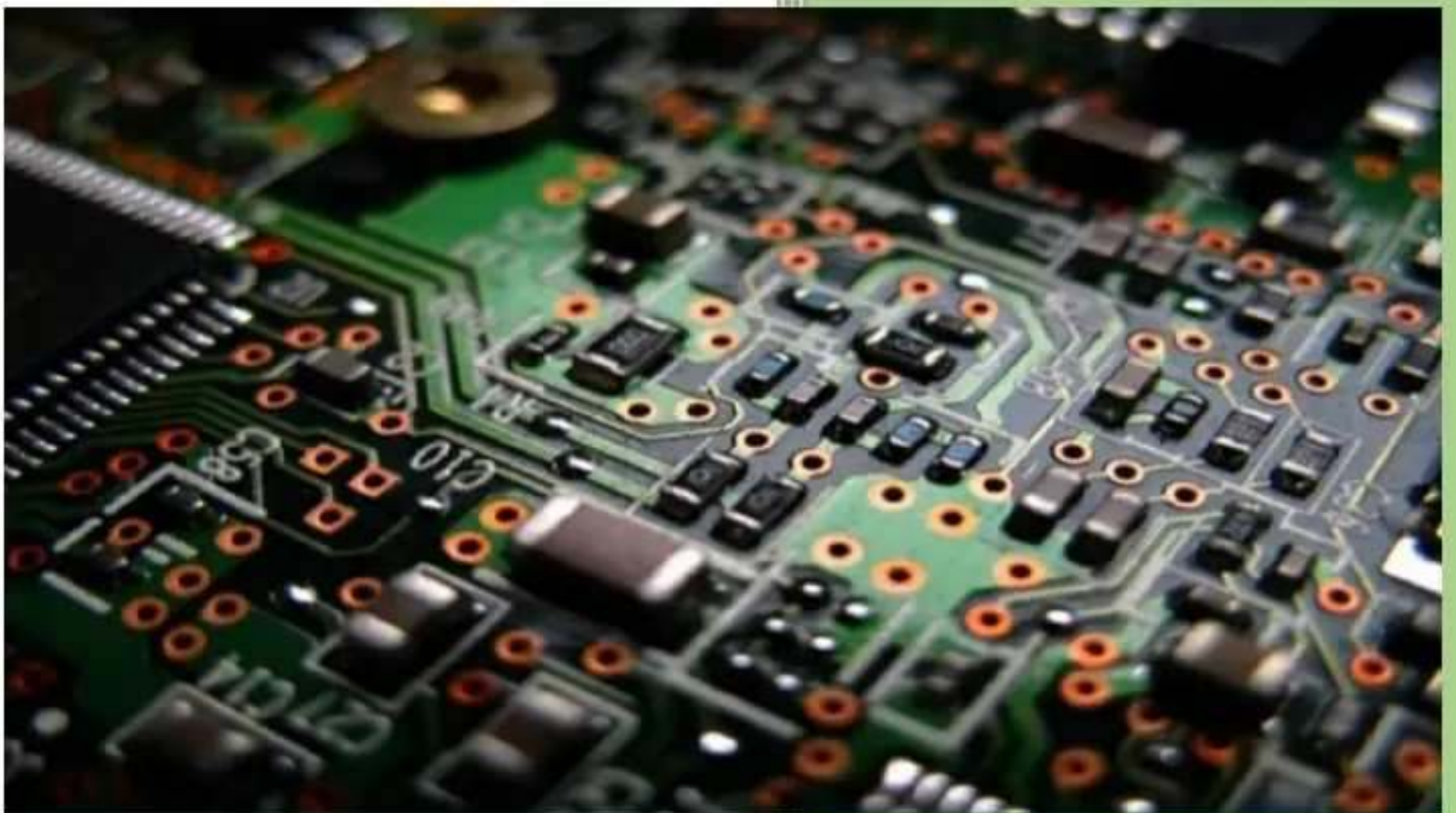




Universidad
Nacional del Callao
Ciencia y Tecnología Rumbo al Tercer Milenio

Circuitos Electrónicos I

LABORATORIO 5: RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL AMPLIFICADOR MULTITETAPA EN CASCADA



ALUMNOS:

- FERNANDEZ TUESTA,
JESSICA VANESSA
1523220681
- YARASCA JARA CRISTIAN
CLEDER
1523220939

PROFESOR: ING.
CUZCANO RIVAS, ABILIO
BERNARDINO

GRUPO: 90 G

2018 A



RESPUESTA EN FRECUENCIA DEL AMPLIFICADOR MULTITETAPA EN CASCADA

I. INTRODUCCION

El amplificador es un circuito capaz de procesar señales de acuerdo a la naturaleza de su aplicación, sabe extraer la información de toda señal, de tal manera que permita mantener o mejorar la prestación del sistema que genera la señal.

Tienen el nombre de amplificadores multietapas los circuitos o sistemas que tienen múltiples transistores y pueden ser conectadas entre sí para mejorar sus respuestas tanto en ganancia, Z_{in} (Impedancia de entrada), Z_{out} (Impedancia de salida) o ancho de banda. Las aplicaciones pueden ser tanto de cc como de ca. Todas estas etapas amplificadoras pueden ser integradas y encapsuladas en un chip semiconductor llamado “Circuito Integrado”.

II. OBJETIVOS

- Conocer el modo de trabajo de los amplificadores multietapas.
- Desarrollar una práctica simulada apoyándonos en el software “PROTEUS” para simular amplificadores de múltiples etapas.
- Calcular y medir los voltajes y corrientes de polarización en el circuito.
- Comprobar experimentalmente si el circuito está bien polarizado.
- Calcular la ganancia en voltaje de cada etapa sin carga y con carga conectada.
- Calcular la ganancia en voltaje total del circuito en lazo abierto.
- Determinar el efecto que causa la frecuencia del generador sobre el circuito a variarla.

III. MARCO TEORICO

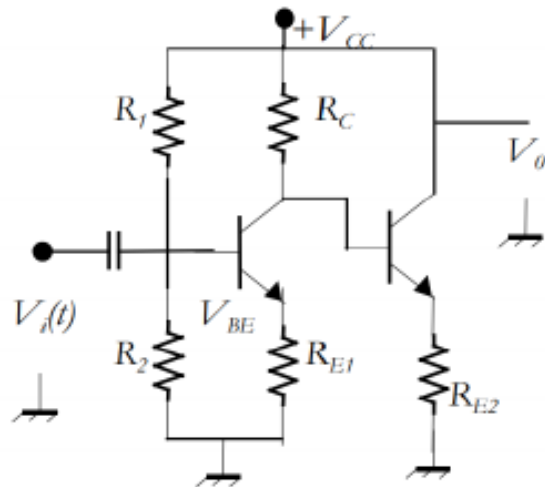
Los amplificadores multietapas son circuitos electrónicos formados por múltiples transistores (BJT O FET), que pueden ser acoplados en forma directa, mediante capacitores o usando un transformador. Es un circuito capaz de procesar las señales de acuerdo a la naturaleza de la aplicación, es decir, recibe una señal y devuelve una señal idéntica pero de otra amplitud, menor o mayor y que tiene más de una etapa en la que realiza dicha operación.

1. Tipos de Acoplamiento

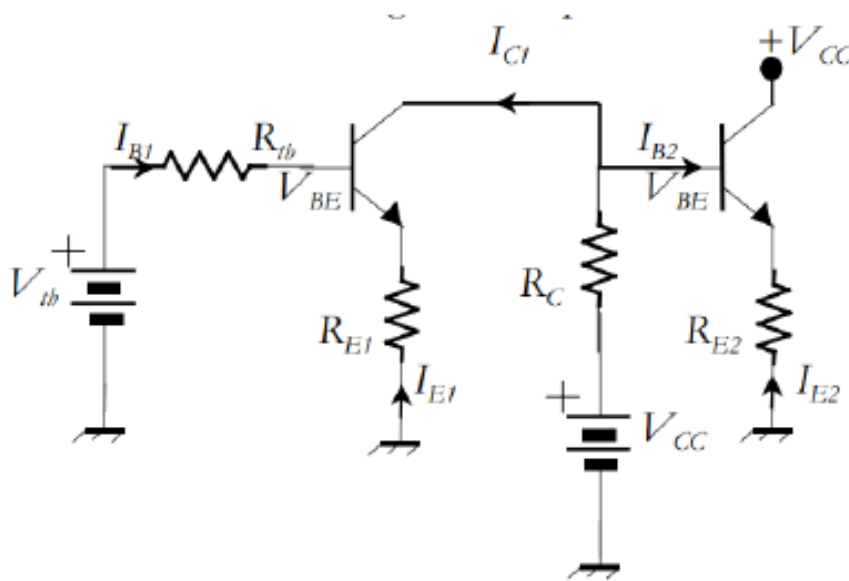
El acoplamiento establece la forma en la cual se conectan las distintas etapas amplificadoras, dependiendo de la naturaleza de la aplicación y las características de respuesta que se desean.

1.1. Acoplamiento Directo: Las etapas se conectan en forma directa, es permite una amplificación tanto de la componente de señal como de la componente continua del circuito. Se dice que los circuitos de cc se acoplan directamente.

Consiste básicamente en interconectar directamente cada etapa mediante un cable. Presenta buena respuesta a baja frecuencia. Típicamente se utilizan para interconectar etapas de emisor común con otras de seguidor de emisor.



La etapa 1, se diseña según los criterios ya vistos, por lo tanto, conocemos el punto de operación para cada una de las variables del circuito. Para diseñar la segunda etapa se debe considerar:



Analizando:

$$-V_{CC} + R_C (I_{B2} + I_{C1}) + V_{be2} - R_{E2} I_{E2} = 0$$

$$I_{B2} \ll I_C$$

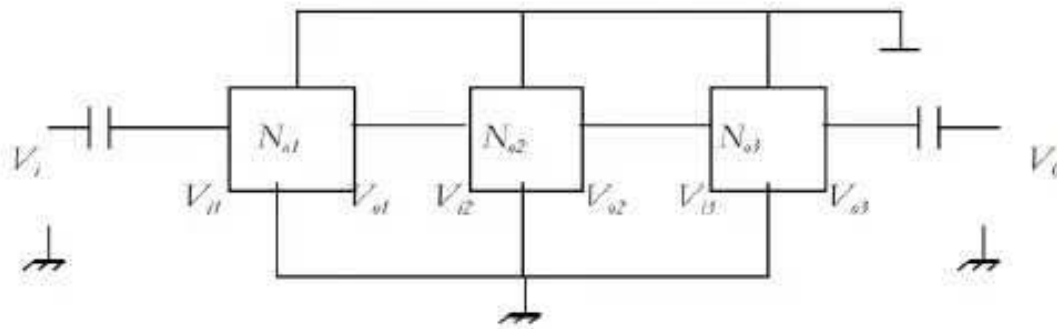
$$I_{E2} = -(I_{C2} + I_{B2})$$

$$-V_{CC} + R_C I_{C1} + V_{BE} + R_{E2} (I_{C2} + I_{B2}) = 0$$

$$-V_{CC} + R_C I_{C1} + V_{BE2} + R_{E2} (\beta + 1) I_{B2} = 0$$

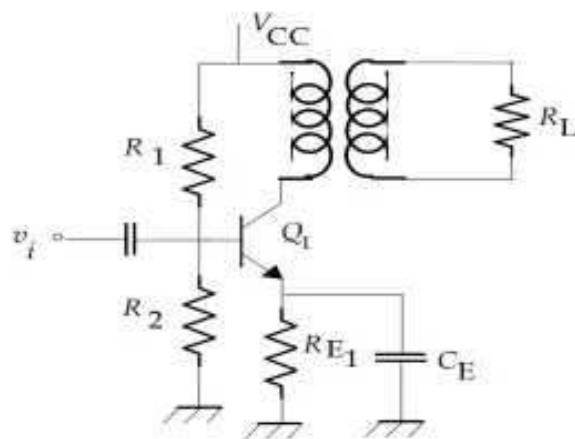
$$I_{B2} = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_C I_{C1}}{(\beta + 1) R_{E2}}$$

1.2. Acoplamiento Capacitivo: El acoplamiento capacitivo o por condensador se usa para interconectar distintas etapas, en las cuales solo se desea amplificar señal. La presencia del capacitor anula las componentes de cc, permitiendo solo la amplificación de señales en ca. Los amplificadores de ca usan acoplamiento capacitivo. Permite mayor libertad en el diseño, pues la polarización de una etapa no afecta a la otra.



$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left(\frac{V_{o1}}{V_{i1}} \right) \dots \dots \dots \left(\frac{V_{o3}}{V_{i3}} \right) \left(\frac{V_{i1}}{V_i} \right) = \frac{V_o}{V_i}$$

1.3. Acoplamiento por transformador: Este acoplamiento es muy popular en el dominio de la radio frecuencia (RF). El transformador como carga permitir aislar las señales y además, dependiendo de la razón de transformación incrementar el voltaje y corriente. En el circuito de la figura, la carga es alimentada a través de un transformador, la relación de voltajes estar dada por $v_2/v_1 = N_2/N_1$; donde el segundo término es la relación de inversa de transformación. Los transformadores permiten aislar eléctricamente las distintas etapas.



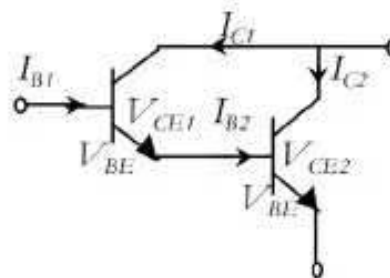
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

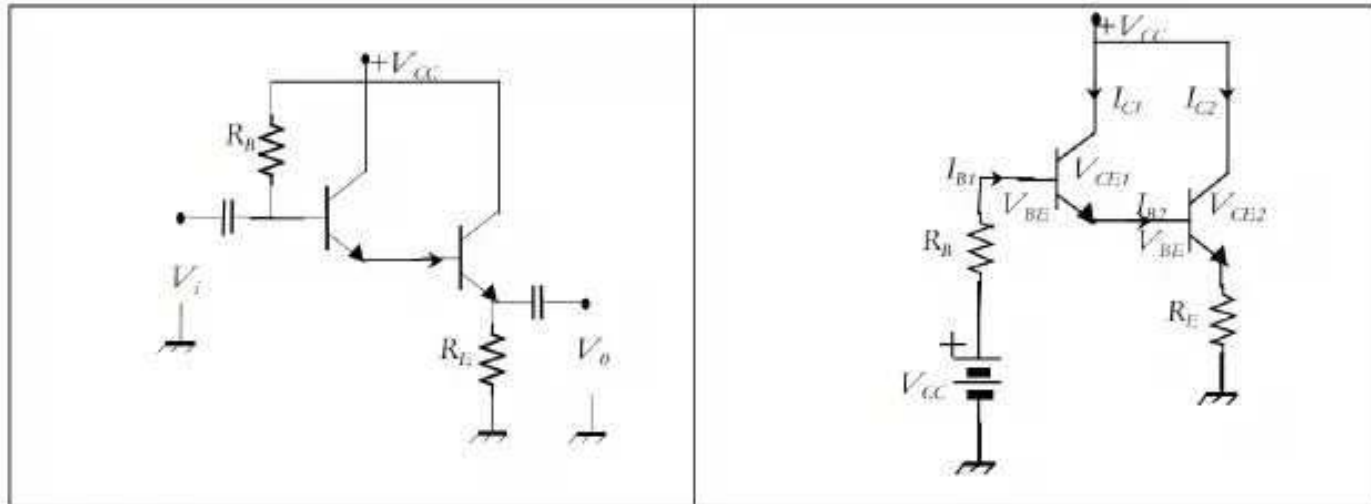
$$\frac{Z_1}{Z_2} = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2$$

2. Configuración de Darlington

Corresponde a dos etapas seguidoras de emisor. Presenta alta impedancia de entrada, además produce un efecto multiplicativo sobre la corriente de emisor de la etapa final.



Sea el siguiente circuito y su equivalente en continua:



Analizando:

$$-V_{CC} + R_B I_{B1} + V_{BE} - R_{E2} I_{E2} = 0$$

$$I_{B1} + I_{C1} + I_{B2} = (\beta_1 + 1) I_{B1}$$

$$I_{E2} = -(I_{C2} + I_{B2}) = -(\beta_2 + 1) I_{B2}$$

$$-V_{CC} + R_B I_{B1} + 2V_{BE} + R_{E2} (\beta_2 + 1) I_{B2} = 0$$

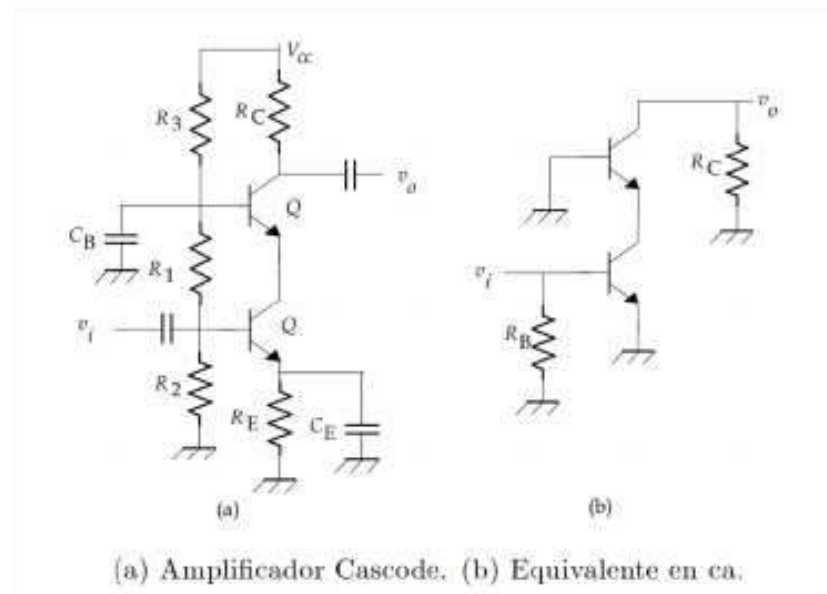
$$I_{B1} = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R_B + (\beta_1 + 1)(\beta_2 + 1)R_{E2}}$$

Como se puede deducir este amplificador tiene una ganancia mucho mayor que la de un transistor corriente, pues aprovecha deducir este amplificador tiene una ganancia de los dos transistores (las ganancias se multiplican). Si tuviéramos dos transistores con ganancia de 100 la ganancia Darlington sería 10000. Como se ve es una ganancia muy grande. En la realidad la ganancia es menor. Se utilizan ampliamente en circuitos en donde es necesario controlar cargas grandes con corrientes muy pequeñas.

Muy importante: La caída de tensión entre la base y el emisor del transistor Darlington es 1.4 voltios que resulta de la suma de las caídas de tensión de base a emisor del primer transistor B1 a E1 (0.7 voltios) y base a emisor del segundo transistor B2 y E2 (0.7 voltios).

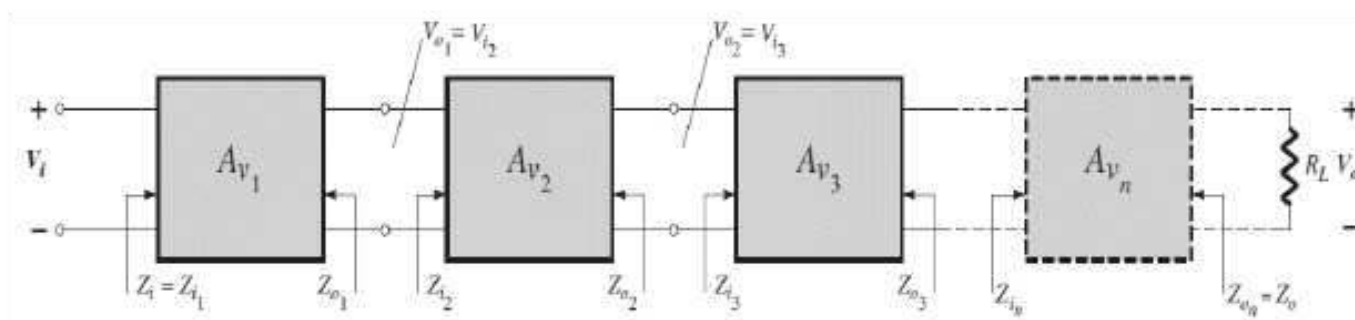
3. Configuración en Cascode

Consiste en un amplificador en emisor común acoplado directamente con una configuración en base común. Dicho circuito posee una impedancia de salida mayor y un ancho de banda más grande.



Debe considerarse el efecto de carga de cada etapa subsiguiente:

Se observa que, en cada etapa, hay una carga igual a la impedancia de entrada de la etapa subsiguiente.



Ganancia total del sistema

$$A_v = A_{v1} \times A_{v2} \times A_{v3} \times A_{v4} \times \dots$$

Ganancia en cada etapa

$$A_{v1} = -\frac{(RC \parallel RL)}{re}$$

Ganancia total de corriente

$$A_{iL} = \frac{I_o}{I_i} = \frac{\frac{-V_o}{R_L}}{\frac{V_i}{Z_i}} = \frac{-V_o Z_i}{V_i R_L} = -A_{vL} \frac{Z_i}{R_L}$$

Impedancia de entrada

$$Z_i = R1 \parallel R2 \parallel \beta re$$

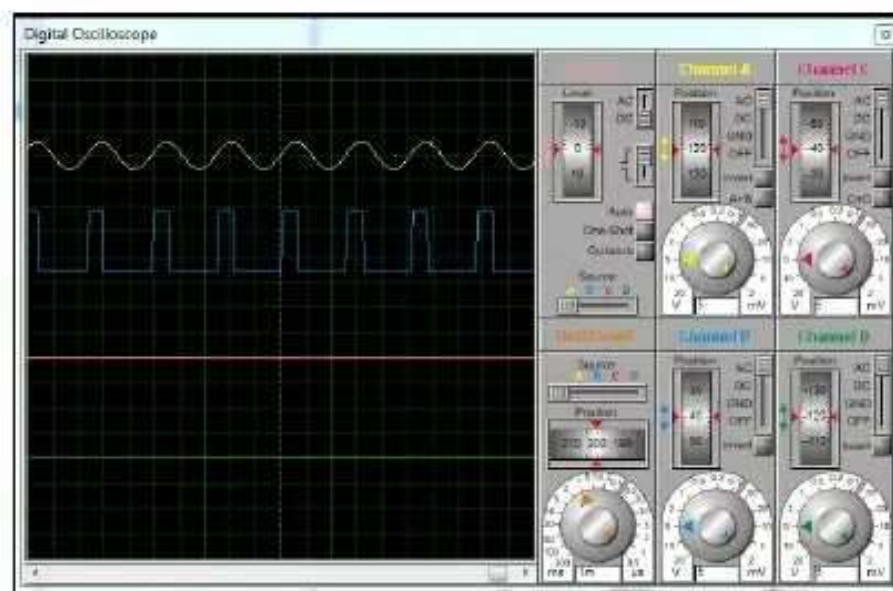
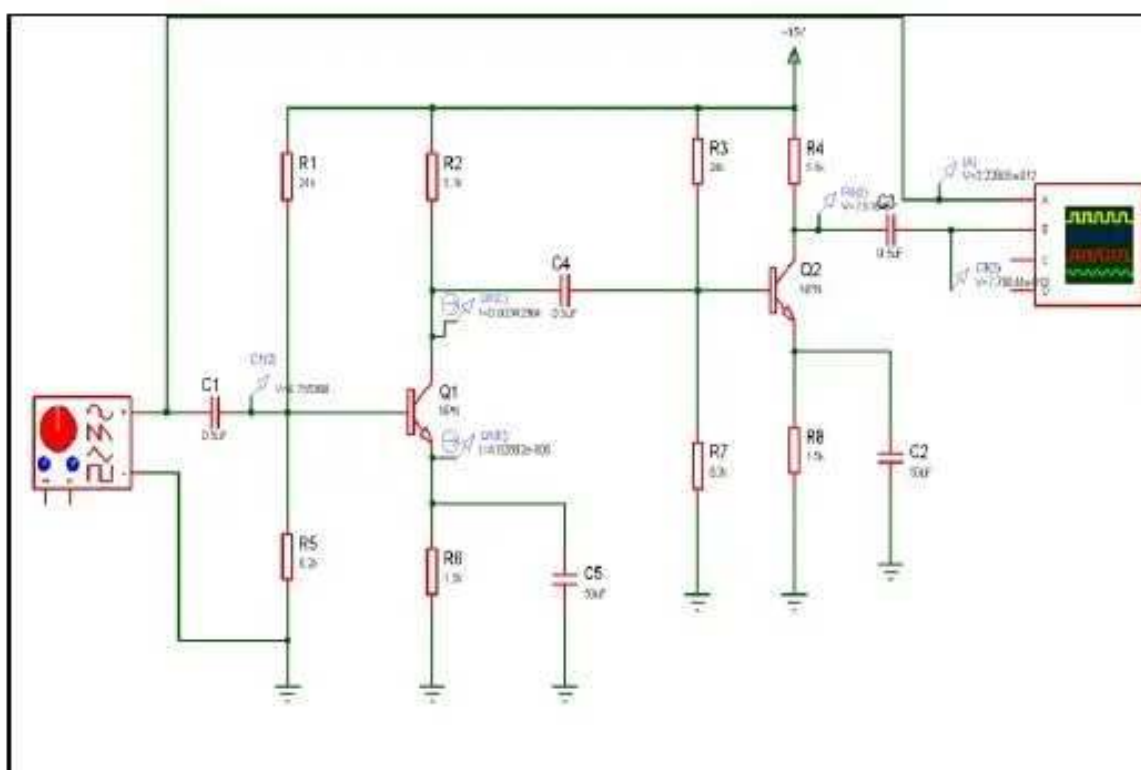
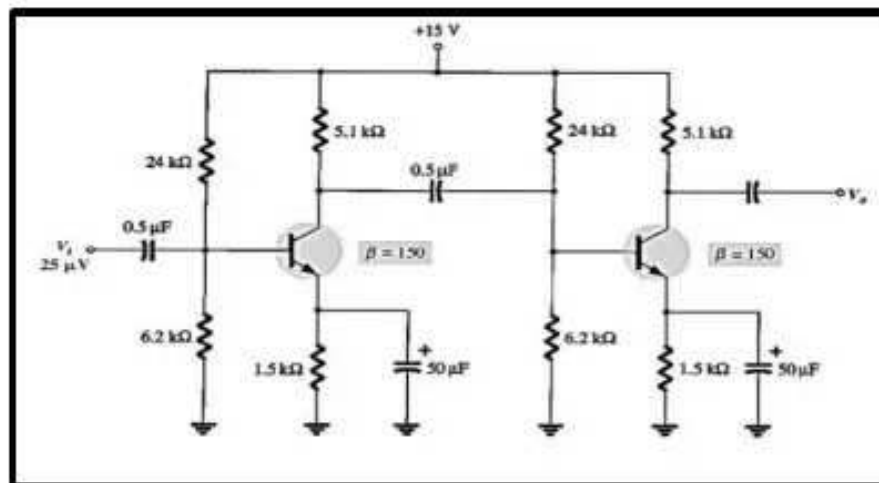
Impedancia de salida

$$Z_o = RC \parallel ro$$



IV. SIMULACION

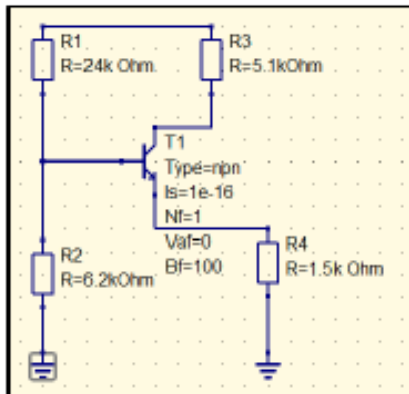
CIRCUITO 1





Análisis:

Primero analizamos en DC:



$$R_{eq} = R_a \parallel R_b = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b}$$

$$R_{equ} = \frac{6.2k \times 24k}{6.2k + 24k} = \frac{148.8}{32.2} K = 4.62 K$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

$$V_{th} = \frac{6.2k}{6.2k + 24k} (15v) = \frac{97.5}{32.2} = 3.02795$$

$$V_{th} = R_{eq} I_B + 0.7 + R_E I_E$$

$$3.02795 = 4.62K \times I_B + 0.7 + R_E I_E$$

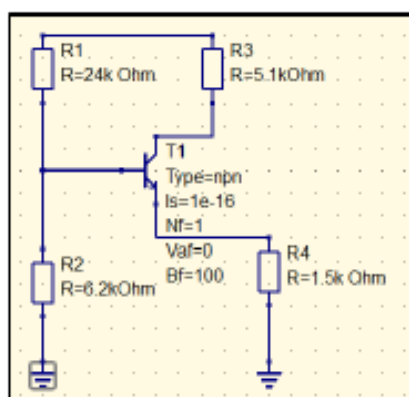
$$V_{th} = R_{eq} I_B + 0.7 + 1K(1 + \beta) I_B$$

$$3.02795 - 0.7 = I_B (4.62K + 1.5K(101))$$

$$2.32795 = I_B (156.12K)$$

$$I_B = \frac{2.32795}{156.12K} = 0.0149m\Omega$$

$$h_{ie} = \frac{25mV}{I_B} = \frac{25mV}{0.0149m} = 1.6778k$$

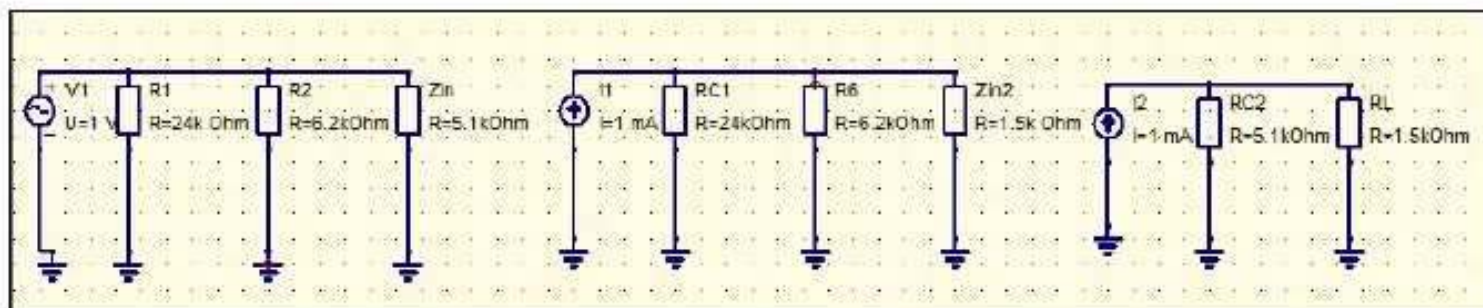




El h_{ie} será el mismo valor ya que las resistencias de los 2 amplificadores tienen los mismos valores

Análisis en AC:

El circuito equivalente será:



Hallamos la Z_{in} de la 1era etapa:

$$Z_{in1} = R_1 // R_2 // Z_{base}$$

$$Z_{in1} = \frac{4.62K // 1.6778k}{100} \times 1.6778k$$

$$Z_{in1} = 4.62K // (100) \times 1.6778k$$

$$Z_{in1} = \frac{775.1436}{172.4} K = 4.496K$$

$$Z_{in2} = R_5 // R_6 // Z_{base2}$$

$$Z_{in2} = 4.496K$$

-Ahora hallamos la ganancia de voltaje:

Primero se calcula la ganancia del voltaje de la 1era etapa:

$$A_{v1} = \frac{RC // Z_{in1}}{h_{ie}}$$

$$A_{v1} = \frac{5.1K // 4.496K}{1.6778k} = \frac{2.3894}{1.6778}$$

$$A_{v1} = 1.4241$$

se calcula la ganancia del voltaje de la 2da etapa:

$$A_{v2} = \frac{RC_2 // RL}{h_{ie}}$$

$$A_{v2} = \frac{5.1K // 4.496K}{1.6778k}$$

$$A_{v2} = 1.4241$$

$$V_{out} = A_{v1} \times A_{v2}$$

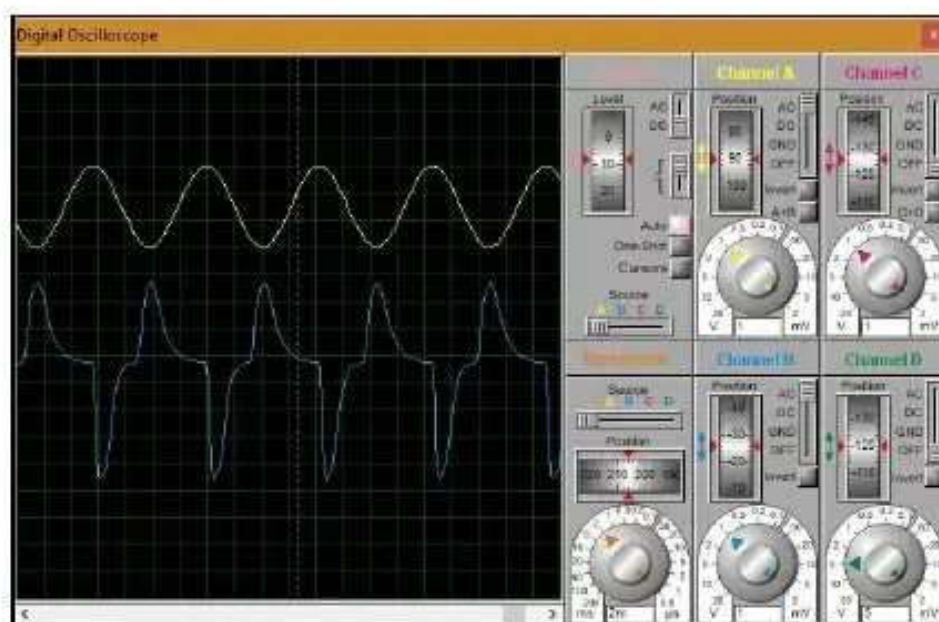
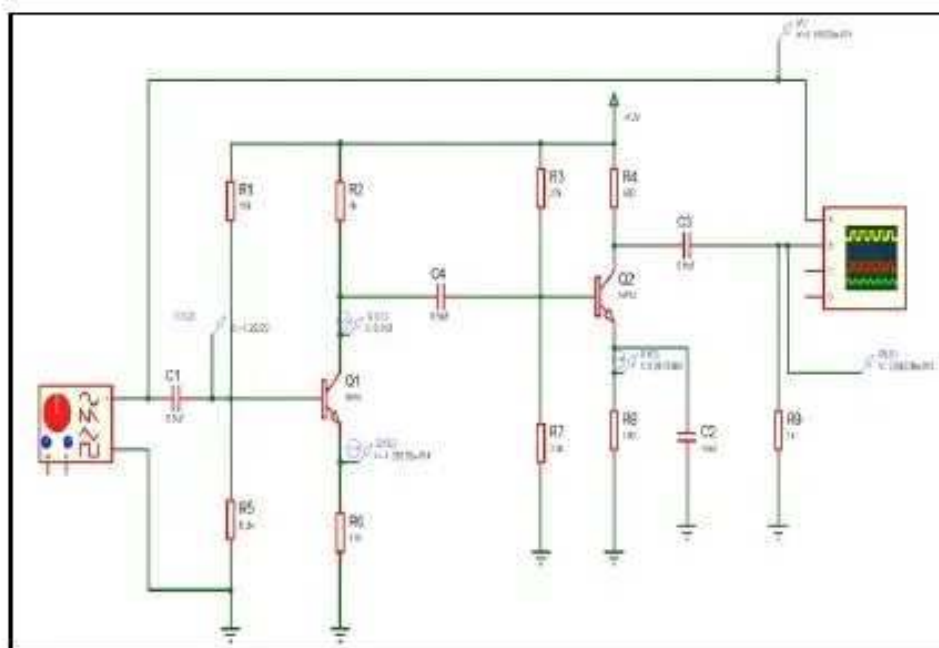
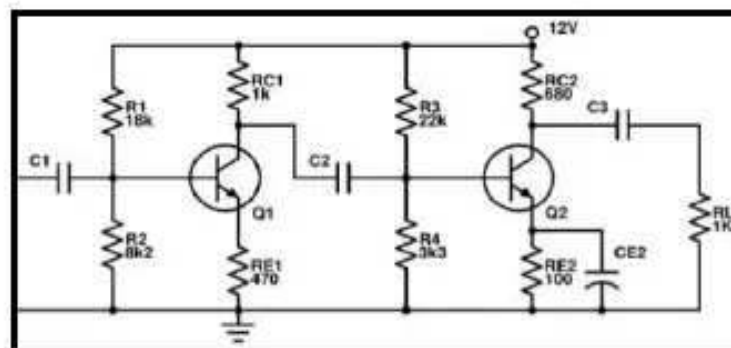
$$V_{out} = 2848.36$$



$$V_{in} = 4.496K \times 0.0149m\Omega = 0.0669904$$

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2848.36}{0.0669904} = 42.51mV$$

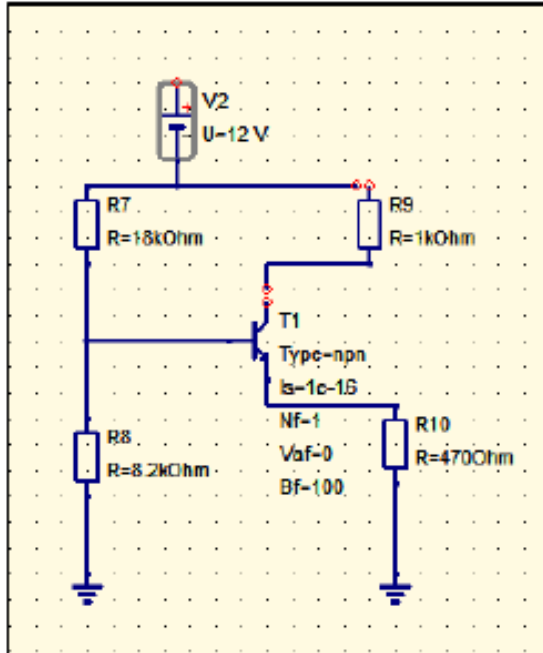
CIRCUITO 2





Analizando en DC:

Para 1era etapa:



$$R_{eq} = R_a \parallel R_b = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b}$$

$$R_{equ} = \frac{8.2k \times 18k}{8.2k + 18k} = \frac{147.6}{26.2} K = 5.63K$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

$$V_{th} = \frac{8.2k}{8.2k + 18k} (12v) = \frac{98.4}{26.2} = 3.7557$$

$$V_{th} = R_{eq} I_B + 0.7 + R_E I_E$$

$$3.7557 = 5.63K \times I_B + 0.7 + R_E I_E$$

$$3.7557 - 0.7 = I_B (5.63K + 470(101))$$

$$3.0557 = I_B (53.1K)$$

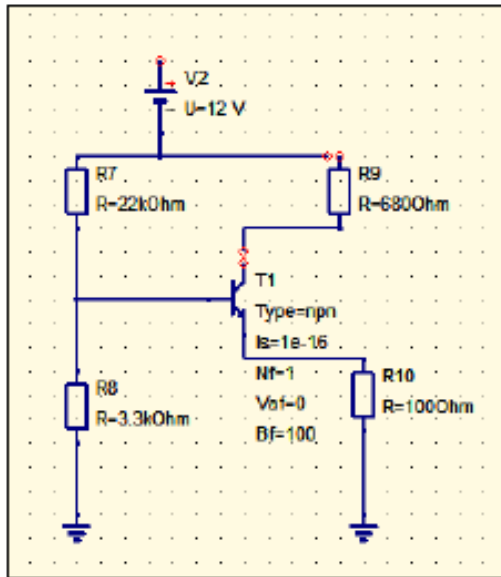
$$I_B = \frac{3.0557}{53.1K} = 0.0575m\Omega$$

$$h_{ie} = \frac{25mV}{I_B} =$$

$$h_{ie} = \frac{25mV}{0.0575m} = 0.434k$$



Analizando la 2da etapa en DC:



$$R_{eq} = R_a \parallel R_b = \frac{R_a \times R_b}{R_a + R_b}$$

$$R_{eq} = \frac{3.3k \times 22k}{3.3k + 22k} = \frac{72.6}{25.3} K = 2.87K$$

$$V_{th} = \frac{R_2}{R_2 + R_1} V_{cc}$$

$$V_{th} = \frac{3.3k}{22k + 3.3k} (12v) = \frac{39.6}{25.3} = 1.565$$

$$V_{th} = R_{eq} I_B + 0.7 + R_E I_E$$

$$1.565 = 2.87K \times I_B + 0.7 + R_E I_E$$

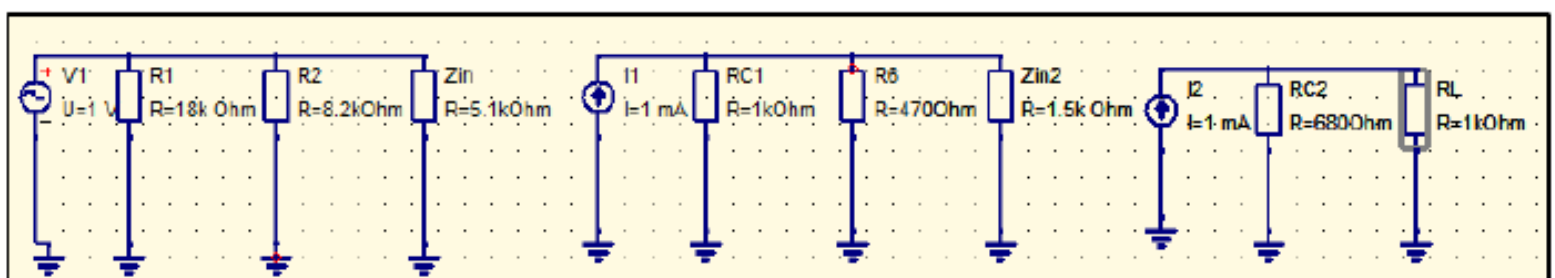
$$1.565 - 0.7 = I_B (2.87K + 100(101))$$

$$0.8652 = I_B (12.97K)$$

$$I_B = \frac{0.8652}{12.97K} = 0.0667mA$$

$$h_{ie} = \frac{25mV}{0.0667mA} = 0.375k$$

Análisis en AC :



Hallamos la Zin de la 1era etapa:



$$Z_{in1} = R_1 // R_2 // Z_{base}$$

$$Z_{in1} = 5.63K // B \times 0.434k$$

$$Z_{in1} = 5.63K // (100) \times 0.434k$$

$$Z_{in1} = \frac{245.632}{49.03} K = 5.0098K$$

Hallamos la Z_{in} de la 2da etapa:

$$Z_{in2} = R_5 // R_6 // Z_{base2}$$

$$Z_{in2} = 2.87K // B \times 0.375k$$

$$Z_{in2} = 2.87K // (100) \times 0.375k$$

$$Z_{in2} = \frac{107.625}{40.37} K = 2.6659K$$

-Ahora hallamos la ganancia de voltaje:

Primero se calcula la ganancia del voltaje de la 1era etapa:

$$A_{v1} = \frac{RC // Z_{in2}}{h_{ie}}$$

$$A_{v1} = \frac{1K // 5.0098K}{0.434k} = \frac{0.83360}{0.434}$$

$$A_{v1} = 1.9207$$

Se calcula la ganancia del voltaje de la 2da etapa:

$$A_{v2} = \frac{RC_2 // RL}{h_{ie2}}$$

$$A_{v2} = \frac{680 // 1K}{0.375k}$$

$$A_{v2} = 2.6627$$

$$V_{out} = A_{v1} \times A_{v2}$$

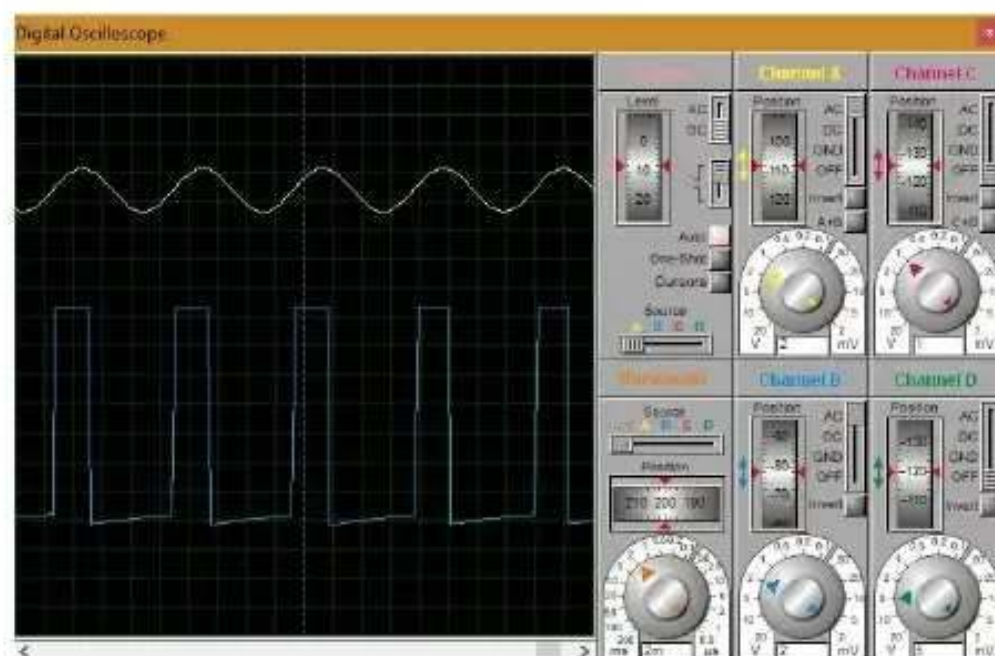
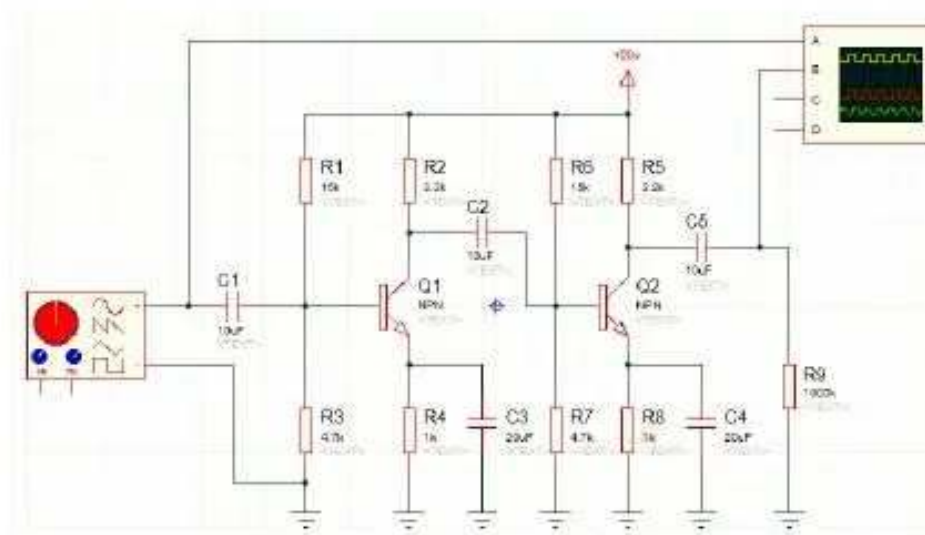
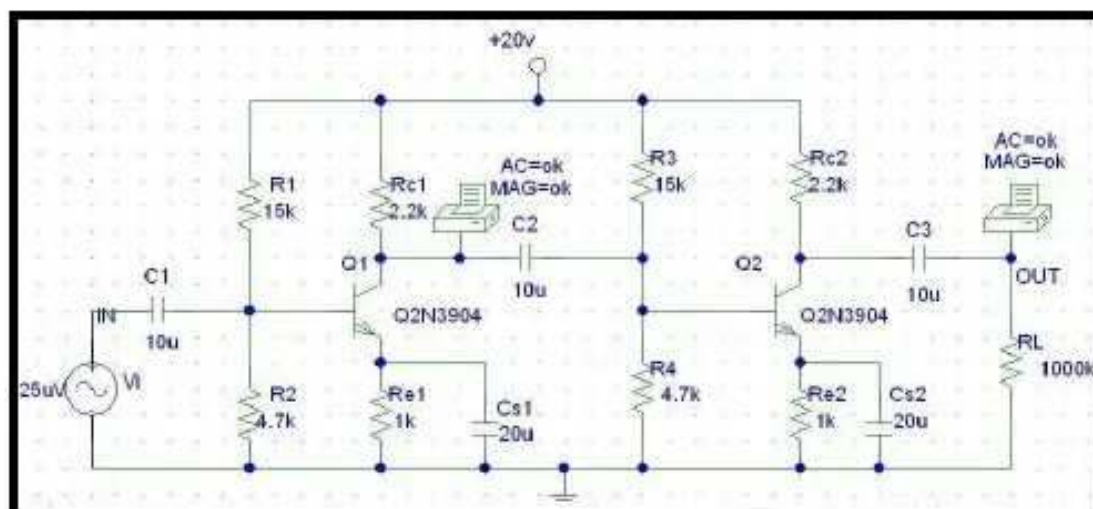
$$V_{out} = 5114.34$$

$$V_{in} = 5.0098k \times 0.0575m\Omega = 0.28806$$

$$A_V = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{5114.34}{0.28806} = 17.75mV$$



CIRCUITO 3





Análisis:

ANALIZANDO EN DC:

Hallando Vthevenin:

$$V_{th} = \frac{4.7k}{(4.7k + 15k)} * 20V$$

$$V_{th} = 4.77V$$

Hallando la resistencia equivalente de thevenin:

$$R_{eq} = \frac{(15k * 4.7k)}{(15k + 4.7k)} = 3.57k$$

Hallando la intensidad I_b :

Si: $I_E = (1 + \beta) * I_b$

$$V_{th} = R_{eq} * I_b + V_{BE} + R_e * (1 + \beta) * I_b$$

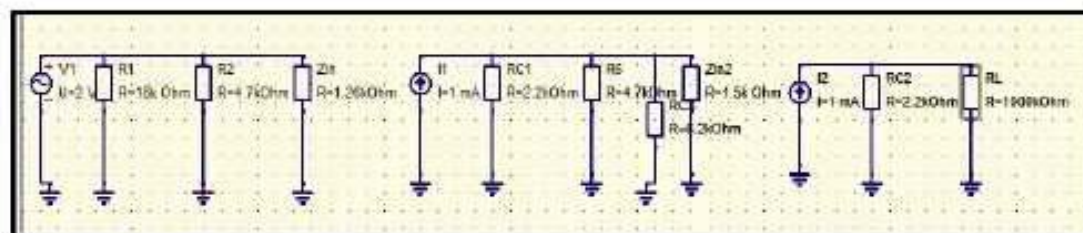
$$4.77 = 3.57k * I_b + 0.7 + 1k * (201) * I_b$$

$$I_b = 19.89\mu A$$

Hallando H_{ib} para parámetros H:

$$H_{ib} = \frac{25mV}{I_b} = \frac{25mV}{19.89\mu A} = 1.25K$$

ANALIZANDO EN AC:



La impedancia de base para la primera y segunda etapa es:

$$Z_{b1} = H_{ib} = Z_{b2} = H_{ib} = 1.25K$$

La impedancia de primera y segunda etapa es:

$$Z_{i1} = R_{eq} || Z_{b1}$$

$$Z_{i2} = R_{eq} || Z_{b2}$$

Donde: $R_{eq} = 3.57k$, $Z_{b1} = Z_{b2} = 1.25k$

$$Z_{i1} = Z_{i2} = \frac{3.57k * 1.25K}{(3.57K + 1.25K)} = 0.92K$$

La impedancia de salida en la primera y segunda etapa es:

$$Z_{o1} = Z_{o2} = R_c = 2.2K$$

La carga en la primera etapa es:

$$R_{L1} = Z_{i2} = R_{eq} || Z_{b2} = 0.92K$$



La cual produce la siguiente ganancia para la primera etapa:

$$A_{v1} = \frac{-(I_b * \beta)R_{c1} || R_{L1}}{I_b * Z_{b1}}$$

Donde: $R_{c1} || R_{L1} = \frac{2,2K * 0.92K}{(2.2K + 0.92K)} = 0.64K$

$$A_{v1} = -\frac{200 * 0.64k}{1.25k} = -102K$$

Para la segunda etapa sin carga la ganancia es:

$$A_{v2} = \frac{-(I_b * \beta)R_{c2}}{I_b * Z_{b1}}$$

$$A_{v2} = -\frac{200 * 2.2k}{1.25k} = -352$$

Y la ganancia total A_{vt} es:

$$A_{vt} = A_{v1} * A_{v2} = (-102) * (-352) = 35.904 * 10^3$$

La ganancia total con la carga de 1000K aplicada es:

Realizando la división de tensión en la carga de 1000k:

$$A_{VTCARGA} = \frac{R_L}{R_L + Z_{02}} * A_{vt} = \frac{1000K}{1000K + 2.2K} * 35.904 * 10^3$$

$$A_{VTCARGA} = 35.82 * 10^3$$

V. PREGUNTAS

1. ¿Cuál es la función de un amplificador?

Es un circuito capaz de procesar las señales de acuerdo a la naturaleza de la aplicación. El amplificador sabrá extraer información de toda señal, de tal manera, que permita mantener o mejorar las características del sensor o transductor utilizado a nuestra aplicación.

2. ¿Qué establece el acoplamiento y cuáles son los tipos de acoplamiento?

Establece la forma en la cual se conectan las distintas etapas amplificadoras, dependiendo de la naturaleza de la aplicación y las características de respuesta que se desean. Existen distintos tipos de acoplamiento: Acoplamiento directo, capacitivo y por transformador

3. ¿Cuál es la diferencia entre el acoplamiento directo y el capacitivo?

Las etapas se conectan en forma directa, es permite una amplificación tanto de la componente de señal como de la componente continua del circuito. Se dice que **los circuitos de cc y ca se acoplan directamente**.

La presencia del capacitor anula las componentes de cc, permitiendo solo la amplificación de señales en ca. **Los amplificadores de ca usan acoplamiento capacitivo.**

4. ¿A cuánto equivale la tensión entre la base y el emisor del transistor de Darlington?

La caída de tensión entre la base y el emisor del transistor Darlington es 1.4 voltios que resulta de la suma de las caídas de tensión de base a emisor del primer transistor B1 a E1 (0.7 voltios) y base a emisor del segundo transistor B2 y E2 (0.7 voltios).



5. ¿En qué consiste la configuración en cascode?

Consiste en un amplificador en emisor común acoplado directamente con una configuración en base común. Dicho circuito posee una impedancia de salida mayor y un ancho de banda más grande.

VI. REFERENCIAS

- [1] *"Teoria De Circuitos Y Dispositivos Electronicos"*, Boylestad, Robert
- [2] *"Análisis Básico De Circuitos Eléctricos"*, D.E. Johnson. Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, 1996.
- [3] *"Teoría De Circuitos Eléctricos"*, R. Sanjurjo, E. Lázaro, P. de Miguel. Ed. McGraw-Hill, 1997.
- [4] https://referencias111.wikispaces.com/file/view/Capitulo3_ce1.pdf
- [5] <https://electronicaii.files.wordpress.com/2013/06/amplificadores-multietapa.pdf>