

PRÁCTICAS DE TECNOLOGÍA DE COMPUTADORES

(CURSO 2017 – 2018)

PRÁCTICA 3 – TRANSISTOR BJT

EL LABORATORIO NO ES UNA CLASE DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS. TAMPOCO SE VA A APRENDER NI COMO, NI A REALIZAR LAS ACTIVIDADES PREVIAS AQUÍ SOLICITADAS. EL POCO TIEMPO DE QUE DISPONE ES PARA VERIFICAR DE FORMA FÍSICA Y REAL DICHAS ACTIVIDADES PREVIAS.

Los cálculos aquí solicitados no son el fin en sí mismos, sino que es el inicio para entender el funcionamiento del circuito por lo que debes insistir en los mismos hasta que comprendas su funcionamiento y utilidad.

*LAS TENSIONES, MEJOR DICHO LAS **FORMAS DE ONDAS** NO SON UN NUMERO, SINO QUE COMO INDICA SU NOMBRE ES UNA ONDA CON UNA DETERMINADA FORMA Y CADA PUNTO SINGULAR TIENE UN VALOR EN AMPLITUD Y TIEMPO.*

OBJETIVOS

- Comprender el funcionamiento y el uso del Transistor BJT.
- Entender las polarizaciones del Transistor BJT.
- Analizar circuitos con transistores BJT.
- Diseño de circuitos con transistores BJT.

ESPECIFICACIONES

Funcionamiento de un transistor BJT, NPN y PNP. Polarización de la base de un transistor BJT. Alimentación de potencia (V_{cc}). Familias de curvas características, de entrada y de salida, zonas de trabajo, saturación y corte de la familia de curvas de salida. Recta de carga y punto de trabajo. Estados de funcionamiento de un transistor BJT. Calcular las intensidades y tensiones en c.c. en un circuito básico con transistor BJT. Diseñar un circuito sencillo con un transistor BJT.

FORMA DE ABORDAR Y REALIZAR CON ÉXITO LA PRESENTE PRÁCTICA.

Cuando completes esta práctica entenderás el funcionamiento, la utilidad, e incluso sabrás diseñar un circuito simple con transistores BJT, y para conseguirlo, tomate tu tiempo, lee hasta entender el contenido de cada apartado, cuando encuentres alguna dificultad repasa lo que sobre cada uno de ellos se te indica a continuación en “Conocimientos teóricos previos”.

Seguidamente resuelve el mismo apartado bajo el epígrafe de “Trabajos previos a la realización de la práctica”, utiliza como ayuda el programa de simulación, observa, anota y comprueba cada cuestión que sobre el circuito se te solicita.

Si es necesario vuelve a leer el contenido recomendado en “Conocimientos teóricos previos”, hasta que comprendas los por menores de la actividad que estás realizando. Si después de dedicarle suficiente tiempo se te siguen presentando alguna duda, trata de resolverla con otros compañeros, o se la plantea al profesor.

Recuerda que no solo debes llevarlo todo anotado (resultados simulados y teóricos) el día del montaje práctico en el laboratorio, sino que además debes tener claro lo que vas a realizar en el laboratorio, lo cual no quiere decir que entiendas absolutamente todo sobre los circuitos objetos de la práctica, es normal que te queden algunas lagunas, que irán desapareciendo conforme vayas experimentando con los componentes reales en el aula de prácticas, bien por ti mismo o con la ayuda del profesor.

CONOCIMIENTOS TEÓRICOS PREVIOS

Antes de abordar las tareas de esta práctica sobre el transistor BJT, repasa los puntos que sobre este componente se te indican a continuación:

- Funcionamiento básico de un transistor BJT.
- Principales curvas características de un transistor BJT.
- Zonas de funcionamiento de un transistor BJT. Activa directa, activa inversa, corte, y saturación.
- Recta de carga y punto de trabajo.
- Formas de polarizar un transistor BJT.
- Cálculo de intensidades de polarización de un BJT.
- Funcionamientos de transistor BJT en emisor común.
- Diseño (cálculo de R_C , R_B , R_1 , y R_2) de un circuito sencillo con BJT.
- Obtener la ganancia de un amplificador con BJT.

Es muy importante que entiendas los puntos antes indicados, ya que en caso contrario no le sacarías el provecho al esfuerzo que estas haciendo.

Si tienes dudas sobre alguno de ellos, repasa los apuntes de clase o visitar las siguientes páginas de Internet: http://www.unicrom.com/Tut_transistor_bipolar.asp, http://www.unicrom.com/Tut_transistor_bipolar_regiones_operativas_configuraciones.asp, http://www.unicrom.com/Tut_emisor_com.asp, http://www.unicrom.com/tut_transistor_como_switch.asp, http://www.unicrom.com/tut_ejemplo_transistor_como_switch.asp, aunque la información mas completa en cuanto a los contenidos que necesitas se encuentran en los capítulos 2º al 13º, el 16º, el 18º y el 19º del tema 6 del curso de electrónica básica recomendado en la plataforma Moodle http://www.sc.ehu.es/sbweb/electronica/elec_basica/tema6/TEMA6.htm.

TRABAJOS PREVIOS A LA REALIZACIÓN DE LA PRÁCTICA

Esta práctica es imposible que puedas realizarla, sin que hagas antes los trabajos previos que aquí te indico, ya que los datos de los valores de los componentes del circuito no se facilitan en la misma, sino que tendrás que calcularlos para que el circuito funcione. Estos valores son los que llevarás al laboratorio el día de la práctica.

Necesitarás unas horas, con los materiales que contengan los conocimientos previos, que estimes necesarios, y un ordenador con el programa de simulación, conectado a Internet. No es posible efectuar estas actividades de prisa y corriendo, un rato antes de entrar en el laboratorio. El tiempo de ejecución de las actividades previas es un tiempo que debes dedicar antes de la realización de la práctica sin considerar los 90 minutos que le dedicas en el laboratorio para su realización práctica.

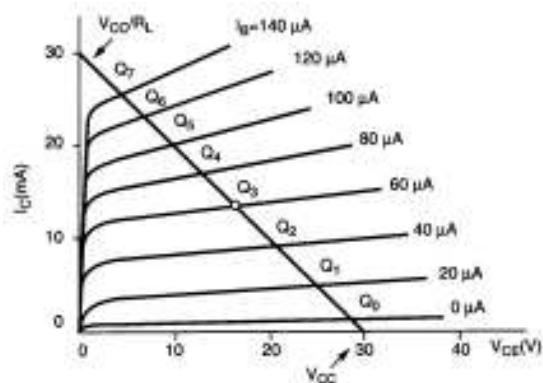
En los problemas sobre BJT efectuados en clase has calculado normalmente el punto de trabajo realizando un análisis de circuitos calculando. En esta práctica vas a realizar un diseño, donde como datos tendrás algunos de los parámetros del punto de trabajo y la tensión de alimentación.

Partiendo del transistor BC547 (familia de transistores BC546-47-48-49-50) cuyas hojas de datos te puedes bajar de la dirección de Internet: <http://www.fairchildsemi.com/pf/BC/BC548.html>, con dicho transistor vas a diseñar un sencillo amplificador circuito en emisor común, como el de la figura superior.

Comienza conociendo los datos de tu circuito: el Dato DNI es el que obtengas de convertir la letra de tu DNI al número que le corresponda de acuerdo con el alfabeto (A=1, B=2, etc.), suma ese número al número de tu compañero y divídelo por dos (si no tienes compañero utiliza solo tu número). Ese dato indica la fila donde indica la VCC y la frecuencia que vas a utilizar en tu circuito. Por ejemplo si tu resultado para Dato DNI es 18; tu $V_{CC}=16V$; y la frecuencia que tendrás que utilizar es de 3KHz.

Dato DNI	VCC	Fr. (Khz.)
< 8	12 V	1
≥ 8 y < 15	14 V	2
≥ 15 y < 22	16 V	3
≥ 22	20 V	4

Para este diseño vamos a utilizar las curvas características de salida del transistor BC547, que son similares a las indicadas a la derecha. Dichas curvas las obtendrás del Multisim (**Método de doble barrido en DC subido Moodle**) los márgenes de los parámetros que se pueden utilizar son VCC de 0V a 20V en incrementos de 0.25V; Ib de 0uA a 100uA en incrementos de 5uA. El eje X se puede dejar en 20V con 20 divisiones e indicaciones cada dos. El eje Y dependerá de la IC_{MAX} que cada uno tenga en su circuito aunque en principio se puede limitar a 20mA, también con 20 divisiones e indicaciones cada dos.



Pasa estas curvas a un papel o a un programa de dibujo para poder trabajar sobre ellas.

Lo primero que vamos a calcular es la IC_{MAX} que cada uno va a tener en su circuito. Esta IC_{MAX} aproximada (el valor exacto dependerá de la RC elegida) se va a limitar al valor que se obtenga de dividir la IC_{MAX} dada por el fabricante en su hoja de datos entre la mitad de la VCC que tenga tu circuito. *Por ejemplo si la IC_{MAX} del fabricante fuese 180mA y tu VCC=20V, tu IC_{MAX} aproximada sería 18mA (180 / 20/2 = 18).*

Con esta IC_{MAX} (30mA en la gráfica superior) servirá para trazar la recta de carga en las curvas que has obtenido del transistor BC547 en el Multisim. No obstante para saber el valor exacto de tu IC_{MAX} debes elegir una RC (RC2 en esquema pag. anterior; RL en la gráfica superior) de un valor normalizado (ver practica n.1) para que pase una corriente IC_{MAX} próxima por defecto a la antes calculada. *Siguiendo con el ejemplo anterior tendríamos un valor para RC de 1K2 y una IC_{MAX} de 16, 67mA (dejo al alumno la verificación de estos valores).*

Ya podemos trazar la recta de carga en nuestras curvas del BC547 obtenidas del Multisim. Ahora elegiremos el punto Q donde queremos que trabaje nuestro transistor. Este punto Q debe de encontrarse en el “centro” de la parte de la recta de carga que se encuentra dentro de la zona activa (limitada por **Saturación**, última curva superior de Ib que corta, y **Corte**, última curva inferior de Ib que corte), en realidad no es el centro geométrico, ya que en teoría su proyección sobre los ejes debería coincidir con la mitad de VCC, la mitad de IC_{MAX}, y situarse sobre una curva de Ib que tuviese el mismo número de curvas de Ib por encima y por debajo, y que fuesen equidistantes todas ellas. Casi imposible que se cumplan todas estas condiciones.

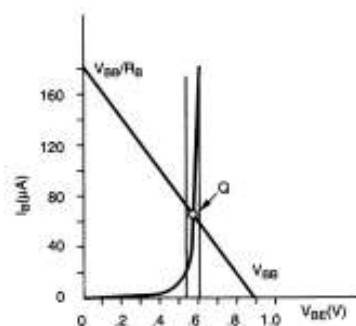
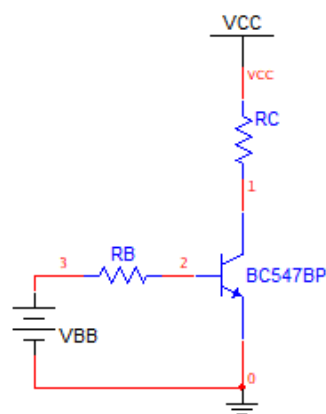
En la familia de curvas superiores de todos los posibles puntos Q (Q₀ a Q₇) se podría elegir entre Q₃ y Q₄, en la gráfica está elegido el punto Q₃ indicado con un circulo en la intersección la recta de carga con la IBQ de 60uA. Este punto proyecta sobre el eje X nos dará VCEQ, y sobre el eje Y, ICQ, (ver gráfica situada en la parte inferior derecha de la página siguiente).

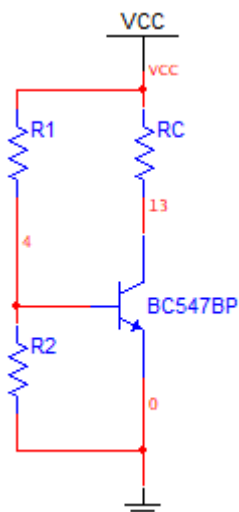
Una vez elegidos el punto Q y la IBQ, tenemos que poner a funcionar al transistor en ese punto Q. Del circuito de la derecha ya disponemos del valor de VCC y de RC.

Para que por la malla 0-3-2-0 pase la IBQ, deberemos conocer la tensión VBEQ para esa corriente IBQ, a partir de las características de entrada del transistor BC547 obtenidas en Multisim y pasadas a un papel o a un programa de dibujo para poder trabajar sobre ellas. (Método de barrido en DC subido Moodle), similares a la indicada debajo del circuito, que siguiendo con el ejemplo de las familias gráficas de la parte superior de esta página, para la IBQ de 60uA del ejemplo, nos proporciona la gráfica una VBEQ de algo menos de 0,6V. Ahora podemos calcular RB analíticamente en la mencionada malla 0-3-2-0, aunque en el ejemplo VBB=0,9V, le daremos para los cálculos un valor de 3V.

Calculada RB simularemos el circuito en Multisim, midiendo IBQ y VBEQ, y reajustando los cálculos, si estos valores, sobre todo el último (que interviene en los cálculos) se desvían de los buscados.

Verificar igualmente la ICQ y la VCEQ y calcular la ganancia en corriente continua βFQ (mas adelante comprobaremos que βF es un factor que depende de otros parámetros)





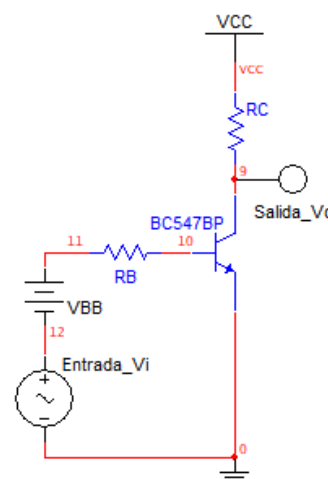
Normalmente se utiliza una sola fuente VCC y la polarización de la base obtiene mediante un divisor de tensión formado por R1 y R2, como se muestra a la izquierda.

Para el cálculo de R1 y R2, se utiliza los siguientes criterios; La tensión de V_{BEQ} debe ser exactamente igual a la del circuito anterior (con VBB y VCC), y la intensidad de R2 debe ser 10 veces mayor que I_{BQ} .

Calculadas R1 y R2 verifica en Multisim todos los parámetros (V_{BEQ} , I_{BQ} , I_{CQ} , V_{CEQ}), y si hay desviaciones, haz los ajustes necesarios (recalculando R1 y R2).

Con las características de salida y la recta de carga impresa sobre un papel, o programa de dibujo para poder trabajar sobre ellas, como la indicada en la parte inferior derecha de esta página.

Vamos a calcular (circuito de la derecha) la señal senoidal de Entrada_Vi (que se sumará algebraicamente con VBB), de la frecuencia obtenida en la tabla de la página 1. Esta señal en su Vp del semiciclo positivo ($VBB + \text{Entrada_Vi-p}$) debe desplace el punto Q dos curvas I_b por encima de I_{BQ} , y en su Vp del semiciclo negativo ($VBB - \text{Entrada_Vi-p}$) dos curvas I_b por debajo de I_{BQ} , (en el ejemplo de la gráfica inferior derecha con el punto Q situado en $I_{BQ} = 60\mu A$, sube a Q' $I_B = 80\mu A$, y baja a Q'' $I_B = 40\mu A$). Si en tu diseño fuese la $I_{BQ} = 20\mu A$ en el semiciclo positivo debe subir a $30\mu A$ (cada curva I_B se incrementa en $5\mu A$) y en el negativo debe bajar a $10\mu A$.

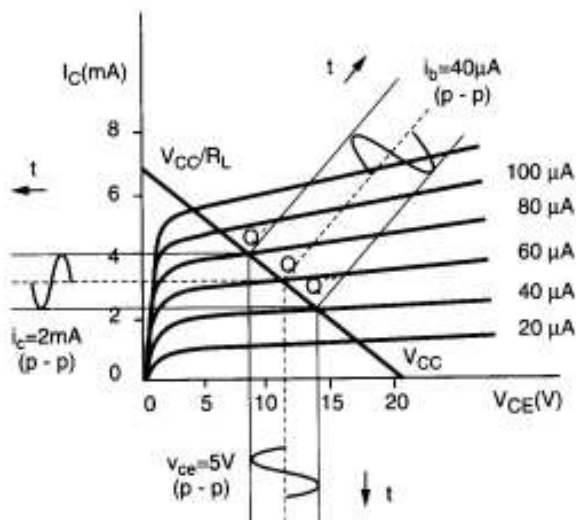
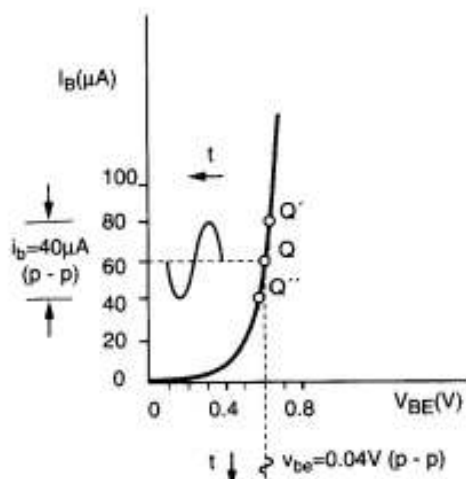


Estas variaciones en la corriente de base I_{BQ} proyectadas sobre el eje Y provoca unas variaciones de intensidad en la I_{CQ} , la relación entre ambas variaciones es la ganancia en intensidad A_I .

Las variaciones de I_B del párrafo anterior, al proyectarse sobre el eje X producen también variaciones en la tensión V_{CE} . La relación entre estas variaciones de tensión de V_{CE} y las variaciones en la tensión de la Entrada_Vi, que han generado las citadas variaciones de I_B , nos dará la ganancia en tensión A_V . El producto de ambas ganancias es la ganancia en potencia A_P .

Para aclarar lo anterior, veamos el ejemplo de las gráficas inferiores. En las curvas de salida de la derecha vemos que un incremento en la i_b de $40\mu A$ -p ($i_b = 80\mu A - i_b = 40\mu A$) provoca un incremento en la i_c de aproximadamente 2mA -p ($4,1\text{mA} - 2,2\text{mA}$, aprox.). La ganancia en intensidad A_I será la relación entre ambas variaciones.

Esta variación de $40\mu A$ -p en la i_b también provoca cambios en la V_{ce} de 5V -p ($13,5\text{V} - 8,5\text{V}$, aprox.), y a su vez estos $40\mu A$ -p en la i_b son consecuencia de que la señal senoidal de entrada vi, modifica a la vbe en $0,04\text{V}$ -p (curva de entrada de la izquierda). La ganancia en tensión A_V será la relación entre los 5V -p en V_{ce} , y los $0,04\text{V}$ -p de la vbe.



Dibuja la señal de Entrada V_i de tu circuito sobre la perpendicular de la recta de carga de tus curvas de salida, con origen en el punto Q (como muestra la figura de la derecha de la página anterior), y proyéctala sobre los ejes X e Y para obtener las variaciones que se producen en sus magnitudes, y calcula seguidamente las ganancias en intensidad A_I , tensión A_V y potencia A_P .

Verifiquemos ahora todo lo anterior en el simulador comparando en el osciloscopio del simulador (con sus entradas en AC) la señal en el nodo 12 Entrada V_i , en un canal con la señal del nodo 9 Salida V_o en otro canal. Mide la ganancia en tensión A_V y el desfase entre ambas ondas.

Para comprobar la ganancia en intensidad A_I puedes utilizar en el Multisim el mismo convertidor intensidad-tensión utilizado para el trazado de curvas, colocando uno en el circuito de entrada en serie con Entrada V_i , y otro en serie con RC conectando el – de cada uno de ellos a tierra, nodo 0, y el + a sendas entradas del osciloscopio. También puedes medir la c.d.t. en una resistencia de 1 ohmio conectadas en serie en los mismos sitios donde se han instalado los convertidores intensidad-tensión (tal y como tendrás que hacer en el Laboratorio). Mide la ganancia en tensión A_I y el desfase entre ambas ondas.

Compara las ganancias en tensión A_V , intensidad A_I , y en potencia A_P obtenidas con los datos del simulador con la que has calculado a partir de los datos de las gráficas.

MATERIAL DISPONIBLE

Entrenador de prácticas.
Fuente de alimentación.
Generador de señales.
Osciloscopio.
Transistor BJT, y resistencias de diversos valores.

PROCESO OPERATIVO. CIRCUITO EMISOR COMÚN CON BJT.

Una vez resuelto todos los puntos indicados en todos los apartados de Trabajos Previos, en especial la resolución gráfica del circuito, y comprobados los resultados con el programa de simulación. Se traerán al laboratorio junto con el esquema y los valores de los componentes obtenidos (La resolución gráfica y el esquema con sus componentes, debe a todas luces, estar resuelto con anterioridad al montaje de circuito, y deben llevarse al laboratorio el día de la práctica).

Se procederá a la verificación del circuito de la página 3 para comprobar que está trabajando en el punto Q, (V_{BEQ} , I_{BQ} , I_{CQ} , y V_{CEQ}) es bastante probable que dado que el β_F del transistor físico del Laboratorio no coincide con el de la simulación, estos parámetros no coincidan, por lo que será efectuar los ajustes necesarios empezando por el primero V_{BEQ} , ya que de él dependen los demás.

No desmontes el circuito vamos a añadirle ahora la Entrada V_i colocándola en serie con VBB mediante un cable brindado conectado al generador (el que está debajo del osciloscopio) y verificaremos de forma práctica las ganancias en tensión A_V , intensidad A_I , potencia A_P , así como los desfases entre las señales de entrada y de salida.

Por último procede al montaje y verificación del circuito con R1 y R2 de la página 4, y sigue siendo bastante probable que tengas que recalcular R1 y R2 como consecuencia de lo indicado en el segundo párrafo de este apartado.

Escuchar las explicaciones que el profesor te dé sobre los párrafos anteriores.

ACTIVIDADES DE AMPLIACIÓN (OPTATIVAS).

Aquellos alumnos que tengan inquietudes, y ganas de obtener una mejor calificación, pueden realizar las actividades de ampliación de la práctica, que crean oportuna, previa consulta al profesor, o efectuar algunas de las que a continuación se proponen:

El valor de β_F para el BC547 varía desde 110 a 880 según indica las tablas:

h_{FE}	DC current gain	$I_C = 2 \text{ mA}; V_{CE} = 5 \text{ V}$		
	BC546		110	450
	BC547		110	800
	BC548		110	800

Y para una determinada V_{CE} también tiene variaciones, según gráfico:

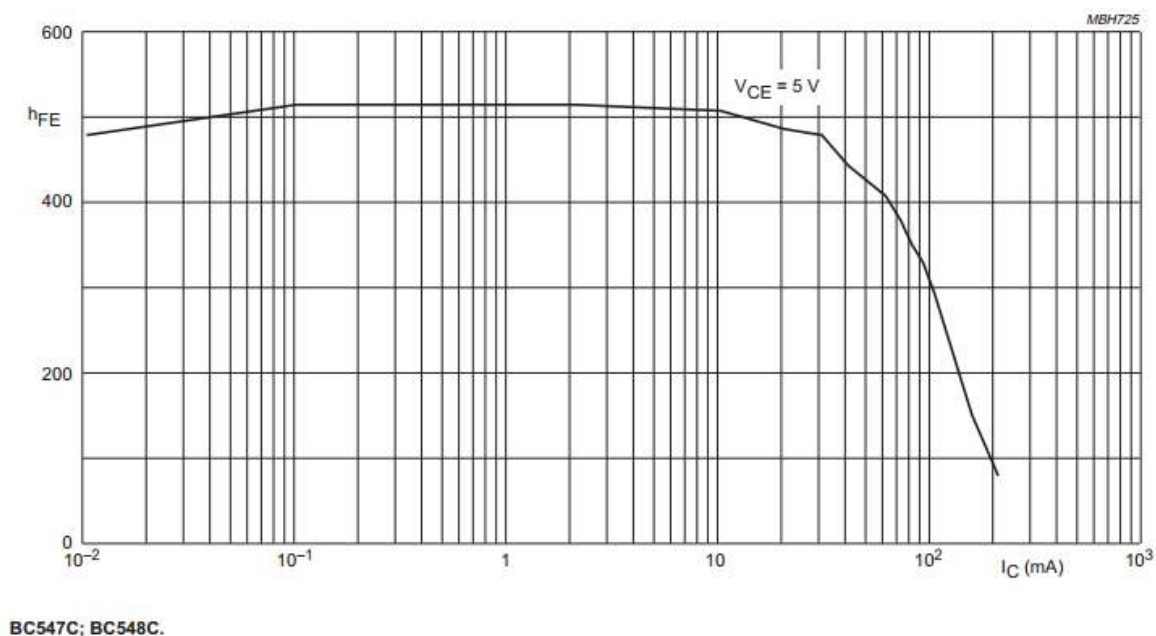


Fig.4 DC current gain; typical values.

Toma las curvas características de salida que has obtenido con el doble barrido, y calcula el β_F para cada uno de los pares de valores I_B - I_C trazando una vertical sobre V_{CE} , y saca con ayuda de una hoja de excel el β_F medio de todos ellos, para los valores $V_{CE}=5V$, $V_{CE}=10V$, y $V_{CE}=15V$.

Por si no se te ha ocurrido.....

Saber entre que limites de frecuencias inferior y superior funciona el amplificador que has diseñado (Banda Pasante. Desde la frecuencia inferior en la que la ganancia es la mitad de la máxima, hasta la frecuencia superior en la que la ganancia vuelve a ser la mitad de la máxima).

Por si no se te ha ocurrido.....

Que la Banda Pasante la puedes obtener en el programa de simulación mediante un análisis en c.a.

RESEÑA HISTÓRICA



El transistor bipolar fue inventado en 1948 por John Bardeen (1908-1991), Walter H. Brattain (1902-1987), y William Shockley (1919-1989). Los tres físicos estadounidenses coincidieron en 1929 en la compañía telefónica Bell, inventaron un pequeño dispositivo denominado transistor. El dispositivo, aunque se dio a conocer en 1948, no se terminó hasta 1952, utilizándose inicialmente en aparatos de radios portátiles, audífonos y otros aparatos electrónicos de reducido tamaño. Como premio a su labor en el campo de los semiconductores, los tres recibieron el Premio Nobel de física en 1956.

Los inventores del transistor y su primer prototipo

