

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

CURSO 4R2

ELECTRÓNICA APLICADA II  
(Ing. Olmos e Ing. Celdrán)

---

## Realimentacion Negativa

---

*Autores:*

Bosse Esteban

Bruno Luis

Massitti Martín

Sebastian Tamashiro

*Legajo N:*

62.930

57.755

62.281

59.034

12 de abril de 2016

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>2</b>
<b>3. Desarrollo</b>	<b>3</b>
3.1. Circuito . . . . .	3
3.2. Componentes . . . . .	3
3.3. Procedimiento . . . . .	4
<b>4. Mediciones</b>	<b>4</b>
4.1. Ganancia de tension . . . . .	4
4.1.1. Variacion $R_E$ . . . . .	5
4.1.2. Calculo de Desensibilidad . . . . .	5
4.2. Impedancia de salida . . . . .	5
4.3. Impedancia de entrada . . . . .	6
4.4. Ganacia con realimentacion . . . . .	6
4.5. Impedancia de salida con realimentacion . . . . .	6
4.6. Impedancia de entrada con realimentacion . . . . .	6
4.7. Ganancia de tension con realimentacion . . . . .	6
4.8. Valores Exactos . . . . .	7
4.9. Valores Simulados y Normalizados . . . . .	9
4.10. Valores Reales . . . . .	9
<b>5. Análisis y trazado de las rectas de carga para MES</b>	<b>9</b>
5.1. Recta de carga CC . . . . .	10
5.2. Recta de carga CA . . . . .	10
5.3. Punto Q . . . . .	11
<b>6. Mediciones en pequeña señal</b>	<b>11</b>
6.1. Impedancia de Entrada $Z_i$ . . . . .	12
6.2. Impedancia de Salida $Z_o$ . . . . .	12
6.3. Ganancia de Tension $\Delta V$ . . . . .	12
6.4. Ganancia de Corriente $\Delta I$ . . . . .	13
<b>7. Conclusiones</b>	<b>13</b>

## **1. Introducción**

La realimentacion negativa, es una topologia de circuito que posee la propiedad de estabilizar los parametros del circuito, sacrificando ganacia. Estabiliza el circuito respecto a las variaciones de temperatura y de ganacia de los distintos transistores. Su funcionamiento basico consta de tomar distintas muestras de la salida, para ser inyectadas en la entrada del circuito.

## **2. Objetivo**

Comprobar los resultados obtenidos analiticamente con los obtenidos en el laboratorio, consolidando la teoria con la practica para asimilar los conocimientos planteados por la materia.

### 3. Desarrollo

El circuito provisto es un amplificador de dos etapas, con la siguiente configuracion:

#### 3.1. Circuito

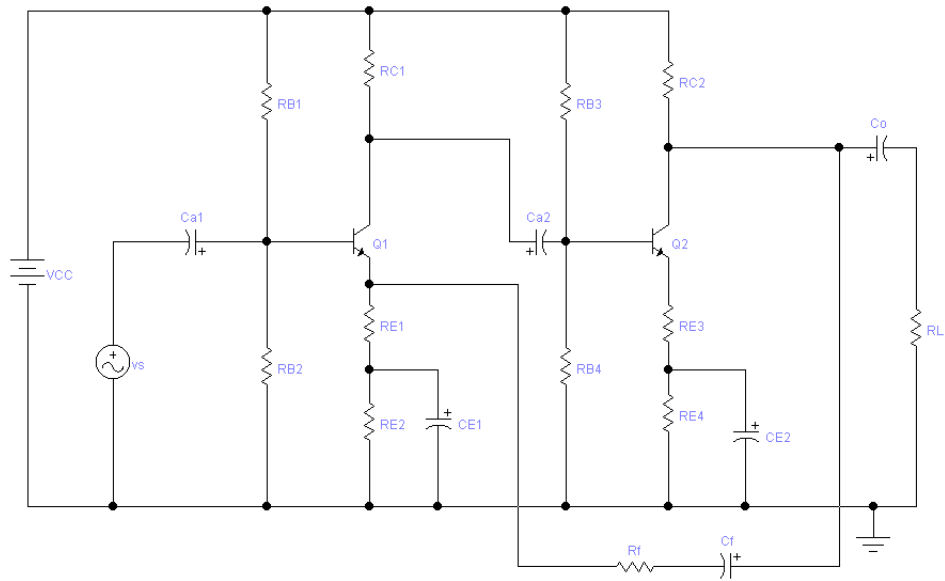


Figura 1: Circuito Provisto

#### 3.2. Componentes

Lista de componentes:

$V_{cc}$	22V	$R_{E1}$	120 $\Omega$	$R_F$	1,6K $\Omega$	$C_{e2}$	10 $\mu F$
$R_{V1}$	820K $\Omega$	$R_{E2}$	12K $\Omega$	$R_{E3}$	240 $\Omega$	$C_{A1}$	1 $\mu F$
$C_o$	1 $\mu F$	$R_{B2}$	560K $\Omega$	$R_{B3}$	110K $\Omega$	$R_{E4}$	200 $\Omega$
$C_{E1}$	10 $\mu F$	$Q_1$	B337	$R_{C1}$	18K $\Omega$	$R_{B4}$	24K $\Omega$
$R_L$	470 $\Omega$	$C_{A2}$	1 $\mu F$	$Q_2$	BC337		

### 3.3. Procedimiento

En primer lugar medimos la ganancia del circuito a lazo cerrado, luego medimos la ganancia del circuito a lazo abierto.

En segundo lugar variamos la resistencia  $R_{E2}$  para variar la ganancia de lazo abierto.

En tercer lugar volvimos a medir la ganancia de lazo abierto y confirmamos que hubo un gran cambio en la  $\Delta V$ .

En cuarto lugar medimos la ganancia de lazo cerrado y observamos la variación de  $\Delta V$ .

En quinto lugar con las variaciones anteriores calculamos la desensibilidad.

En sexto lugar procedemos a calcular  $Z_O$  y  $Z_I$ .

En séptimo lugar medimos  $Z_O$  y  $Z_I$  en el circuito.

## 4. Mediciones

### 4.1. Ganancia de tensión

Para calcular la ganancia de tensión del circuito, inyectando en la base del primer transistor una señal que no cause distorsión a la salida del circuito, para así calcular  $\Delta V$ .

$$\Delta V = \frac{V_O}{V_I} \quad (1)$$

Los valores obtenidos en las mediciones fueron (lazo abierto):

$$V_I = 280mV (\text{Pico a Pico})$$

$$V_O = 12V (\text{Pico a Pico})$$

Reemplazando los valores en NUMERO ECUACION obtuvimos:

$$\Delta V = 40$$

Los valores obtenidos en las mediciones fueron (lazo cerrado):

$$V_I = 570mV (\text{Pico a Pico})$$

$$V_O = 6,24V (\text{Pico a Pico})$$

Reemplazando los valores en NUMERO ECUACION obtuvimos:

$$\Delta V = 10,94$$

#### 4.1.1. Variacion $R_E$

Variamos la resistencia del emisor, haciendo que la ganancia de lazo abierto disminuya un 45. Los valores obtenidos son:  $V_I = 128mV$  (Pico a Pico)

$$V_O = 3,68V \text{ (Pico a Pico)}$$

Reemplazando los valores en NUMERO ECUACION obtuvimos:

$$\Delta V = 28$$

Esa variación de la resistencia del emisor provocó un gran cambio en la ganancia de tensión en la configuración de lazo abierto, pero gracias a la rama de realimentación la ganancia de lazo cerrado no sufrió un gran cambio.

Los valores obtenidos son:

$$V_I = 332mV \text{ (Pico a Pico)}$$

$$V_O = 3,2V \text{ (Pico a Pico)}$$

Reemplazando los valores en NUMERO ECUACION obtuvimos:

$$\Delta V = 9,63$$

#### 4.1.2. Calculo de Desensibilidad

La desensibilidad es un factor que indica la sensibilidad del circuito a los cambios.

$$D = \frac{\Delta \Delta V}{\Delta \Delta V_F} \quad (2)$$

Reemplazando en la ECUACION ANTERIOR:

$$D = \text{ARREGLAR}$$

## 4.2. Impedancia de salida

$$Z_O$$

**4.3. Impedancia de entrada**

$$Z_i V$$

**4.4. Ganacia con realimentacion**

$$\Delta V f$$

**4.5. Impedancia de salida con realimentacion**

$$Z_o F$$

**4.6. Impedancia de entrada con realimentacion**

$$Z_i F$$

**4.7. Ganancia de tension con realimentacion**

$$\Delta V f$$

$$I_{CQMES} = \frac{V_{CC}}{R_E + R_E // R_L} \quad (3)$$

$$V_{CEQMES} = V_{CC} - I_{CQMES} \cdot R_E \quad (4)$$

Datos:

$$R_E = 1,5K\Omega$$

$$R_L = 1k\Omega$$

$$V_{CC} = 18V$$

$$\beta = 398$$

$$C_I = 10\mu F$$

$$I_{CQMES} = \frac{V_{CC}}{R_E + R_E // R_L} \quad (5)$$

$$V_{CEQMES} = V_{CC} - I_{CQMES} \cdot R_E \quad (6)$$

Datos:

$$R_E = 1,5K\Omega$$

$$R_L = 1k\Omega$$

$$V_{CC} = 18V$$

$$\beta = 398$$

$$C_I = 10\mu F$$

$$C_L = 47\mu F$$

#### 4.8. Valores Exactos

Citando la ecuaciones (5) y (6) y reemplazando sus valores con los datos propuestos en clase, obtenemos:

$$I_{CQMES} = \frac{18V}{1,5K\Omega + \frac{1,5k\Omega * 1k\Omega}{1,5k\Omega + 1k\Omega}} \quad (7)$$

$$I_{CQMES} = 8,571mA \quad (8)$$

$$V_{CEQMES} = 18V - \frac{18V}{1,5K\Omega + \frac{1,5k\Omega * 1k\Omega}{1,5k\Omega + 1k\Omega}} * 1,5K\Omega \quad (9)$$

$$V_{CEQMES} = 5,145V \quad (10)$$



### Thevenin

El teorema establece que si una parte de un circuito eléctrico lineal está comprendida entre dos terminales A y B, esta parte en cuestión puede sustituirse por un circuito equivalente. Utilizamos el teorema para obtener el valor de  $R_B$  y  $V_{BB}$ .

$$R_B = \frac{\beta R_E}{10} \quad (11)$$

$$V_{BB} = I_{CQMES}(R_E + \frac{R_B}{\beta}) + 0,7V \quad (12)$$

Reemplazando los datos en las ecuaciones anteriores:

$$R_B = \frac{398 * 1,5K\Omega}{10}$$

$$R_B = 50,7k\Omega$$

$$V_{BB} = 8,571mA(1,5k\Omega + \frac{50,7k\Omega}{398}) + 0,7$$

$$V_{BB} = 14,842V$$

A partir de estas 2 ecuaciones podemos calcular  $R_1$  y  $R_2$ , estas resistencias nos permiten “independizar” al  $I_{CQ}$  y  $V_{CEQ}$  del beta del transistor (empleando un divisor de voltaje), ya que este es muy sensible a la temperatura y posee un valor particular para cada transistor. Logrando así una estabilidad en el circuito que permite hallar la recta de carga de una forma más exacta.

$$R_1 = \frac{R_B}{1 - \frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \quad (13)$$

$$R_2 = \frac{R_B}{\frac{V_{BB}}{V_{CC}}} \quad (14)$$

Reemplazando por los valores obtenidos:

$$R_1 = \frac{50,7k\Omega}{1 - \frac{14,842V}{18V}}$$

$$R_1 = 288,9k\Omega$$

$$R_2 = \frac{50,7k\Omega}{\frac{14,842V}{18V}}$$

$$R_2 = 61,48k\Omega$$

#### 4.9. Valores Simulados y Normalizados

Luego de los cálculos realizados, se procedió a la simulación para obtener valores aproximados de los datos, poder encontrar valores comerciales normalizados, llevar a cabo el circuito y realizar las mediciones pertinentes.

$$R_E = 1,5k\Omega$$

$$R_1 = 330K\Omega$$

$$R_2 = 68K\Omega$$

#### 4.10. Valores Reales

Son los valores que obtuvimos al realizar las mediciones pertinentes en el circuito.

$$I_{CQMES} = 8,69mA$$

$$V_{CEQMES} = 5,169V$$

$$V_{BB} = 14,842V$$

### 5. Análisis y trazado de las rectas de carga para MES

Si graficamos las rectas de corriente alterna y corriente continua, podemos observar que se intersectan en un punto, al que llamaremos punto Q. Este punto nos indica el punto medio de trabajo del transistor en la configuración propuesta. Podemos ver que las coordenadas del punto Q están dadas por la Corriente en el colector y la tensión colector emisor, al igual que las rectas CC y CA.

### 5.1. Recta de carga CC

Para encontrar los extremos de la recta de carga:

$$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_E \quad (15)$$

Para hallar  $I_C$  hacemos  $V_{CE} = 0$

$$i_{Cmax} = \frac{V_{CC}}{R_E}$$

$$i_{Cmax} = 12,278mA$$

Para encontrar  $V_{CE}$  hacemos  $I_C = 0$

$$v_{CEmax} = V_{CC}$$

$$v_{CEmax} = 18V$$

### 5.2. Recta de carga CA

Para encontrar los extremos de la recta de carga:

$$v_{CE} = V_{CC'} - i_C (R_E // R_L) \quad (16)$$

Para encontrar  $v_{CE}$  hacemos  $i_C = 0$

$$v_{CEmax} = V_{CC'}$$

$$V_{CC'} = V_{CEQMES} + I_{CQMES} * R_E // R_L \quad (17)$$

$$V_{CC'} = 5,169V + 8,69mA \left( \frac{1466\Omega + 998\Omega}{1466\Omega * 998\Omega} \right)$$

$$V_{CC'} = 10,328V$$

Para hallar  $i_C$  hacemos  $v_{CE} = 0$

$$i_{Cmax} = \frac{V_{CC'}}{R_E // R_L}$$

$$i_{Cmax} = \frac{10,328V}{\frac{1466\Omega * 998\Omega}{1466\Omega + 998\Omega}}$$

$$i_{Cmax} = 17,39mA$$

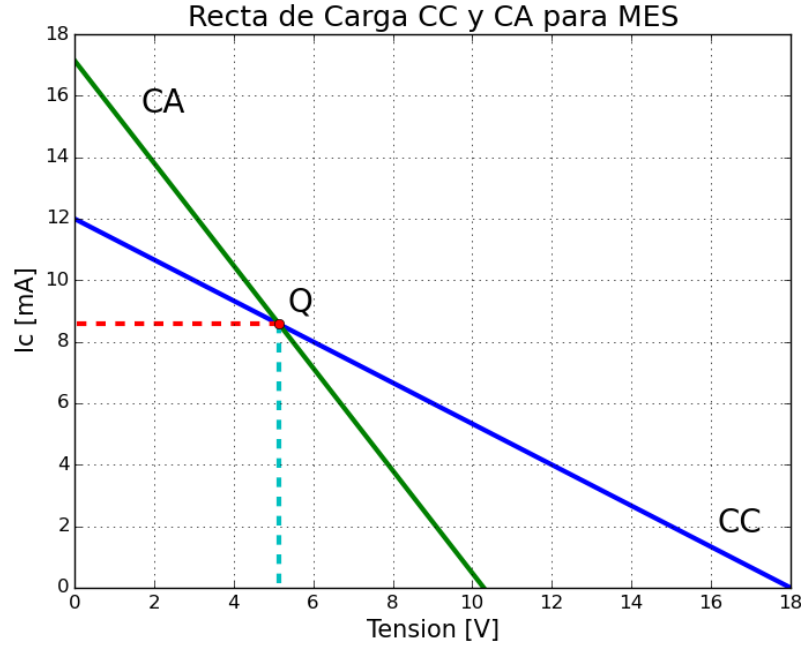


Figura 2: Recta de Carga

### 5.3. Punto Q

$$I_{CQMES} = 8,69mA$$

$$V_{CEQMES} = 5,169V$$

## 6. Mediciones en pequeña señal

Las mediciones de pequeña señal o también llamadas parámetros híbridos. Son los parámetros internos del transistor en alterna. Son cuatro parámetros:

- Impedancia  $Z$
- Ganancia de tensión  $\Delta V$
- Ganancia de corriente  $\Delta I$

En primer lugar realizamos el cálculo de los parámetros híbridos. Colocamos una resistencia sensora  $R_S$  de un valor de  $33k\Omega$ . La función de esta resistencia es, medir

la caída de tensión que producía en el circuito y así poder calcular la corriente que circulaba a través de ella por la ley de Ohm.

### 6.1. Impedancia de Entrada $Z_i$

$$Z_i = \frac{V_i}{\frac{V_G - V_i}{R_S}} \quad (18)$$

Siendo  $V_G = 336mV$  y  $V_i = 190mV$ :

$$\begin{aligned} Z_i &= \frac{324mV}{\frac{326mV - 190mV}{32,61k\Omega}} \\ Z_i &= 75,048K\Omega \end{aligned}$$

### 6.2. Impedancia de Salida $Z_o$

Para calcular la impedancia de salida aplicamos la señal en la salida del circuito, colocando la resistencia sensora de  $R_S = 10\Omega$ , utilizamos una tensión de  $V_L = 0,2V$  pico a pico, ya que con  $1V$  había demasiada distorsión. .

$$\begin{aligned} Z_o &= \frac{V_o}{\frac{V_G - V_o}{R_S}} \quad (19) \\ Z_o &= \frac{22mV}{\frac{60mV - 22mV}{9,99\Omega}} \\ Z_o &= 5,76\Omega \end{aligned}$$

### 6.3. Ganancia de Tensión $\Delta V$

$$\Delta V = \frac{V_L}{V_I} \quad (20)$$

Aplicamos  $0,2V$  pico a pico en  $V_L$

$$\Delta V = \frac{318mV}{336mV}$$

$$\Delta V = 0,9464$$

#### 6.4. Ganancia de Corriente $\Delta I$

$$\Delta I = \frac{I_L}{I_I} = \frac{\frac{V_L}{R_L}}{\frac{V_G - V_I}{R_S}} \quad (21)$$

$$\Delta I = \frac{\frac{318mV}{998\Omega}}{\frac{336mV - 190mV}{9,99\Omega}}$$

$$\Delta I = 71,16$$

## 7. Conclusiones

Al realizar la experiencia en el laboratorio pudimos observar que los calculos no son muy exactos, al igual que en los otros practicos esto se debe a los multimetros y osciloscopios utilizados. Por otro lado observamos grandes variaciones en los valores de la resistencias, debido a la limitacion de utilizar valores comerciales normalizados. Pudimos observar que al aplicar 1V pico a pico, obtuvimos una distorsion muy grande. Por lo cual tuvimos que utilizar una tension 0.2V pico a pico. Cabe destacar que las mediciones de tension fueron efectuadas con el multimetro para obtener una mejor precision. Es destacable tambien la precision obtenida en la tension eficaz con los distintos instrumentos de medicion, debido el calculo de la tension rms. Con los datos recopilados durante la experiencia podemos concluir que esta configuracion no posee ganancia de tensión(perdida), una buena ganancia de corriente, una alta impedancia de entrada y una baja impedancia de salida. Siendo las impedancias opuestas a la configuracion de base comun.

## Referencias

Apuntes varios de clase.