

## LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

### PRÁCTICA N° 4

#### 1 TEMA

DISEÑO DE AMPLIFICADORES MULTITAPA EC-EC.

#### 2 OBJETIVO

- 2.1 Analizar los diferentes tipos de acoplamiento para un amplificador multietapa.
- 2.2 Analizar, diseñar e implementar un amplificador multietapa con acoplamiento capacitivo.

#### 3 MARCO TEORICO

ACOPLAMIENTO CAPACITIVO:

Como se vio en la práctica anterior, se tiene ventajas al conectar un amplificador a continuación de otro. Una ventaja es que se pueden alcanzar grandes ganancias que serían imposibles con una sola etapa, como lo muestra la siguiente figura:

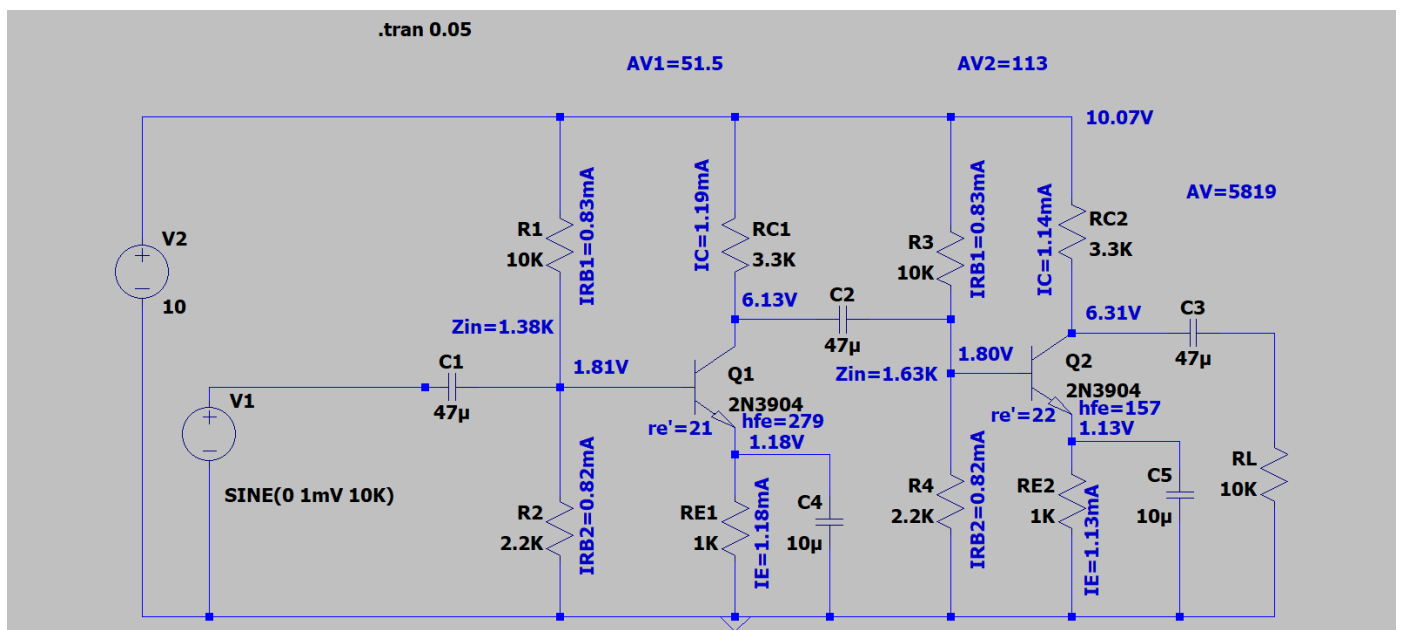


Figura 3.1. Amplificador Multietapa con acoplamiento capacitivo

Aquí se muestran dos amplificadores con diseños iguales que permiten una ganancia del sistema superior a 5000. Los dos amplificadores están acoplados mediante el condensador C2, lo cual facilita el diseño de las dos etapas, simplemente tomando en cuenta que la Impedancia de entrada de la segunda etapa será la Impedancia de carga de la primera etapa.

Lastimosamente se tiene las desventajas de que el capacitor C2 introduce efectos de filtrado y además que requiere más componentes lo cual introduce más puntos posibles de falla y puede impactar sobre el presupuesto en un proyecto grande.

Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

Ganancia de voltaje de la primera etapa:

$$A_v = \frac{R_C // Z_{in(etapa2)}}{r'_e}$$

Ganancia de voltaje de la segunda etapa:

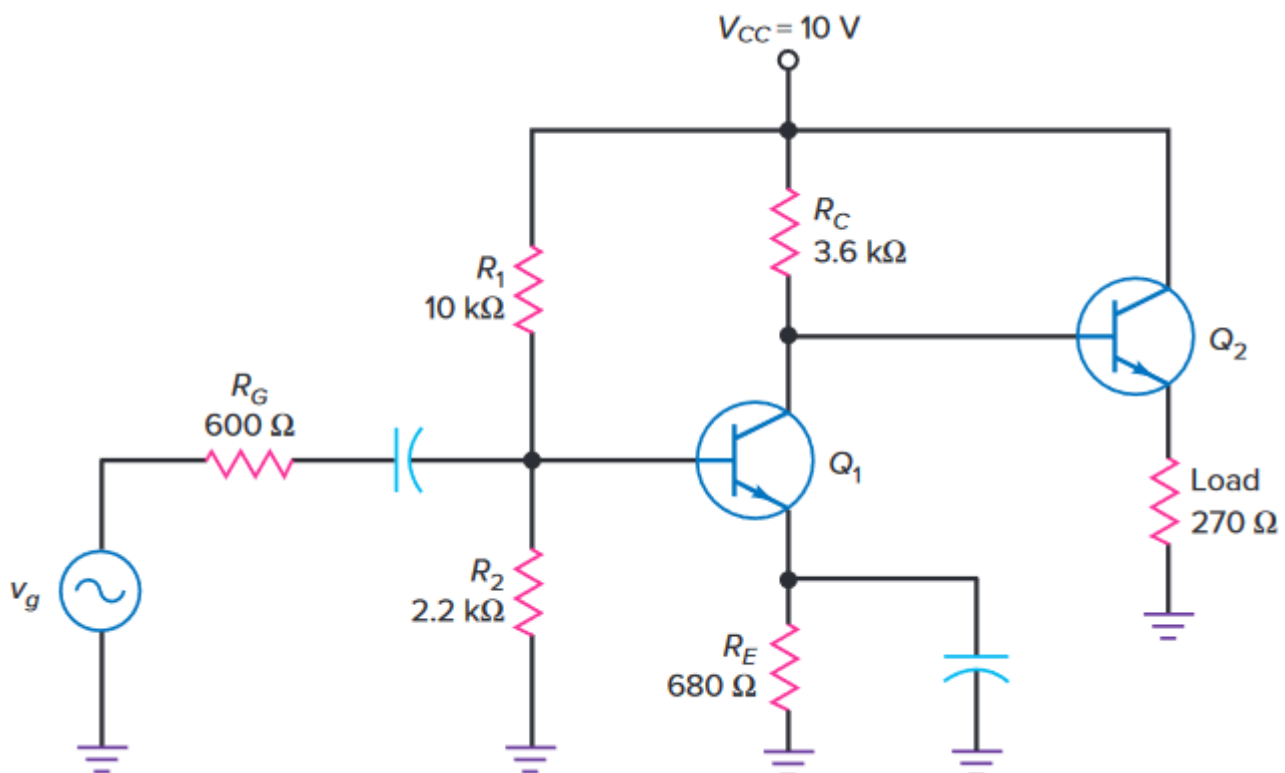
$$A_v = \frac{R_C // R_L}{r'_e}$$

Ganancia total de voltaje:

$$A_V = A_{V_1} * A_{V_2}$$

ACOPLAMIENTO DIRECTO:

Otra de las ventajas que se tiene con los amplificadores multietapa es que se puede lograr el acoplamiento de impedancias. En el circuito de la siguiente figura se tiene una impedancia de carga baja de  $270 \Omega$ , la cual puede llevar a sobrecargar a un amplificador normal de una sola etapa. Si se añade una segunda etapa en configuración CC sin capacitor se tendrá un acoplamiento directo sin los efectos de filtro no deseados.



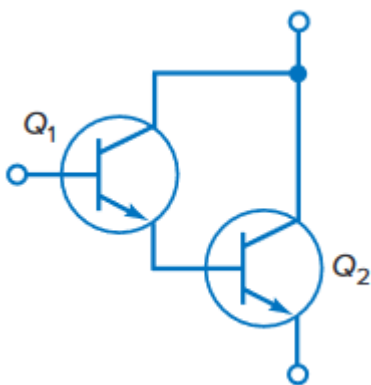
**Figura 3.2.** Amplificador de dos etapas con acoplamiento directo

La base de  $Q_2$  está conectada directamente al colector de  $Q_1$ . Debido a esto el voltaje DC del colector del primer transistor se usa para polarizar el segundo transistor. Si  $\beta$  de  $Q_2$  es 100:  $R_{in}=100*(270\ \Omega) = 27k\Omega$

Como  $27\ k\Omega$  es grande comparado con los  $3.6\ k\Omega$  de  $R_C$ , el voltaje DC del colector de  $Q_1$  no es afectado de manera significativa. El voltaje de salida de la primera etapa pasa con ganancia unitaria hacia la resistencia de  $270\ \Omega$  cumpliendo con el objetivo de actuar como un buffer entre un amplificador de alta impedancia de salida y una carga de baja impedancia.

### CIRCUITO DARLINGTON

Un ejemplo de acoplamiento directo es el circuito Darlington. Son dos amplificadores conectados en sus respectivos colectores y colocados en cascada uno a continuación del otro. Se utilizan para aumentar la capacidad de corriente siendo la ganancia total de corriente el producto de las ganancias individuales de corriente. Se pueden empaquetar en un solo case y funcionar como si se tratara de un solo transistor de alto hfe.



$$\beta = \beta_1 * \beta_2$$

Figura 3.2. Arreglo Darlington

El análisis es idéntico al amplificador CC. Solamente hay que considerar que hay dos caídas de voltaje  $V_{BE}$ , la corriente de base de  $Q_2$  es igual a la corriente de emisor de  $Q_1$  y la impedancia de entrada en la base de  $Q_1$  es  $Z_{in(base)} = \beta_1 * \beta_2 * r_e$

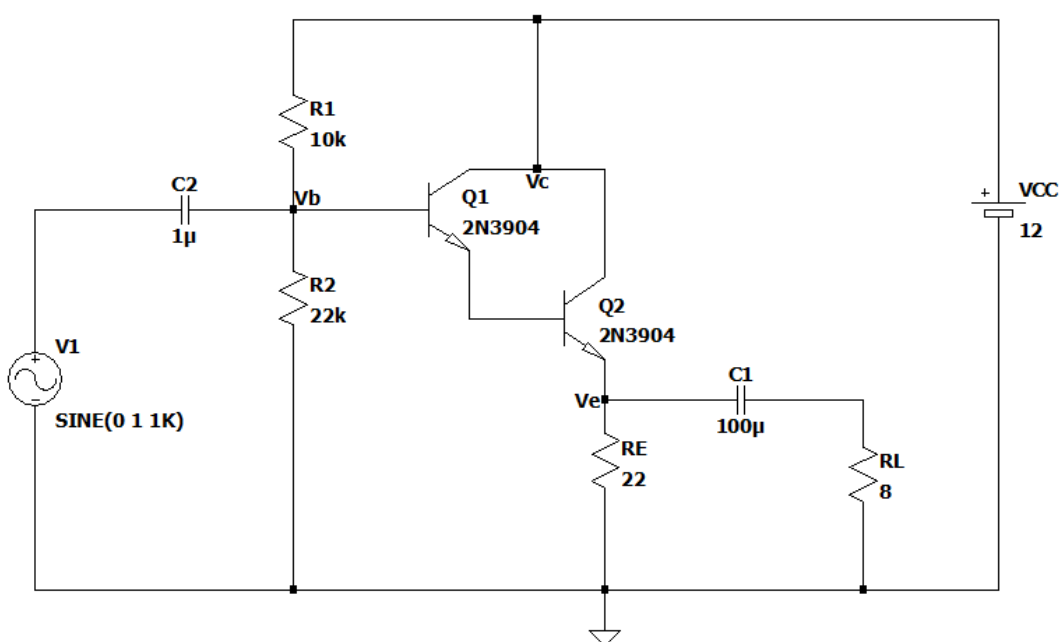


Figura 3.3. Ejemplo de uso de Darlington

APLICACIONES: Un circuito Darlington puede tener una impedancia de entrada muy alta y puede proporcionar una gran corriente de salida en comparación con los transistores normales. Por ello se pueden usar en Reguladores de Voltaje, Amplificadores de Potencia, control de motores y en aplicaciones de conmutación de altas corrientes.

### CIRCUITO CASCODE.

Otro ejemplo de acoplamiento directo es el circuito Cascode. Se trata de un amplificador EC conectado a la entrada de un amplificador BC como lo muestra la siguiente figura.

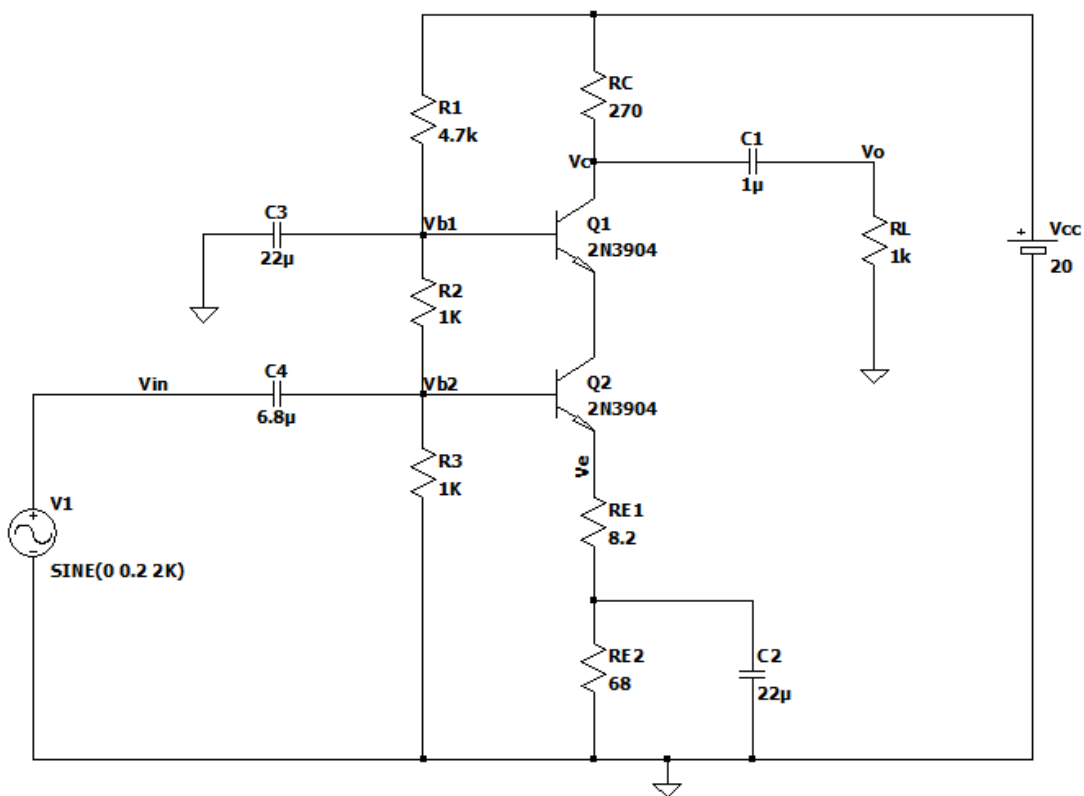


Figura 3.4. Amplificador Cascode

## 4 TRABAJO PREPARATORIO

- 4.1 Elaborar una tabla con las principales características, ventajas y desventajas del acoplamiento directo, y el acoplamiento capacitivo.
- 4.2 Diseñar un amplificador multietapa (EC-EC) con acoplamiento capacitivo para que cumpla con las siguientes condiciones:

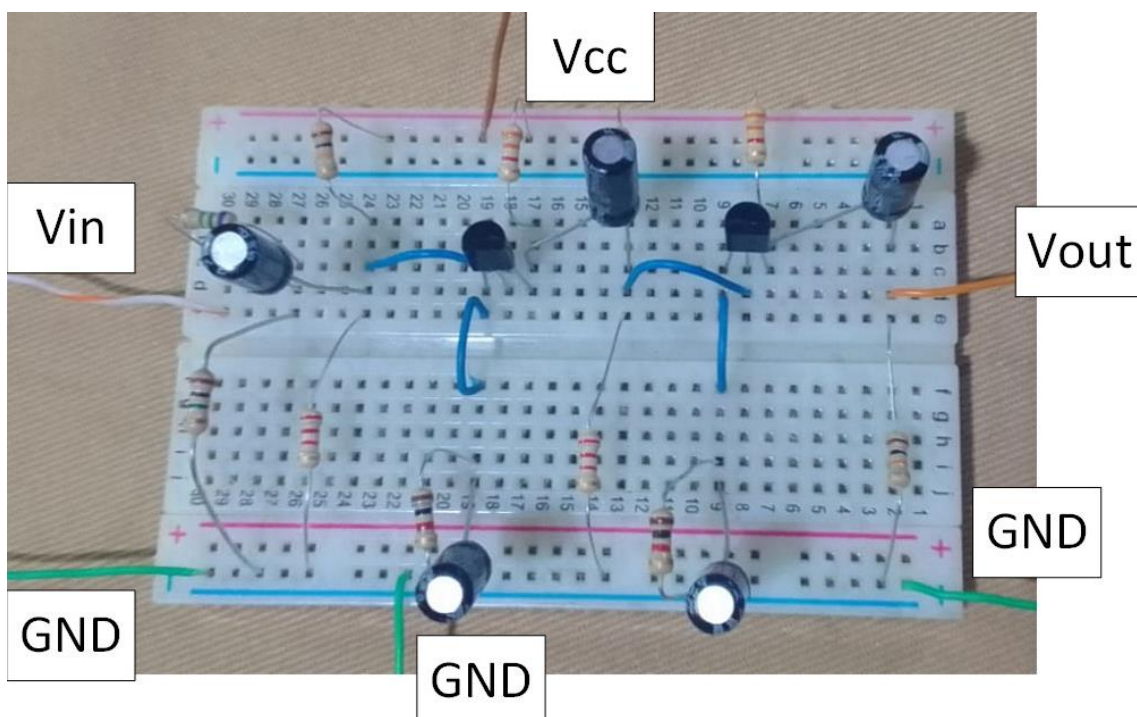
**Tabla 1.** Datos para el diseño multietapa acoplamiento capacitivo.

Grupo	Ganancia de voltaje $ A_v $	VinPP	$R_L$
LU 14-16	30	400 [mVpp]	1 [k $\Omega$ ]
MA 14-16	20	600 [mVpp]	1.8 [k $\Omega$ ]
MI 14-16	25	400 [mVpp]	1.5 [k $\Omega$ ]
JU 14-16	24	500 [mVpp]	2.2 [k $\Omega$ ]
VI 9-11	28	400 [mVpp]	1.2 [k $\Omega$ ]
VI 11-13	22	600 [mVpp]	2.7 [k $\Omega$ ]

**Nota:** Frecuencia = 4 [kHz], para todos los días.

- 4.3 Realizar la simulación en LTspice del circuito diseñado en el literal 4.2. Obtener voltajes y corrientes de polarización y las señales de voltaje de entrada y salida,
- 4.4 Presentar una tabla con las mediciones de valores en DC del circuito diseñado para poder compararlos durante el desarrollo de la práctica.

**Nota:** Los estudiantes deberán traer armado el circuito diseñados. La colocación de los elementos debe ser de manera similar al diagrama esquemático para facilitar la implementación, mediciones y diagnosticar fallas.



---

## 5 EQUIPO Y MATERIALES

### 5.1 Hardware

- *Protoboard*, cortadora y peladora de cables, puntas de prueba, multímetro, memoria USB.
- Elementos necesarios para armar los circuitos diseñados.

## 6 PROCEDIMIENTO

- 6.1 Implementar en *protoboard* el circuito diseñado en el literal 4.2.
- 6.2 Medir los voltajes y corrientes de polarización de los circuitos implementados en el literal
- 6.3 Visualizar las señales de entrada y salida. Tomar los datos necesarios para realizar las gráficas.
- 6.4 Realizar los cambios que el instructor de la práctica indique.

## 7 INFORME

- 7.1 Presentar en un cuadro las mediciones DC obtenidas en la práctica y los valores teóricos calculados en el trabajo preparatorio. Obtener los porcentajes de error y justificarlos.
- 7.2 Presentar las gráficas de las señales de entrada y salida de cada uno de los circuitos realizados en el literal 6.26.2.
- 7.3 Conclusiones y recomendaciones.

## 8 REFERENCIAS

- R. Boylestad y Nashelsky, *Electrónica: Teoría de circuitos y Dispositivos electrónicos*, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2004.
- D. Neamen, *Dispositivos y circuitos Electrónicos*, México: McGRAW HILL, 2012
- T. Floyd, *Dispositivos Electrónicos*, México: PEARSON EDUCACIÓN, 2008.
- A. Malvino y D.J. Bates, *Principios de Electrónica*, España: McGRAW HILL, 2007
- Savant, Roden y Carpenter, *Diseño electrónico. Circuitos y sistemas*, España: Addison Wesley iberoamericana, 2000
- LTSPICE:  
<https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>
- MULTISIM  
<https://www.multisim.com>

**Elaborado por:** Ing. Marco Serrano . Msc. Roberto Maldonado.

**Revisado por:** PhD Ricardo Llugin – PhD Pablo Lupera – Msc. Wilson Enriquez – Ing. William Coloma