



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
EC-2014 LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS
GRUPO 3

INFORME - PRÁCTICA #7
CARACTERÍSTICAS DEL BJT, AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN

Integrantes:

Giancarlo Torlone, 20-10626

Hiroshi Yano, 20-10668

RESUMEN

Entre los objetivos de esta práctica estaba familiarizar al estudiante con los transistores bipolares BJT, no sólo a través de la lectura e interpretación de los manuales de estos dispositivos sino a través de la observación de sus características corriente-voltaje con ayuda del osciloscopio. También se planteó realizar un análisis al amplificador emisor común. Los resultados obtenidos en la práctica demostraron de manera satisfactoria el funcionamiento esperado de estos dispositivos. En general, la práctica sirvió como una oportunidad de profundizar conocimientos en materia de transistores.

ÍNDICE

RESUMEN	II
ÍNDICE.....	III
MARCO TEÓRICO	1
Características del transistor BJT	1
Principio de operación de un amplificador emisor común	2
METODOLOGÍA.....	3
Observación de las características de salida i vs v de un transistor BJT	3
Observación de las características de entrada i vs v de un transistor BJT.....	3
Observaciones sobre el amplificador BJT con emisor común	4
RESULTADOS	5
Características de salida i vs v de un transistor BJT.....	5
Características de entrada i vs v de un transistor BJT	6
Mediciones sobre el amplificador emisor común.....	6
ANÁLISIS DE RESULTADOS	10
Características de salida i vs v de un transistor BJT.....	10
Características de entrada i vs v de un transistor BJT	10
Amplificador emisor común.....	10
CONCLUSIONES.....	14
Comentarios finales	14
ANEXOS	15

MARCO TEÓRICO

Características del transistor BJT

El transistor de unión bipolar es un componente electrónico formado por dos uniones PN cercanas entre sí, siendo posible controlar el paso de la corriente a través de sus terminales. Los tipos de transistores BJT más comunes son los PNP y NPN.

Este dispositivo tiene tres terminales: emisor, base y colector. La zona central se denomina base, y las laterales emisor y colector. El emisor es la zona más fuertemente dopada, encargada de inyectar portadores mayoritarios hacia la base. La base tiene un nivel de dopado inferior al de la zona del emisor, pues debe dejar pasar la mayor parte de portadores inyectados por el emisor hacia el colector. La zona del colector tiene el menor nivel de dopado de las tres zonas, es encargada de recoger los portadores inyectados por el emisor que han logrado atravesar la base.

El transistor BJT tiene tres regiones de operación:

- Región de saturación: las uniones colector-base y base emisor están polarizadas directamente, el voltaje colector-emisor es pequeño y la corriente es muy grande.
- Región de corte: en esta región la corriente de colector es cero o casi cero para cualquier valor de voltaje colector-emisor, las uniones colector-base y base emisor están inversamente polarizadas.
- Región activa directa: en esta región la unión de colector-base está polarizada en inversa y la unión base-emisor está polarizada en directa. Esta región permite utilizar al transistor como amplificador de voltaje, de corriente o de potencia.

Las relaciones corriente-voltaje del transistor BJT en la región activa se expresan con las siguientes fórmulas:

$$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad (1)$$

$$i_B = \frac{i_C}{\beta} = \left(\frac{I_S}{\beta}\right) e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad (2)$$

$$i_E = \frac{i_C}{\alpha} = \left(\frac{I_S}{\alpha}\right) e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} \quad (3)$$

*Para el transistor PNP se debe reemplazar v_{BE} con v_{EB}

$$i_C = \alpha i_E = \beta i_B \quad (4)$$

$$i_B = (1 - \alpha) i_E = \frac{i_E}{\beta + 1} \quad (5)$$

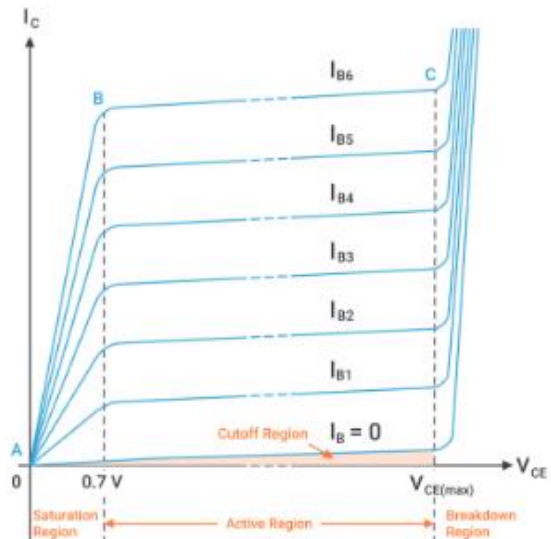


Figura 1 Familia de curvas I_C vs V_{CE} del transistor BJT

$$i_E = (\beta + 1)i_B \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta+1} \quad (8)$$

Donde

$$V_T = \frac{kT}{q} \cong 25mV \dots \text{Voltaje térmico a temperatura ambiente}$$

β ... Ganancia de corriente colector-base

α ... Ganancia de corriente colector-emisor

Principio de operación de un amplificador emisor común

Este arreglo consiste en un transistor NPN con el emisor conectado como punto común en todo el circuito sin considerar ninguna fuente de alimentación. El objetivo de este circuito es amplificar una señal con la menor distorsión posible. Esto se logra al establecer un punto de operación DC (punto Q) adecuado en algún punto de la línea de carga con un cierto arreglo de polarización. La mejor posición para el punto Q es en el centro de la línea de carga, donde $V_{CE} = \frac{1}{2}V_{CC}$.

En este tipo de amplificador se utiliza un arreglo de polarización de ‘divisor de voltaje’. En este arreglo se emplean dos resistores R_1 y R_2 para proveer desde el nodo que los une el voltaje de polarización de base requerido por el transistor. Este método de polarizar el transistor reduce en gran medida los efectos de una beta (β) variable, manteniendo la polarización de la base a un nivel de voltaje constante.

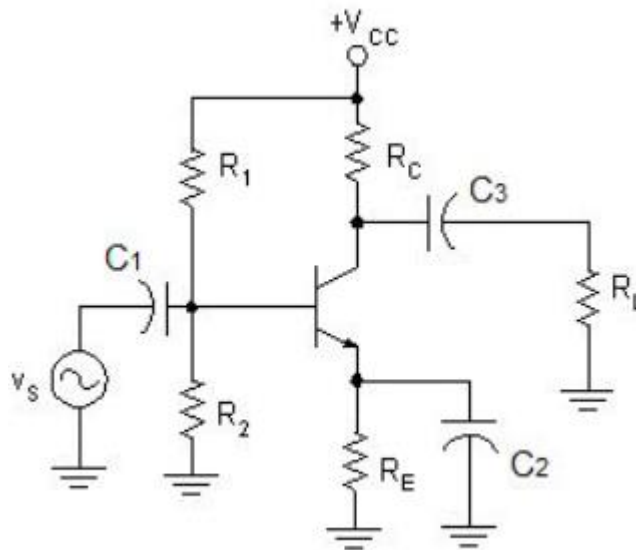


Figura 2 Diagrama del amplificador BJT con emisor común

METODOLOGÍA

Observación de las características de salida i vs v de un transistor BJT

$R_B = 43k\Omega$; $R_C = 1k\Omega$; Transistor NPN 2N3904

Para observar las características de salida del transistor se montó el circuito de la figura 3 con las puntas y la tierra del osciloscopio en la posición especificada. Para obtener la curva i_C vs v_{CE} con la orientación típica vista en teoría fue necesario invertir el canal X. Se realizaron mediciones punto a punto en la región activa para dos niveles de voltaje DC diferentes.

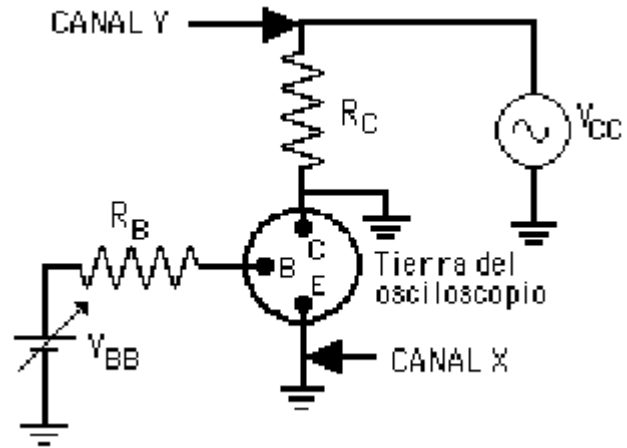


Figura 3 Diagrama del circuito para determinar las características de salida del transistor BJT

Observación de las características de entrada i vs v de un transistor BJT

$R_B = 43k\Omega$; $R_C = 1k\Omega$; Transistor NPN 2N3904

Para observar las características de entrada del transistor se montó el circuito de la figura 4 con las puntas y la tierra del osciloscopio en la posición especificada. Para obtener la curva i_B vs v_{BE} con la orientación típica vista en teoría fue necesario invertir el canal X. Para medir los parámetros relevantes se realizaron posteriormente mediciones sobre la curva obtenida.

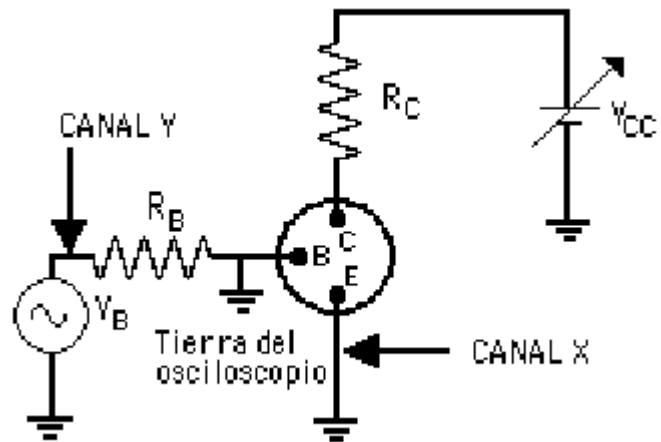


Figura 4 Diagrama del circuito para determinar las características de entrada del transistor BJT

Observaciones sobre el amplificador BJT con emisor común

$R_1 = 30k\Omega$; $R_2 = 4.7k\Omega$; $R_3 = 910\Omega$; $R_4 = 100\Omega$; $R_C = 1k\Omega$; $R_E = 200\Omega$; $R_L = 1k\Omega$; $C_1 = 22\mu F$; $C_2 = 470\mu F$; $C_3 = 1\mu F$

Para observar el comportamiento del amplificador emisor común se montó el circuito de la figura 5. Para medir los parámetros relevantes se colocaron las puntas del osciloscopio en los nodos especificados en la figura 5.

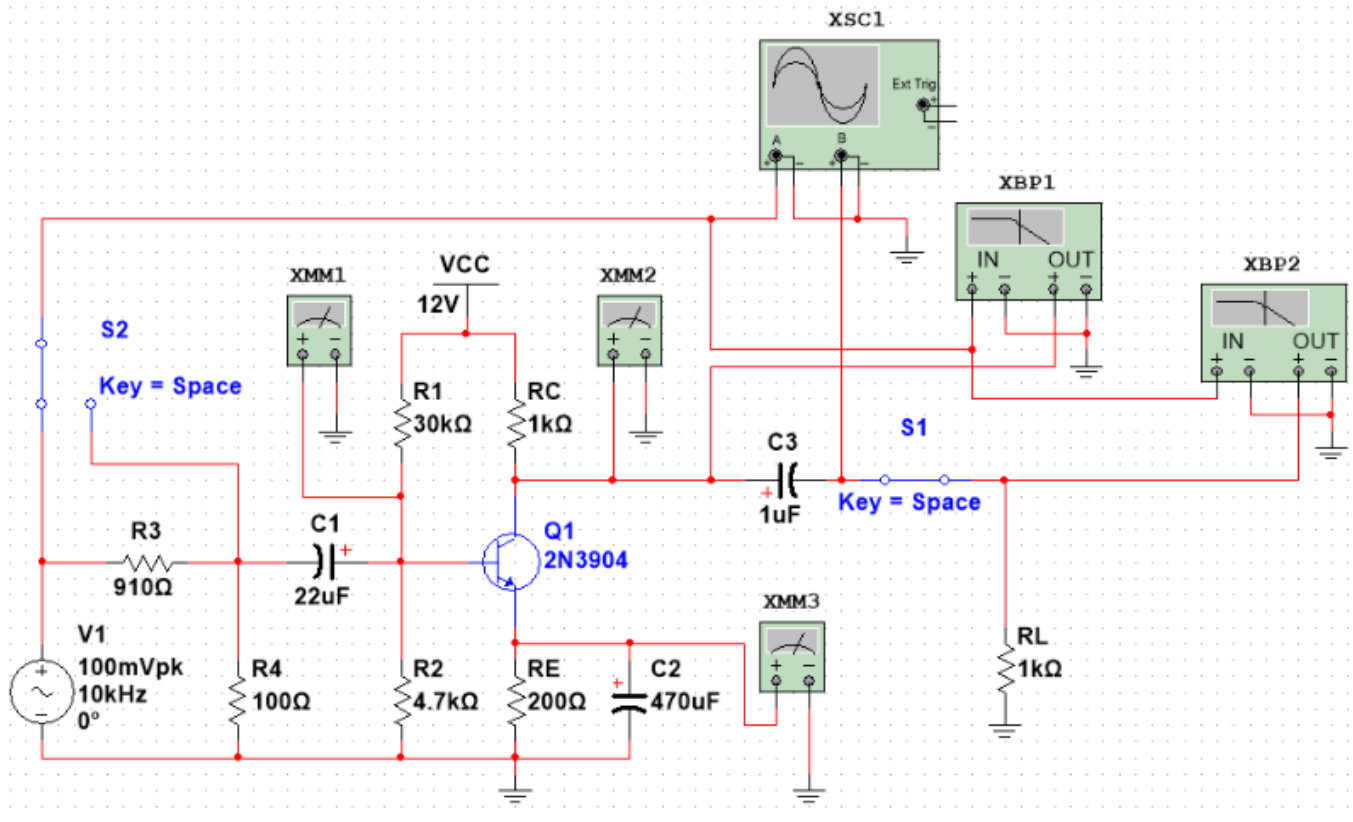


Figura 5 Diagrama de cableado y posición de instrumentos, amplificador emisor común

RESULTADOS

Características de salida i vs v de un transistor BJT

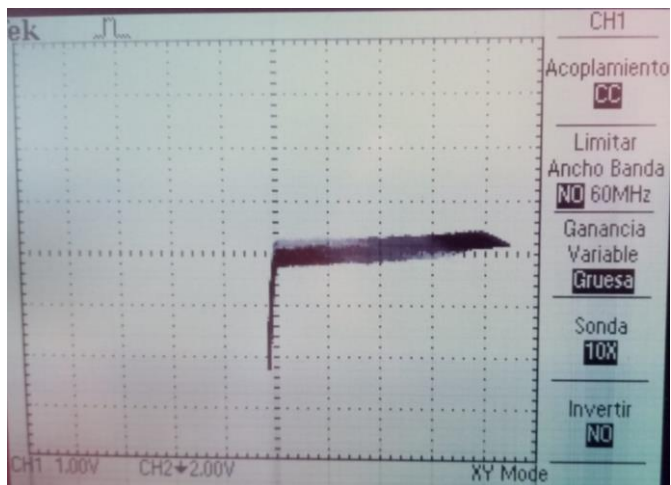


Figura 7 I_c vs V_{ce} ; $V_{BB}=2V$; $V_{CC}=5V_p$

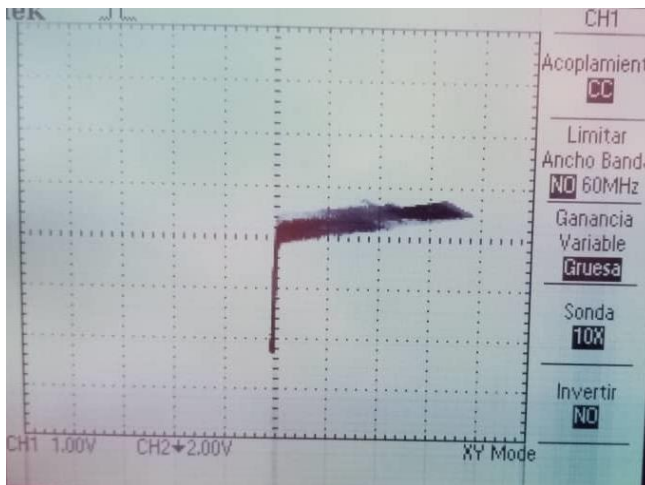


Figura 6 I_c vs V_{ce} ; $V_{BB}=5.1V$; $V_{CC}=5V_p$

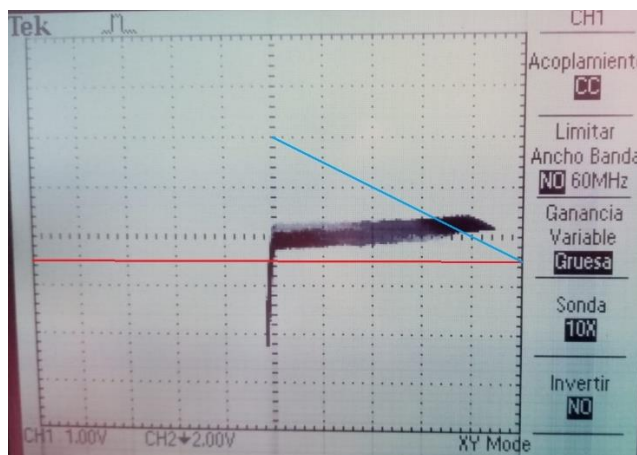


Figura 8 Determinación del punto de operación, línea de carga (azul), eje x (V_{ce} , rojo), $V_{BB}=2V$, $V_{CC}=5V_p$

Punto de operación para $V_{BB} = 2V$ y $V_{CC} = 5V_p$:

$$V_{CEQ} = 3.25V; I_{CQ} = \frac{1.8V}{1k\Omega} = 1.8mA$$

Según datos del fabricante para una $I_C = 1.8mA$ a temperatura ambiente de $25^\circ C$, $V_{BE} \cong 0.67V$

$$I_{BQ} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{2V - 0.67V}{43k\Omega} = 0.0309mA = 30.9\mu A$$

Parámetro	Valor medido	Valor teórico	Error porcentual
$h_{fe} = \frac{I_{CQ}}{I_{BQ}}$	$h_{fe} = \frac{1.8mA}{30.9\mu A} = 58.25$	50	16.5%
$h_{oe} = \frac{V_{CE2} - V_{CEQ}}{I_{C2} - I_{CQ}}$	$h_{oe} = \frac{4V - 3.25V}{1.85mA - 1.8mA} = 15m\Omega$	31.91m Ω	53%

Características de entrada i vs v de un transistor BJT

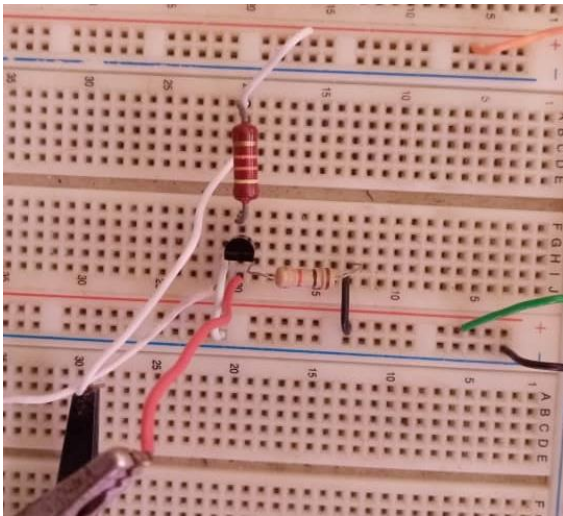


Figura 9 Circuito para determinar las características de entrada del transistor BJT

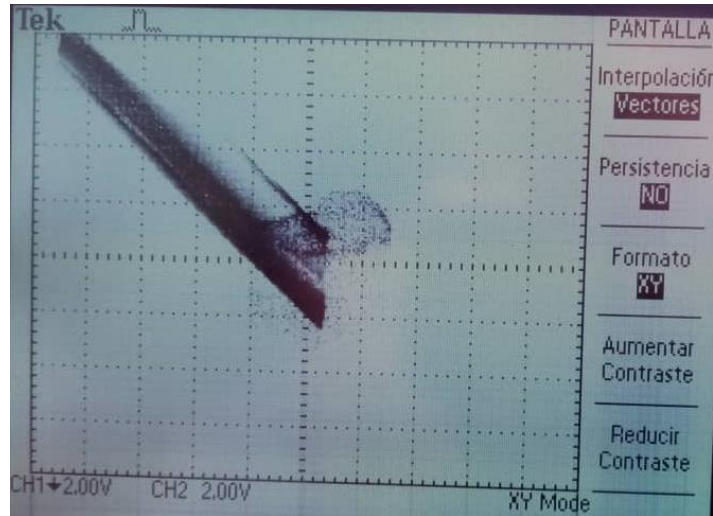


Figura 10 I_b vs V_{be} ; $V_{BB}=2V_p$; $V_{CC}=15V$

Nota: para este circuito no se disponía de los valores de voltaje V_{CC} y V_{BB} correctos para polarizar el circuito.

Mediciones sobre el amplificador emisor común

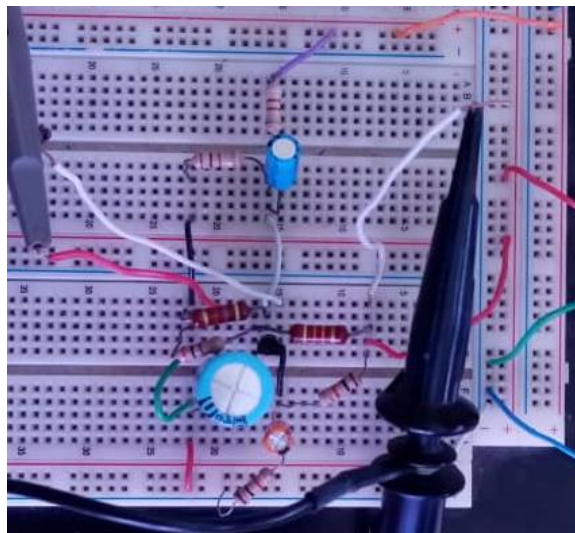


Figura 11 Circuito amplificador emisor común

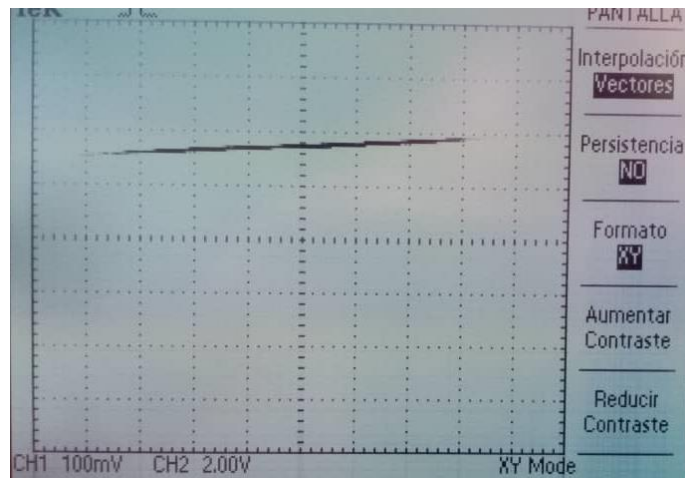


Figura 12 I_c vs V_{ce} amplificador emisor común; $V_{CC}=12V$; $V_{BB}=100mV_p$; $f=10kHz$

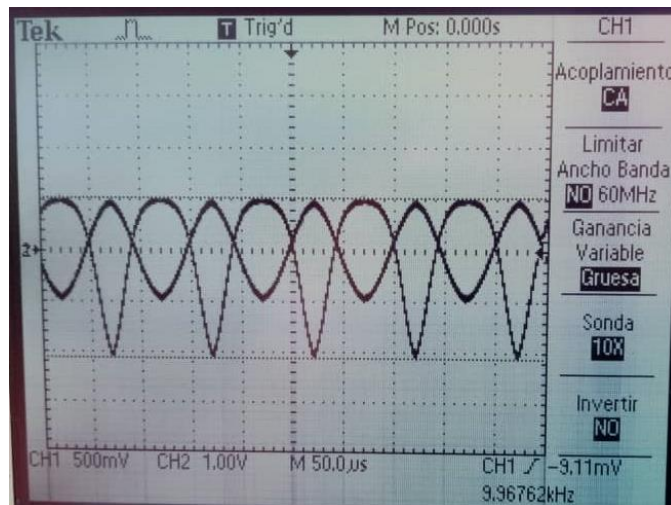


Figura 13 Voltajes de salida y de entrada; amplificador emisor común; $V_{in}=500mV_p$; $f=10kHz$

V_{in}	V_{out}
100mV _p	336mV _p
200mV _p	620mV _p -840mV _p
300mV _p	820mV _p -1.32V _p
400mV _p	940mV _p -1.68V _p
500mV _p	1.06V _p -2.2V _p

Figura 14 Voltajes de salida para distintos voltajes de entrada; amplificador emisor común; $f=10kHz$

10.- $f = 1 \text{ kHz}$

$A_v = V_{out} / V_{in}$ $V_{out} (\text{máx sin distorsión})$

$A_v = 440 \text{ mV}_p / 120 \text{ mV}_p$ 440 mV_p

$A_v = 3,6$

Figura 15 Ganancia de voltaje; amplificador emisor común; $f=1\text{kHz}$

$f \text{ (Hz)}$	$V_{in} \text{ (V}_p\text{)}$	$V_{out} \text{ (V}_p\text{)}$	Desfase
100	100 m	236 m	3,4 ms
1 k	100 m	312 m	476 μ s
10 k	100 m	304 m	48 μ s
50 k	100 m	260 m	9,5 μ s
100 k	100 m	244 m	5,12 μ s
1 M	100 m	204 m	524 ns

Figura 16 Voltajes de salida y desfase con entrada constante para diferentes frecuencias; amplificador inversor

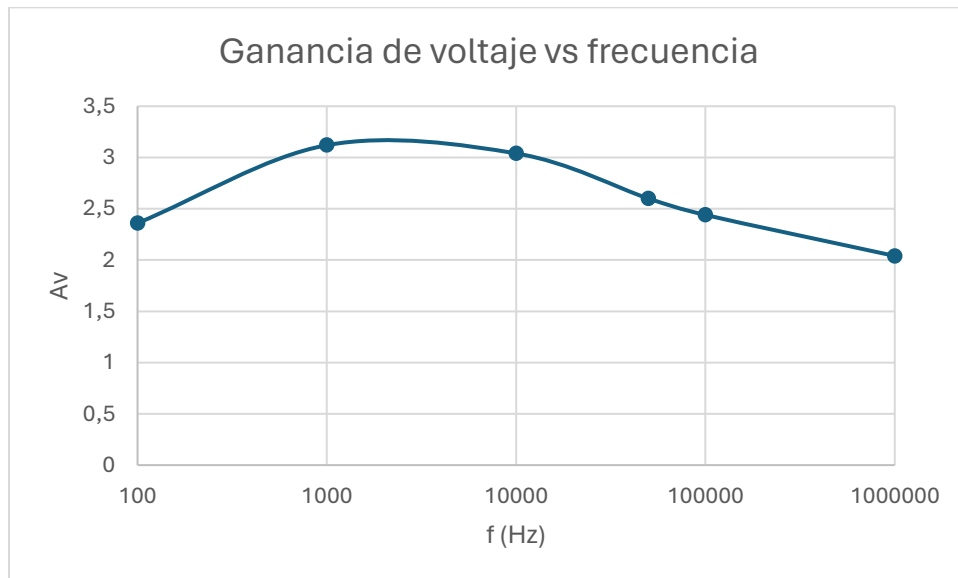


Figura 17 Ganancia de voltaje vs frecuencia; amplificador emisor común

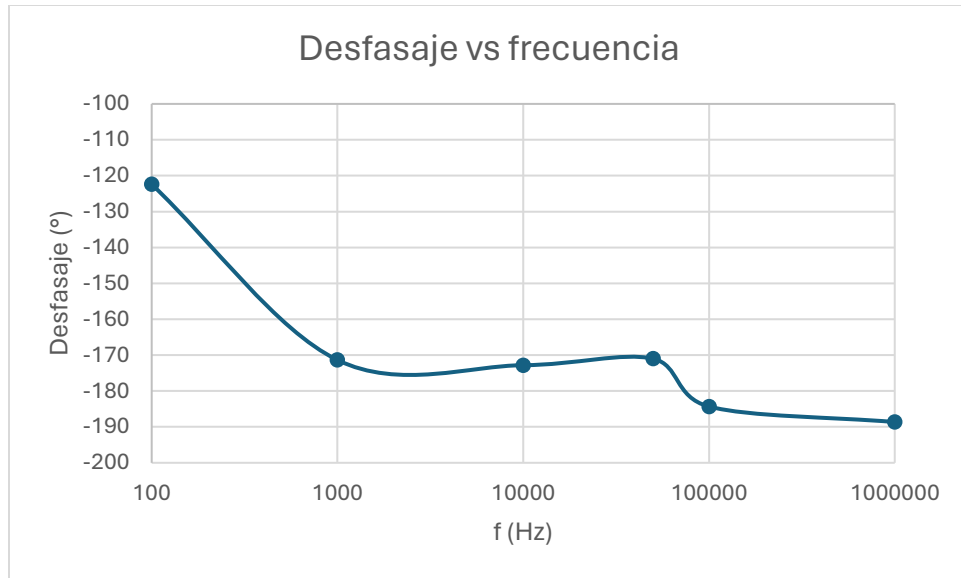


Figura 18 Desfasaje en grados vs frecuencia; amplificador emisor común

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Características de salida i vs v de un transistor BJT

Para la curva I_C vs V_{CE} obtenida en la figura 8, el punto de intercepción con la línea de carga se encuentra en $V_{CE} = 3,25V$ e $I_C = 1,8mA$. Por lo general el punto ideal de operación se encuentra en $V_{CE} = 0.5V_{CC}$, la diferencia entre el punto de operación ideal y el observado en la práctica podría deberse a la configuración empleada en el circuito afectando la polarización del transistor.

Para calcular la ganancia de corriente h_{fe} del transistor fue necesario emplear datos proveídos por el fabricante para determinar el valor del voltaje base-emisor V_{BE} y posteriormente calcular el valor de la corriente de base I_B . La ganancia obtenida $h_{fe} = 58,25$ es 16,5% mayor que el valor esperado de 50. Teniendo en cuenta que h_{fe} es un parámetro variable que depende de múltiples factores, podría decirse que el resultado está dentro del rango esperado.

Para determinar h_{oe} se realizaron mediciones sobre la curva de la figura 8. El resultado obtenido de $h_{oe} = 15m\Omega$ es 53% menor que el valor esperado de $31,91m\Omega$. La discrepancia podría atribuirse a las limitaciones de resolución de la pantalla del osciloscopio, así como a distorsiones en la curva característica obtenida. La fórmula empleada para el cálculo, al igual que los valores utilizados hacen que el resultado final sea muy sensible a pequeñas variaciones en dichos valores.

Características de entrada i vs v de un transistor BJT

Debido posiblemente a que no se configuraron adecuadamente las fuentes de voltaje del circuito, no fue posible obtener la curva característica I_B vs V_{BE} del transistor BJT. En su lugar se obtuvo una imagen con un alto grado de distorsión y una forma completamente distinta a la esperada dada la teoría. Esto hizo imposible extraer datos en esta sección de la práctica para el cálculo del parámetro h_{ie} .

Amplificador emisor común

La curva I_C vs V_{CE} obtenida en la figura 12 para una entrada de 100mVp a una frecuencia de 10kHz se asemeja en gran medida a la obtenida a través de la simulación en Multisim (figura 19). En ambas figuras se puede observar el comportamiento del amplificador exclusivamente en la región de operación activa. Sin embargo, al menos en la observación real la ausencia de la región de saturación podría deberse a limitaciones en la resolución seleccionada para observar la curva.

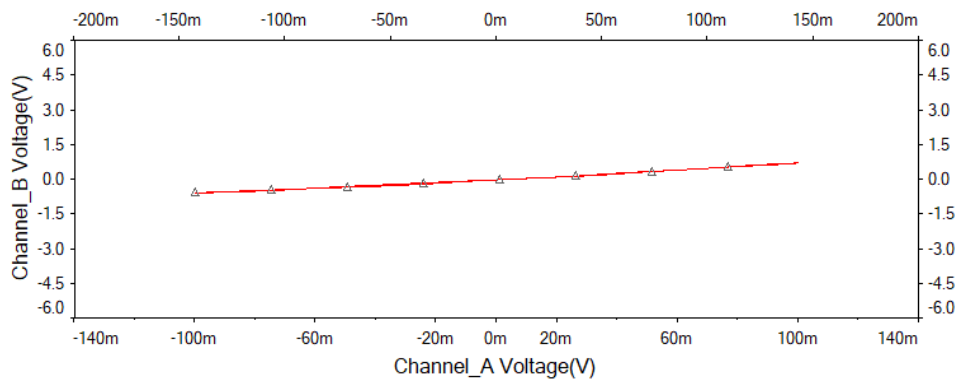


Figura 19 I_c vs V_{ce} ; amplificador emisor común; $V_{in}=100mV_p$; $f=10kHz$

Al aplicar una entrada sinusoidal de $500mV_p$ a $10kHz$ se obtuvo una respuesta en la figura 13 muy similar a la simulación en Multisim (figura 20). En ambos casos la señal de salida está amplificada y presenta un desfase de 180° con respecto a la señal de entrada. También es posible notar que la señal de salida está limitada en su amplitud durante sus semiciclos positivos, esto podría deberse a las limitaciones de ganancia inherentes a la configuración del circuito empleada.

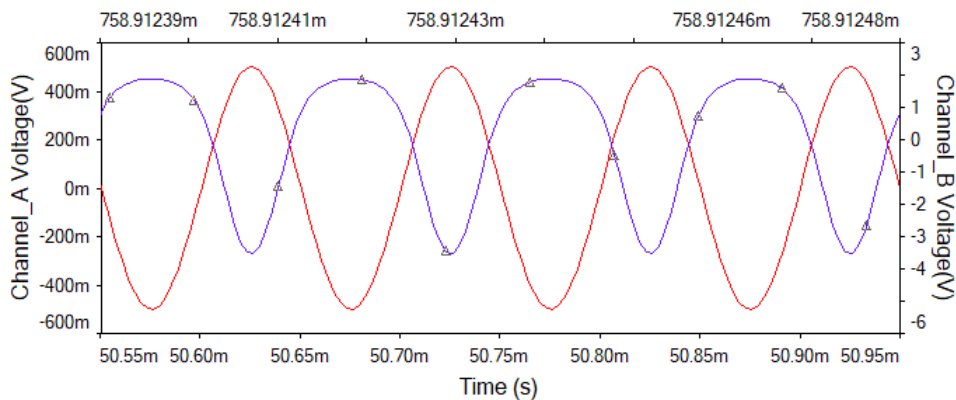


Figura 20 Voltaje de entrada (rojo) y voltaje de salida (púrpura); $V_{in}=500mV_p$; $f=10kHz$; amplificador emisor común

Para estudiar la variación de la ganancia de voltaje con respecto a la frecuencia se aplicó una señal de entrada sinusoidal constante de $100mV_p$. La diferencia más notable entre la simulación (figura 21) y la gráfica obtenida por vía experimental (figura 17) es que si bien en la simulación se presenta una pequeña reducción de la ganancia a $1MHz$, en la práctica se observó un valor un poco por debajo del obtenido a tan solo $100Hz$ (debajo de la banda media del amplificador). Sin embargo, en ambos casos se observó un aumento similar de la ganancia entre $100Hz$ y $1kHz$, 24% por la vía experimental y 20% por la simulación, indicando que el circuito cumplió su función esperada, al menos en cierto rango de frecuencias.

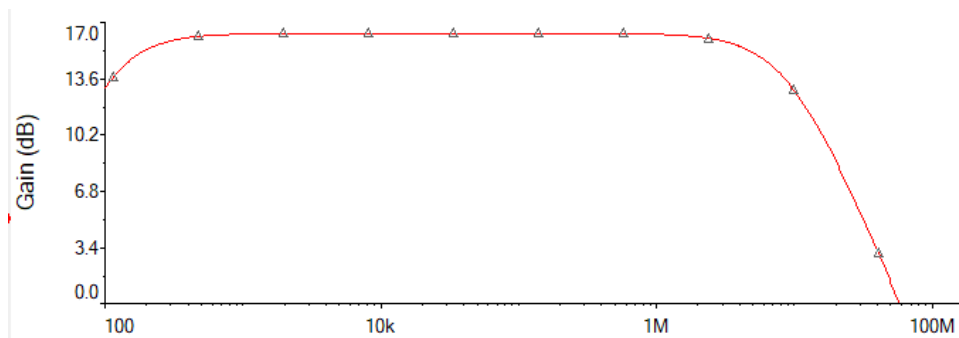


Figura 21 Ganancia (dB) vs frecuencia; amplificador emisor común; $V_{in}=100\text{mVp}$

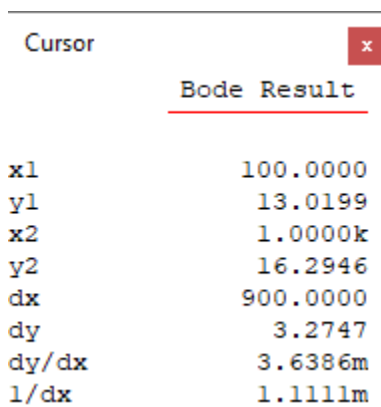


Figura 22 Valores de ganancia simulados para 100Hz y 1kHz

De manera simultánea al estudio de la ganancia del amplificador emisor común se realizaron mediciones del desfase entre las señales de entrada y de salida del circuito. La gráfica obtenida por vía experimental en la figura 18 se asemeja en gran medida a la simulada en Multisim (figura 23). En cada uno de los puntos de frecuencia medidos en la práctica se presenta una discrepancia con respecto a la simulación entre 1% y 6%, indicando que el comportamiento real en términos de desfase corresponde completamente a lo esperado dada la simulación.

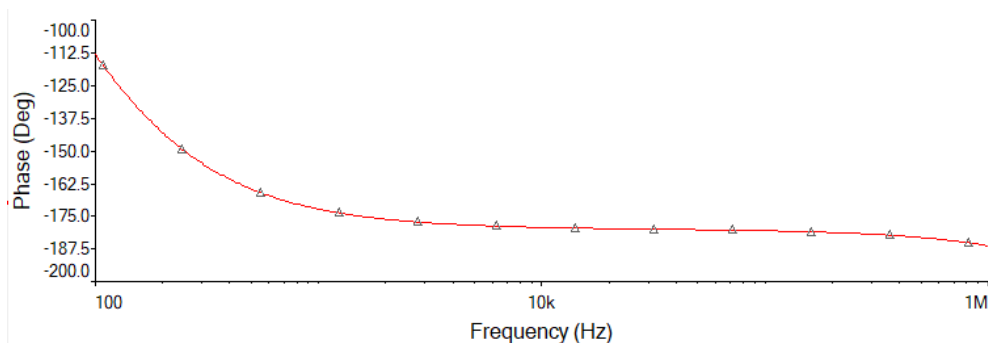


Figura 23 Desfase vs frecuencia; amplificador emisor común; $V_{in}=100\text{mVp}$

Dadas las similitudes entre los gráficos obtenidos en la simulación y por vía experimental, es posible afirmar que el circuito cumplió su función a grandes rasgos en concordancia con el comportamiento esperado.

Cursor	
Bode Result	
x1	100.0000
y1	-113.1057
x2	50.0000k
y2	-180.1653
dx	49.9000k
dy	-67.0596
dy/dx	-1.3439m
1/dx	20.0401μ

Figura 24 Valores de desfase simulados para 100Hz y 50kHz

CONCLUSIONES

La práctica fue un adecuado refuerzo de habilidades básicas como el montaje de circuitos y el manejo del osciloscopio en sus modos Y(t) y XY. La práctica también sirvió como una oportunidad para profundizar los conocimientos del estudiante en materia de transistores. Los resultados obtenidos en la práctica sirvieron para corroborar por vía experimental el funcionamiento de los transistores BJT en diferentes configuraciones. Por lo general los valores medidos para los diferentes parámetros se encontraron dentro de rangos esperados.

El amplificador emisor común ofrece ganancia tanto de voltaje como de corriente, produciendo una mayor potencia que en otras configuraciones de amplificadores que emplean transistores BJT. Esto hace que esta configuración pueda ser empleada para amplificar de manera satisfactoria señales débiles. Una aplicación de esta capacidad podría darse en circuitos que trabajan con frecuencias de radio, amplificando las señales que reciba una antena.

Comentarios finales

Es importante tener en cuenta las características físicas del transistor BJT al momento de realizar el montaje, especialmente la distribución de sus terminales ya que es fácil llegar a la errónea conclusión de que este tipo de transistor comparte la misma designación de terminales que otros tipos de transistor con encapsulados similares, como los MOSFET.

Durante la sección para la determinación de las características de entrada del transistor BJT no se logró obtener la curva característica I_B vs V_{BE} . Esto pudo deberse en buena parte a que no se configuró con los niveles de tensión adecuados a las fuentes de voltaje del circuito. Para evitar este tipo de situaciones es aconsejable revisar a profundidad la teoría relevante, así como los datos del fabricante de los dispositivos a emplear y aprovechar en mayor medida las posibilidades ofrecidas por los programas de simulación para prever distintas situaciones posibles.

ANEXOS

Prelaboratorio #5 Giancarlo Torlone

Prelaboratorio #7

Giancarlo Torlone 20-10626

1.- Busque las especificaciones de los dispositivos con los que va a trabajar y fotocopie las partes más importantes para tenerlas disponibles durante la realización de la práctica, o averigüe si dichas especificaciones están disponibles en línea a través de la red del laboratorio para que Ud. las pueda observar en la pantalla de su computador. Haga un listado de las características más importantes que el fabricante especifica para estos dispositivos, incluyendo una breve explicación de su significado.

2N3904 BJT

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \text{ } \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cut-Off Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cut-Off Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA
ON CHARACTERISTICS⁽⁵⁾					
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40		
		$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	70		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	100	300	
		$I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	60		
		$I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$		0.2	V
		$I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.3	
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$	0.65	0.85	V
		$I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.95	

Este dispositivo está diseñado como amplificador e interruptor de propósito general. El rango dinámico útil se extiende a 100 mA como interruptor y a 100 MHz como amplificador.

ESPECIFICACIONES MÁXIMAS

- Voltaje colector – base: 40 V.
- Voltaje colector – emisor: 60 V.
- Voltaje emisor – base: 6 V.
- Corriente colector: 200 mA.

- Disipación de potencia: 625 mW.
- Rango de temperatura: $-55^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$.
- Empaque: TO-92

2.- Características del transistor bipolar (BJT):

Para enfatizar el punto de que en este experimento se están analizando las características del dispositivo y en ningún momento se pretende realizar un circuito amplificador, los transistores BJ de la **figura 1** se han dibujado como componentes físicos, indicando las letras de sus terminales, en lugar de utilizar su símbolo circuital correspondiente.

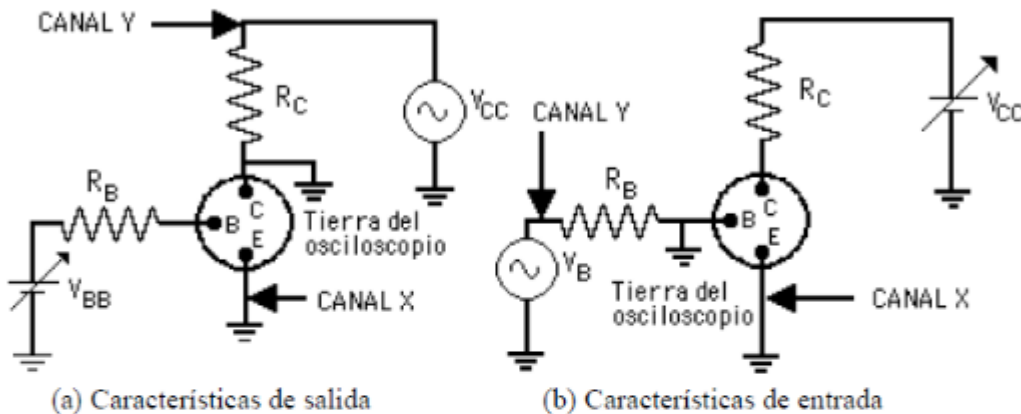


Figura 1. Circuitos para determinar las características i vs v de un transistor BJT

a) Dados los circuitos mostrados en la **Figura 1** y las especificaciones del dispositivo a su disposición, determine el valor de las resistencias R_B y R_C , el valor pico de la amplitud que puede tener la señal producida por el generador, y el conjunto de voltajes DC que tienen que aplicarse como V_{BB} y V_{CC} respectivamente, para observar en el osciloscopio las curvas características de salida i_C vs. v_{CE} con i_B como parámetro en el caso del circuito de la **Figura 1.a**, y las curvas características i_B vs. v_{BE} con v_{CE} como parámetro en el caso del circuito de la **Figura 1.b**.

$$R_B = 43 \text{ K}\Omega$$

$$R_C = 1 \text{ K}\Omega$$

Figura 1.a:

$$V_{BB} = 2 \text{ V}$$

$$V_{CC} = 5 \text{ Vpk}$$

Figura 1.b:

$$V_{BB} = 2 \text{ Vpk}$$

$$V_{CC} = 15 \text{ V}$$

b) Haga un diagrama de las señales que Ud. espera ver en la pantalla del osciloscopio, si las conexiones se realizan exactamente en la forma indicada en los circuitos de la **Figura 1**.

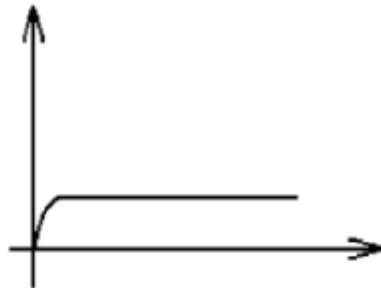


Figura 2. Característica I vs V transistor BJT

c) Si su osciloscopio tiene la posibilidad de invertir uno de los canales, haga un diagrama de los circuitos indicando la forma de conectar el osciloscopio para obtener las curvas características con la misma orientación que las curvas estándar de los manuales y libros de texto.

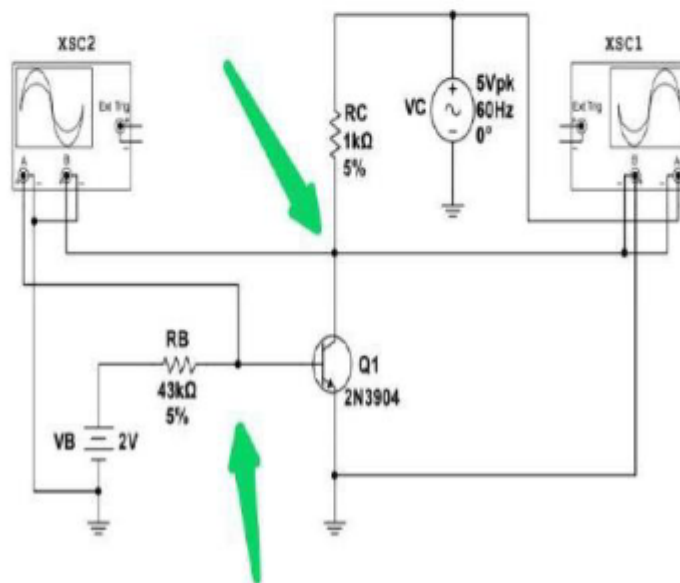


Figura 3. Diagrama para conectar el osciloscopio

- 3.- Haga el diagrama de cableado del amplificador Emisor Común, indicando claramente los terminales del transistor y la polaridad de los condensadores.
- 4.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente el punto de operación.
- 5.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente la impedancia de entrada, la impedancia de salida, la ganancia de voltaje y la amplitud máxima de salida sin distorsión cuando al amplificador se le aplica una señal de entrada de 1 kHz.
- 6.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente la amplitud de la ganancia de voltaje en función de la frecuencia y la fase de la ganancia de voltaje en función de la frecuencia (utilizando el método que juzgue más conveniente). Indique el rango de frecuencias sobre el que considera conveniente realizar mediciones para obtener resultados significativos.

Respuesta 3, 4, 5 y 6

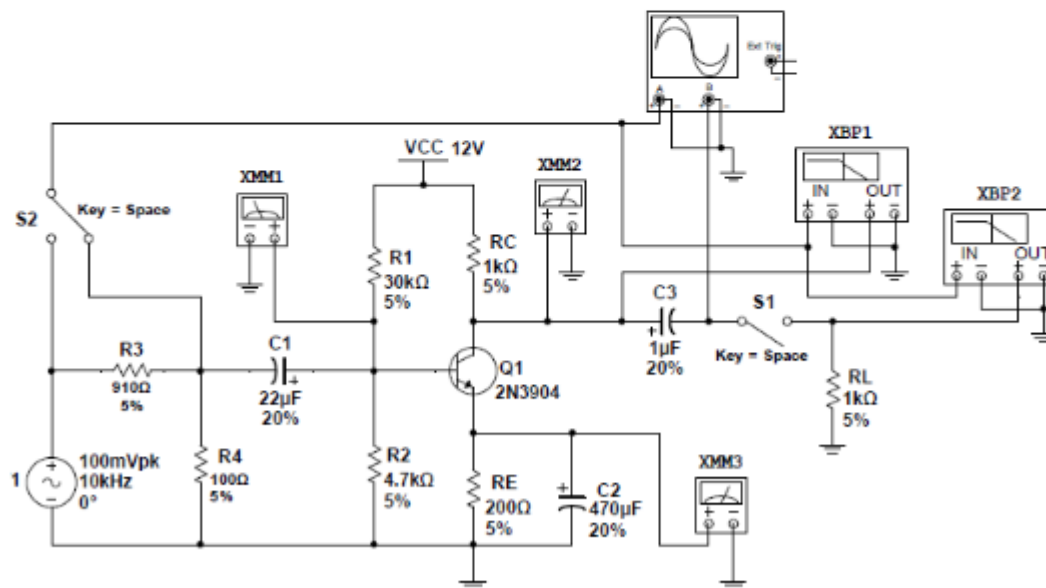


Figura 4. Diagrama Amplificador Emisor Común

Prelaboratorio #5 Hiroshi Yano



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y CIRCUITOS
EC-2014 LABORATORIO DE CIRCUITOS ELECTRÓNICOS
GRUPO 3**

**PRELABORATORIO - PRÁCTICA #7
CARACTERÍSTICAS DEL BJT, AMPLIFICADOR EMISOR COMÚN**

Hiroshi Yano 20-10668

1.- Especificaciones del transistor bipolar 2N3904

Valores máximos

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	40	V
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	60	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	6.0	V
I_C	Collector Current - Continuous	200	mA
T_J, T_{STG}	Operating and Storage Junction Temperature Range	-55 to 150	°C

Características térmicas

Symbol	Parameter	Maximum			Unit
		2N3904	MMBT3904 ⁽³⁾	PZT3904 ⁽⁴⁾	
P_D	Total Device Dissipation	625	350	1,000	mW
	Derate Above 25°C	5.0	2.8	8.0	mW/°C
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance, Junction to Case	83.3			°C/W
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient	200	357	125	°C/W

Características eléctricas

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
$V_{(BR)CEO}$	Collector-Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1.0 \text{ mA}, I_B = 0$	40		V
$V_{(BR)CBO}$	Collector-Base Breakdown Voltage	$I_C = 10 \mu\text{A}, I_E = 0$	60		V
$V_{(BR)EBO}$	Emitter-Base Breakdown Voltage	$I_E = 10 \mu\text{A}, I_C = 0$	6.0		V
I_{BL}	Base Cut-Off Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA
I_{CEX}	Collector Cut-Off Current	$V_{CE} = 30 \text{ V}, V_{EB} = 3 \text{ V}$		50	nA
ON CHARACTERISTICS ⁽⁵⁾					
h_{FE}	DC Current Gain	$I_C = 0.1 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	40		
		$I_C = 1.0 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	70		
		$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	100	300	
		$I_C = 50 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	60		
		$I_C = 100 \text{ mA}, V_{CE} = 1.0 \text{ V}$	30		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$		0.2 0.3	V
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C = 10 \text{ mA}, I_B = 1.0 \text{ mA}$ $I_C = 50 \text{ mA}, I_B = 5.0 \text{ mA}$	0.65	0.85 0.95	V
SMALL SIGNAL CHARACTERISTICS					
f_T	Current Gain - Bandwidth Product	$I_C = 10 \text{ mA}, V_{CE} = 20 \text{ V},$ $f = 100 \text{ MHz}$	300		MHz
C_{obo}	Output Capacitance	$V_{CB} = 5.0 \text{ V}, I_E = 0,$ $f = 100 \text{ kHz}$		4.0	pF
C_{ibo}	Input Capacitance	$V_{EB} = 0.5 \text{ V}, I_C = 0,$ $f = 100 \text{ kHz}$		8.0	pF
NF	Noise Figure	$I_C = 100 \mu\text{A}, V_{CE} = 5.0 \text{ V},$ $R_B = 1.0 \text{ k}\Omega,$ $f = 10 \text{ Hz to } 15.7 \text{ kHz}$		5.0	dB
SWITCHING CHARACTERISTICS					
t_d	Delay Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, V_{BE} = 0.5 \text{ V}$ $I_C = 10 \text{ mA}, I_{B1} = 1.0 \text{ mA}$		35	ns
t_r	Rise Time			35	ns
t_s	Storage Time	$V_{CC} = 3.0 \text{ V}, I_C = 10 \text{ mA},$ $I_{B1} = I_{B2} = 1.0 \text{ mA}$		200	ns
t_f	Fall Time			50	ns

c) Diagrama de circuitos

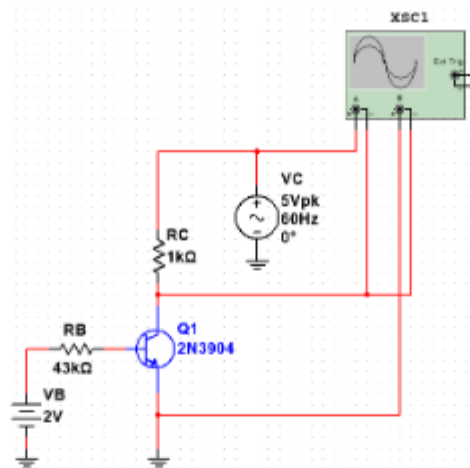


Figura 4 Diagrama de circuito, figura 1.a

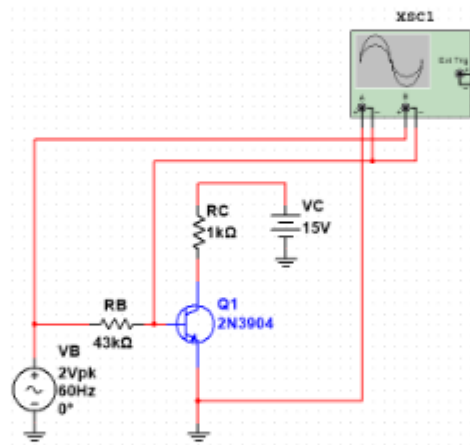


Figura 5 Diagrama de circuito, figura 1.b

d) Mediciones de h_{oe} , h_{fe} , h_{ie}

- Para medir h_{fe} es necesario obtener la curva característica i vs v (circuito 1.a). Se miden los valores I_{CQ} , V_{CEQ} e I_{BQ} en el punto de operación Q. Luego se aumenta la corriente I_B al aumentar el voltaje de la fuente V_{BB} para obtener una nueva curva i vs v . Se escoge un punto en la nueva curva correspondiente al mismo valor de V_{CEQ} y se mide I_C e I_B . La fórmula para determinar h_{fe} es

$$h_{fe} = \frac{I_{C2} - I_{CQ}}{I_{B2} - I_{BQ}}$$

- Para medir h_{oe} es necesario obtener la curva característica i vs v (circuito 1.a). Se miden los valores I_{CQ} y V_{CEQ} en el punto de operación Q. Luego se escoge un punto con mayores valores de I_C y V_{CE} que en el punto Q y se miden dichos valores. La fórmula para determinar h_{oe} es

$$h_{oe} = \frac{V_{CE2} - V_{CEQ}}{I_{C2} - I_{CQ}}$$

- Para medir h_{ie} es necesario obtener la curva característica i vs v (circuito 1.b). Se toma en consideración el punto Q con sus respectivos valores de corriente y voltaje (I_{BQ} y V_{BEQ}). Luego se mide un punto con un mayor voltaje V_{BE} que el obtenido en el punto Q. La fórmula para determinar h_{ie} es

$$h_{ie} = \frac{V_{BE2} - V_{BEQ}}{I_{B2} - I_{BQ}}$$

3.- Análisis del amplificador emisor común

$$V_{CC} = 12V$$

$$R_1 = 30k\Omega$$

$$R_2 = 4,7k\Omega$$

$$R_E = 200\Omega$$

$$R_C = 1k\Omega$$

$$R_L = 1k\Omega$$

$$C_1 = 22\mu F$$

$$C_2 = 470\mu F$$

$$C_{out} = 1\mu F$$

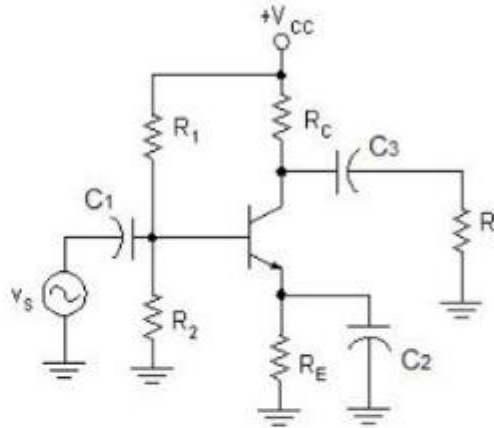


Figura 6 Amplificador emisor común

a) El punto de operación, V_{GSQ} , I_{DQ} y V_{DSQ} .

Malla de entrada

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_E R_E$$

$$V_{TH} = I_B R_{TH} + V_{BE} + I_B (\beta + 1) R_E$$

$$(1) \quad I_B = (V_{TH} - V_{BE}) / (R_{TH} + (\beta + 1) R_E)$$

$$(2) \quad i_B \cong \left(\frac{I_S}{\beta_F} \right) e^{v_{BE}/V_T} \quad \text{Ecuación del dispositivo} \\ \text{Región Activa}$$

Resolver 1 y 2 simultáneamente para el punto Q
Por simplicidad asumir en el punto Q:

$$V_{BEQ} \approx 0.7V$$

$$I_{BQ} = 38.33 \mu A$$

$$I_{CQ} = \beta I_{BQ} = 3.833 \text{ mA}$$

$$I_{EQ} = I_{CQ} + I_{BQ} = 3.871 \text{ mA}$$

Malla de salida

$$V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} + i_E R_E$$

$$V_{CC} = i_C R_C + v_{CE} + \frac{i_C}{\alpha} R_E$$

$$(3) \quad i_C = \frac{V_{CC}}{R_C + \frac{R_E}{\alpha}} + \frac{v_{CE}}{R_C + \frac{R_E}{\alpha}} \quad \text{Recta de Carga}$$

$$(4) \quad i_C \approx 3.833 \text{ mA} \quad \text{Ecuación aproximada del dispositivo} \\ \text{Región Activa}$$

Resolver 3 y 4 simultáneamente para el punto Q

$$(3) \quad v_{CE} = V_{CC} - i_C (R_C + \frac{R_E}{\alpha})$$

$$V_{CEQ} = V_{CC} - I_{CQ} (R_C + \frac{R_E}{\alpha})$$

$$V_{CEQ} = 7.4V$$

b) El cálculo de A_{V0} , A_{I0} , R_i y R_o .

Respuesta del circuito para frecuencias medias

Pequeña señal:

$$g_m = I_{CQ} / V_T$$

$$g_m = 0,1474 \text{ Mho}$$

$$A_V = -g_m R_C$$

$$A_V = 147,4$$

$$A_V = 43,36 \text{ dB}$$

$$A_{VL} = -g_m R_C // R_L$$

$$A_{VL} = 37,34 \text{ dB}$$

$$r_\pi = \beta / g_m$$

$$r_\pi = 678,3 \Omega$$

$$R_B = 4,06 \text{ K}\Omega$$

$$R_{in} = R_B // r_\pi$$

$$R_{in} = 581,2 \Omega$$

$$R_o = r_o // R_C$$

$$R_o \sim R_C$$

$$R_o \sim 1 \text{ K}\Omega$$

$$R_{OL} = r_o // R_C // R_L$$

$$R_{OL} \sim R_C // R_L$$

$$R_{OL} \sim 0,5 \text{ K}\Omega$$

c) El máximo valor vipp del generador para obtener el voltaje de salida sin distorsión.

$$v_{ipp} = 100 \text{ mVp}$$

4.- Diagrama de cableado del amplificador emisor común

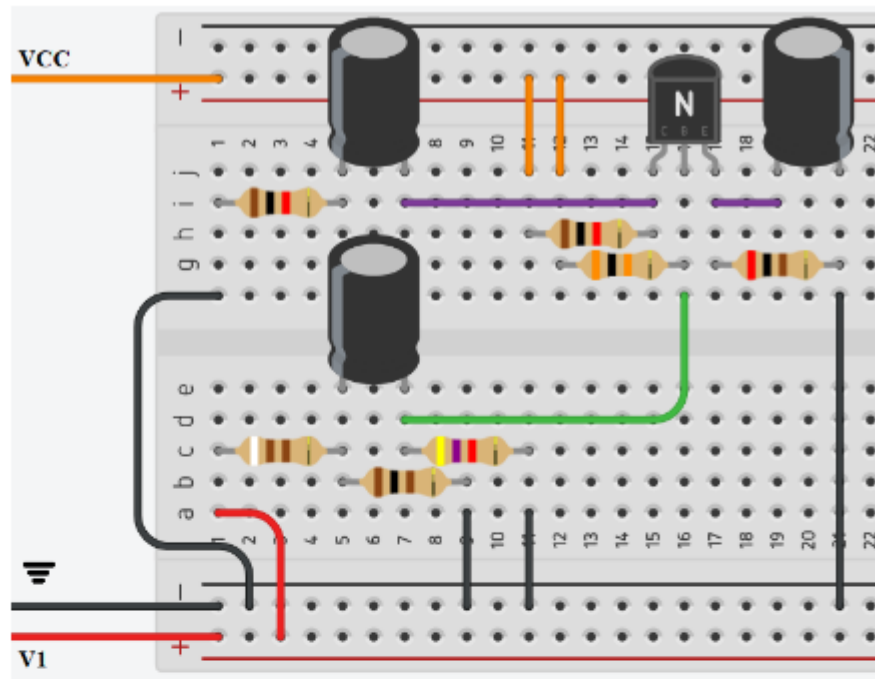


Figura 7 Cableado del amplificador emisor común

5.- Análisis de SPICE, amplificador emisor común

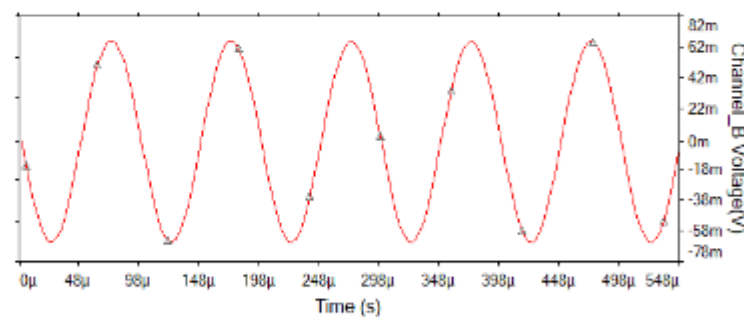


Figura 8 Voltaje de salida con $V_{in}=10\text{mVp}$, $f=10\text{kHz}$

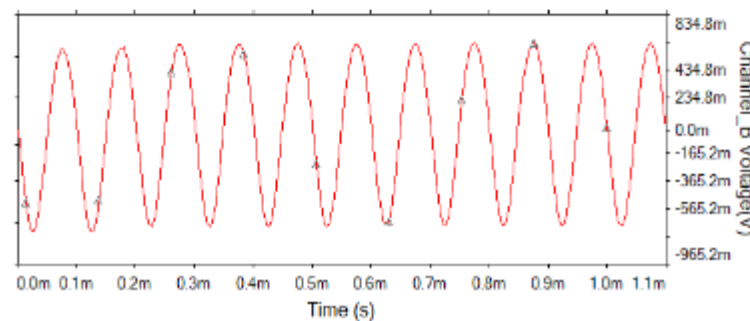


Figura 9 Voltaje de salida con $V_{in}=100\text{mVp}$, $f=10\text{kHz}$

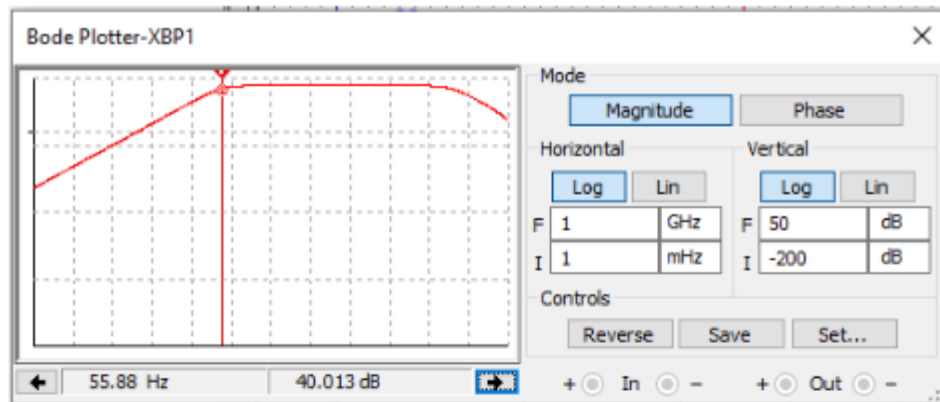


Figura 10 Bode con C1 y C2 sin C3 saliendo por el colector

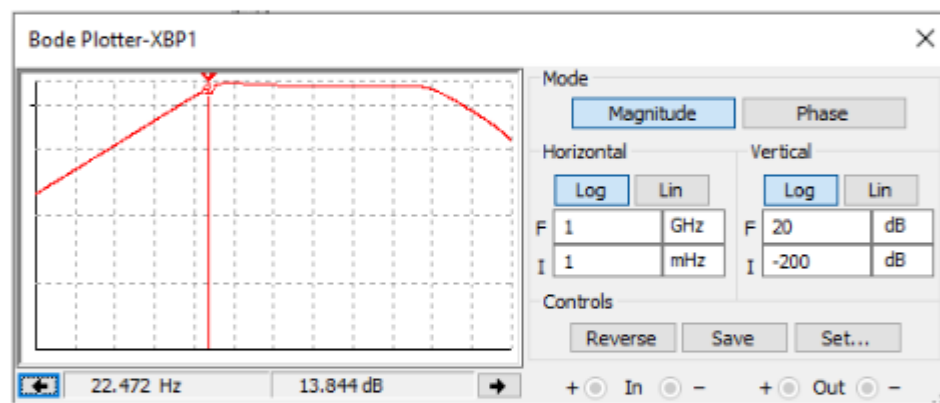


Figura 11 Bode con C1, C2 y C3 saliendo por el colector

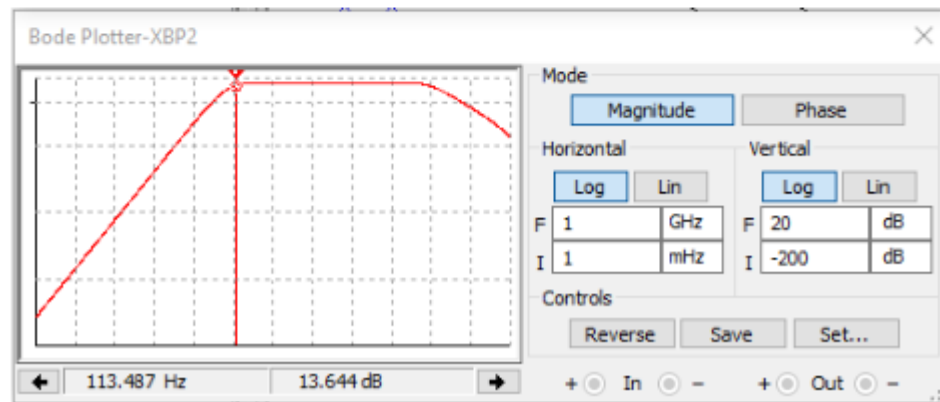


Figura 12 Bode con C1, C2 y C3 saliendo después de C3

6.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente el punto de operación.

7.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente la impedancia de entrada, la impedancia de salida, la ganancia de voltaje y la amplitud máxima de salida sin distorsión cuando al amplificador se le aplica una señal de entrada de 1 kHz.

8.- Indique la forma como va a conectar los instrumentos para medir experimentalmente la amplitud de la ganancia de voltaje en función de la frecuencia y la fase de la ganancia de voltaje en función de la frecuencia (utilizando el método que juzgue más conveniente). Indique el rango de frecuencias sobre el que considera conveniente realizar mediciones para obtener resultados significativos.

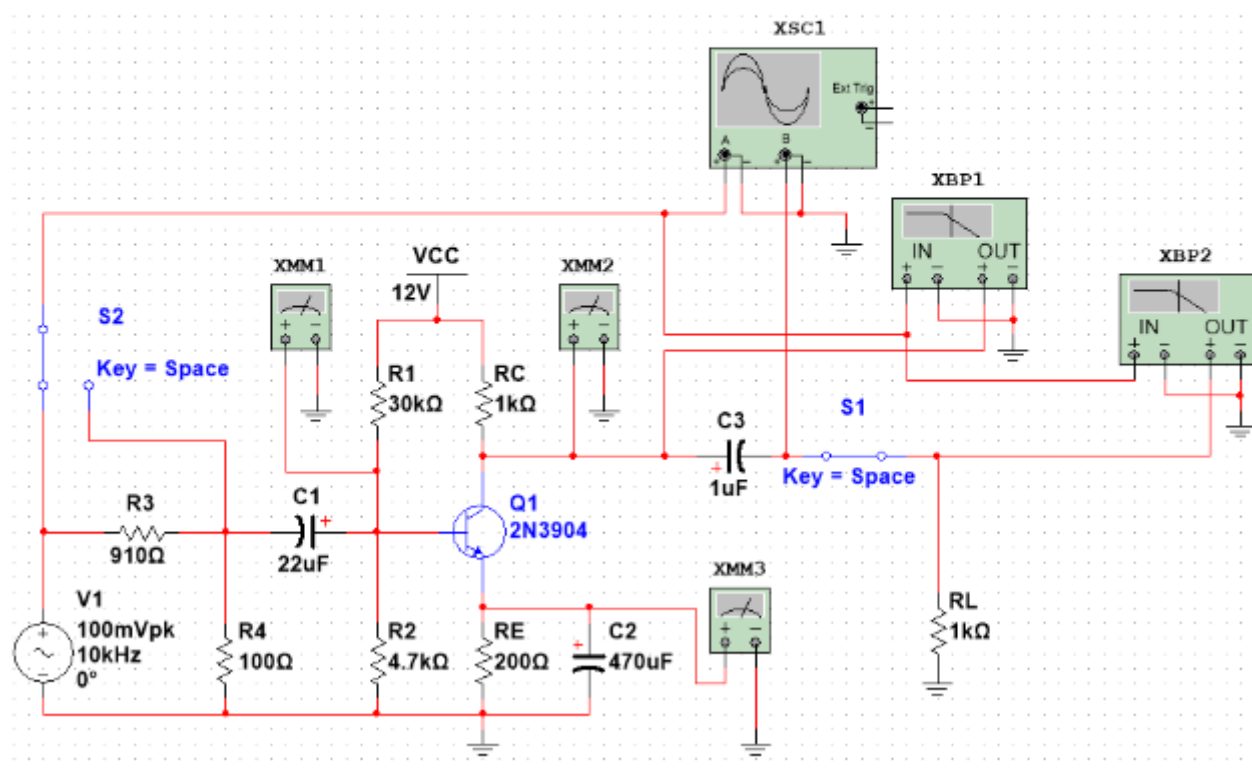


Figura 13 Diagrama de cableado y posición de instrumentos, amplificador emisor común