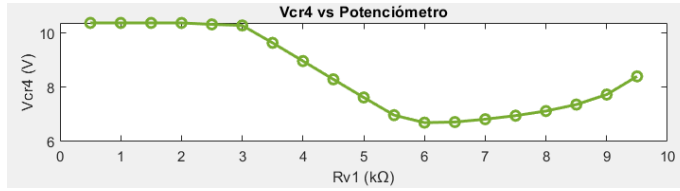


Fig. 12:  $V_{CR4}$  vs  $R_{v1}$

#### H. Representación $I_{CQ4}$ vs $R_{v1}$

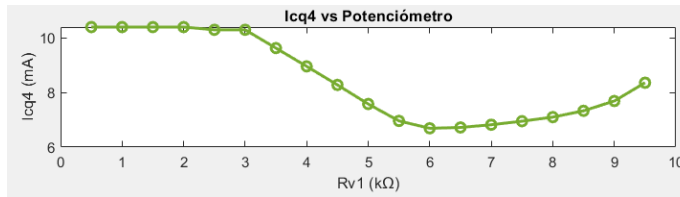


Fig. 13:  $I_{CQ4}$  vs  $R_{v1}$

#### IV. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

- El análisis en pequeña señal del amplificador diferencial permitió establecer un modelo preciso tanto en la entrada como en la salida, lo cual facilitó el cálculo del factor de retroalimentación  $T$  mediante la aplicación del método de la fuente de prueba. Esto demuestra la importancia de descomponer el circuito en bloques funcionales para entender su comportamiento global.
- La ganancia del sistema, tanto en voltaje como en corriente, se encuentra fuertemente influenciada por el valor del factor de retroalimentación  $T$ , siendo evidente que configuraciones como la Darlington en la etapa de salida amplifican significativamente la respuesta de corriente, lo cual es útil en aplicaciones donde se requiere gran capacidad de entrega de corriente a la carga.
- El cálculo de los parámetros en pequeña señal para cada transistor mostró que una incorrecta polarización puede llevar a niveles de resistencia de entrada anormalmente altos, lo cual indica que algunos transistores podrían estar en saturación. Este resultado resalta la importancia de una adecuada polarización DC para garantizar un funcionamiento lineal y eficiente del amplificador.

#### REFERENCES

- [1] M. N. Horenstein, *Circuitos y Dispositivos Microelectrónicos*, segunda ed., A. S. Fernández, Ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., 2000, traducción del inglés, Boston University.