

Práctica 3. Transistor Bipolar.

Documentación.

La **documentación** debe ser impresa y llevada el día que se asista al laboratorio. Esta documentación debe conservarse como material de la asignatura para el alumno y en ella se deben anotar las soluciones obtenidas (además de anotarlas en **las hojas de entrega previas y finales de práctica**) para que el alumno tenga una copia de los resultados obtenidos.

Primera parte de la práctica

Consiste en el análisis del circuito mediante **simulación con el programa LTSpice**. Los resultados se recogerán en las hojas de entrega previas, las cuales se entregarán en el momento de acceder al laboratorio el día que esté señalado como corrección de esta práctica. Además, **deben subirse al campus virtual los ficheros de las simulaciones**, para ello se debe crear un directorio separado para cada nueva simulación, y todos estos directorios se comprimirán en un único archivo .ZIP que se subirá al Campus Virtual antes de entrar al laboratorio.

Segunda parte de la práctica

Consiste en el **montaje experimental** del circuito. **Se realizará obligatoriamente en el laboratorio** y en el horario asignado a la práctica, si bien será necesario acudir previamente al laboratorio para ir practicando los montajes y recopilando resultados para que, el día de la corrección de la práctica, el montaje se haga de manera inmediata ya que estará practicado suficientemente por el alumno.

En el laboratorio se obtendrán las capturas de pantalla del osciloscopio que se han ido indicando en cada apartado. Como se ha indicado estas imágenes se habrán almacenado en el PenDrive insertado en el conector USB del Osciloscopio.

Estas imágenes deben renombrarse con el nombre CAPTURA_1, CAPTURA_2, CAPTURA_3, CAPTURA_4, CAPTURA_5 respectivamente tal como se indica en cada apartado.

Finalmente se comprimirán todas ellas en un único fichero que será subido al Campus Virtual al final de la sesión de laboratorio.

Página intencionalmente en blanco

Parte 1. Simulación con LTSpice.

Material Necesario

- Ordenador Personal
- Simulador LTSpice

Objetivos

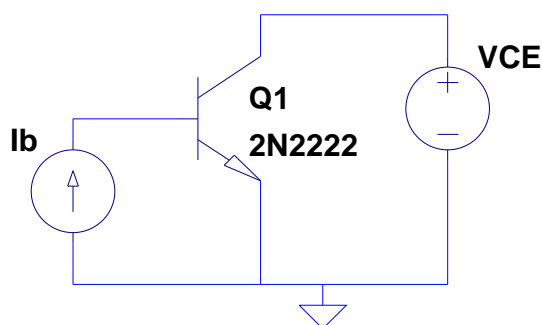
- Obtener las gráficas de las curvas características de un transistor bipolar
- Conocer el manejo del simulador LTSpice para realizar análisis en continua (".DC") y transitorios (".TRAN"), aplicado en circuitos con transistores bipolares
- Caracterizar el inversor RTL: parámetros estáticos (característica de transferencia) y dinámicos (tiempos de subida y bajada, tiempos de propagación)

1.1. Estudio de las curvas características de un transistor bipolar.

En este apartado vamos a tratar de caracterizar el comportamiento de un transistor bipolar. Para ello obtendremos, mediante simulación, su curva de funcionamiento. Así, usando el simulador LTSpice, obtendremos las curvas características del transistor 2N2222, representando la intensidad de colector I_C (medida en mA) frente a la caída de tensión colector-emisor, V_{CE} (medida en V) para distintos valores de la intensidad de base I_B (medida en mA). El tipo de análisis necesario es del tipo ".DC" donde variaremos las dos fuentes de alimentación presentes en el siguiente circuito, V_{CE} e I_B , en el siguiente orden:

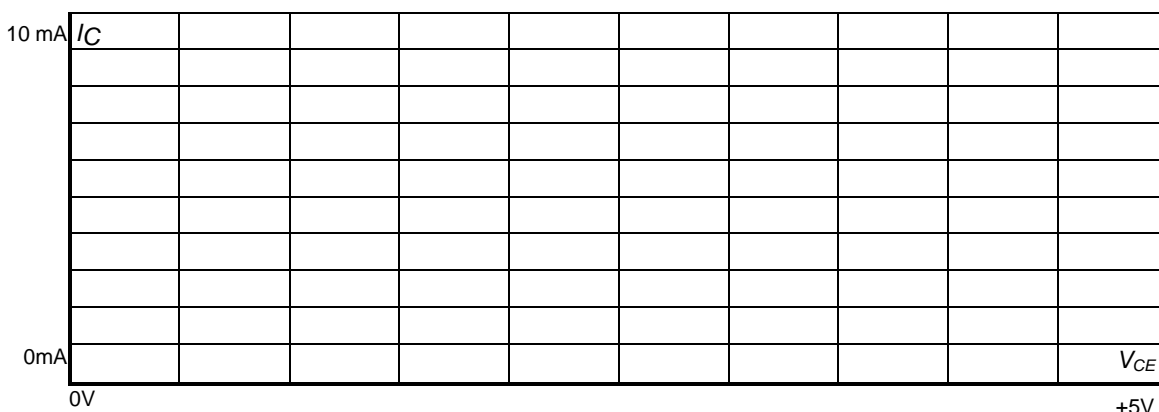
1ª fuente ("1st Source") La fuente VCE: Tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 0.01 V

2ª fuente ("2nd Source") La fuente IB: Tomará valores entre 0 y 50 μA , con un incremento de 10 μA



Para utilizar el modelo de transistor adecuado, pondremos en el circuito de LTSpice el elemento de la librería llamado "NPN", pincharemos con el botón derecho del ratón sobre su símbolo, y seleccionaremos la opción "Pick New Transistor", apareciendo una lista de modelos disponibles de la cual escogeremos el 2N2222.

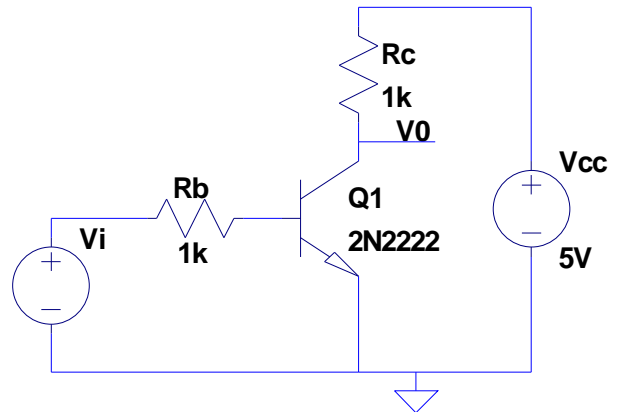
1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de colector I_C frente a V_{CE} :



1.2. Estudio de un inversor RTL.

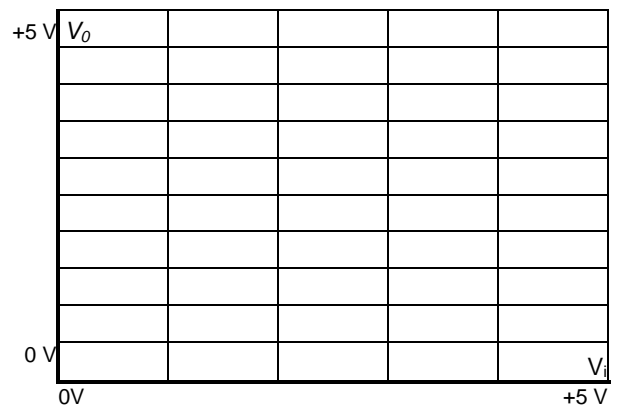
La siguiente figura nos muestra un inversor RTL. Utilizando el simulador LTSpice obtendremos las siguientes gráficas y calcularemos una serie de parámetros a partir de las mismas:

- Característica de Transferencia (V_o en función de V_i). Cálculo de Parámetros Estáticos.
- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida V_o , cuando se introduce en V_i una señal triangular.
- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida V_o , cuando se introduce en V_i una señal cuadrada. Cálculo de parámetros Dinámicos (tiempos de subida, bajada y propagación).



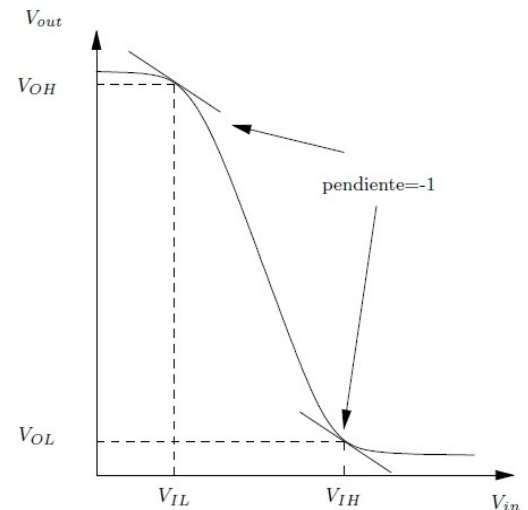
1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor RTL.

El objetivo es obtener la señal de salida V_o en función de la entrada V_i . Para ello se debe realizar un análisis en continua (análisis “.DC”), efectuando un barrido sobre la señal V_i de entrada entre 0V y 5V. Utilizar un incremento de 0.01V por ejemplo.



A partir de la simulación anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor -1 . Podemos localizar estos puntos fácilmente con LTSpice si representamos la derivada de la misma, usando el menú “Plot Settings → Add Trace” y en la casilla “Expression to add” tecleamos “d(V(NNNN))”, donde “NNNN” es el nodo en el que está medida la salida V_o y que podemos ver en la parte superior de la gráfica ya representada de V_o (por ejemplo, si “NNNN” fuera el nodo “n002”, la expresión de la derivada quedaría “d(V(n002))”). Finalmente, localizamos con los cursores el primer punto donde esta nueva curva toma el valor -1 en el eje vertical, y en ese instante nos cambiamos a la gráfica de la V_o de salida obteniendo de la misma nuestro primer par de valores (V_{IL} y V_{OH} si se trata del punto más a la izquierda, o V_{IH} y V_{OL} si es el de más a la derecha). Repetimos el proceso para el otro punto y completamos la siguiente tabla:

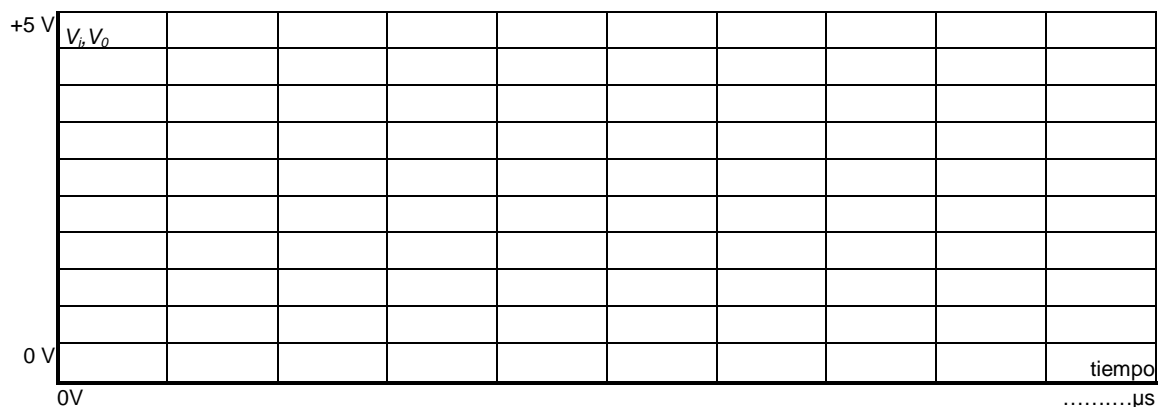
| |
|------------|
| $V_{IL} =$ |
| $V_{IH} =$ |
| $V_{OL} =$ |
| $V_{OH} =$ |
| $NM_L =$ |
| $NM_H =$ |



Nota: NM_L y NM_H son los márgenes de ruido a nivel bajo y alto, respectivamente.

1.2.2. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal triangular.

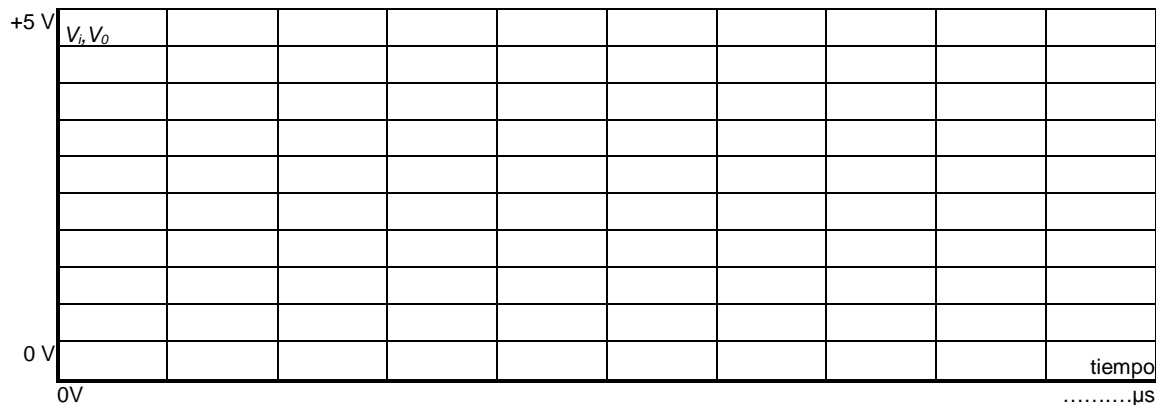
La respuesta temporal de un circuito a una señal de entrada que depende del tiempo se obtiene mediante un análisis ".TRAN". En nuestro caso, V_i será una señal triangular de 1 KHz de frecuencia que oscila entre los 0 V (valor mínimo) y 5 V (valor máximo), y mediremos en V_o la respuesta del inversor RTL. Calcular el "Stop Time" adecuado para la simulación ".TRAN" de forma que se aprecien 4 ciclos completos de la señal de entrada V_i , y anotarlo en la parte inferior derecha de la gráfica. Nota: Recordar de la Práctica 1 cómo se introduce una señal triangular en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



1.2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal cuadrada.

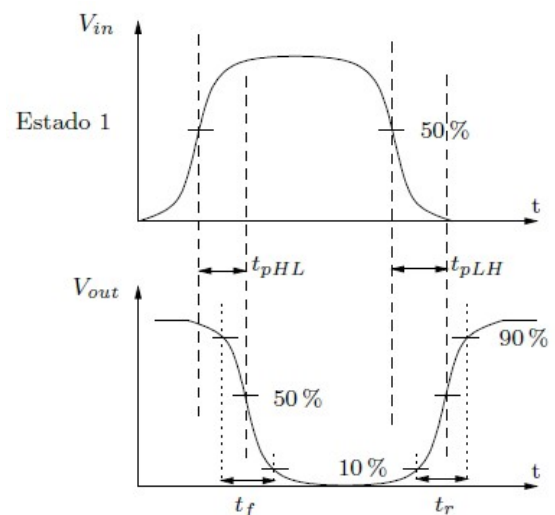
Este apartado será muy parecido al anterior, si bien nuestro objetivo será calcular los parámetros dinámicos del inversor RTL (tiempos de subida, bajada y propagación).

En este caso, la señal de entrada V_i será una señal cuadrada de **100 KHz de frecuencia** que oscila entre los 0 V (valor mínimo) y 5 V (valor máximo), con tiempos de subida y bajada (T_{rise} y T_{fall}) de 50 ns, y mediremos en V_o la respuesta del inversor RTL. Calcular el "Stop Time" adecuado para la simulación ".TRAN" de forma que se aprecien 2 ciclos completos de la señal de entrada V_i , y anotarlo en la parte inferior derecha de la gráfica. Nota: Recordar de la Práctica 1 cómo se introduce una señal cuadrada en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



Utilizando esta gráfica y los cursores del simulador LTSpice, podemos calcular los tiempos de propagación del inversor RTL (t_{pHL} , t_{pLH} y t_{PD} , tiempo de propagación medio), así como los tiempos de bajada y subida de la señal de salida V_o (t_f y t_r) tal y como se muestra en la figura:

| |
|-------------|
| $t_{pHL} =$ |
| $t_{pLH} =$ |
| $t_{pD} =$ |
| $t_f =$ |
| $t_r =$ |



1.3. Subir la simulación de la práctica 3 al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado "Practica3", en cuyo interior se encontrarán los circuitos que ya se han simulado y que se llamarán como cada uno de los apartados. Los pasos que se seguirán para cada uno de ellos serán los siguientes:

- Ejecutar el LTSpice
- Abrir uno de los ficheros de los circuitos a simular
- Ejecutar la simulación de dicho circuito
- Obtener las gráficas de salida que se pidan en el apartado correspondiente
- Guardar estas gráficas con la opción "*File → Save Plot Settings*", generándose un fichero con extensión .PLT para este apartado de la práctica
- Repetir el proceso con el resto de archivos .ASC (uno diferente por cada apartado)

Los ficheros que habrá generado el LTSpice tendrán el mismo nombre que se le haya dado al archivo .ASC, pero con extensión .LOG, .RAW y .PLT. Todo el contenido del directorio se archivará finalmente en un fichero ZIP ó RAR, subiéndolo a la tarea creada para tal caso en el Campus Virtual.

Apartados a simular: 1.1.1, 1.2.1, 1.2.2 y 1.2.3.

Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores Bipolares.

Material Necesario

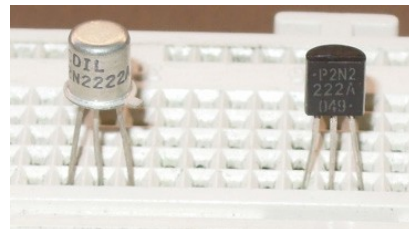
- Fuente de Alimentación
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Material de la caja del puesto: Protoboard, cables, etc.
- 1 Transistor Bipolar NPN 2N2222
- 2 Resistencias de $1\text{ K}\Omega$

Objetivos

- Caracterizar el inversor RTL: parámetros estáticos (característica de transferencia) y dinámicos (tiempos de subida y bajada, tiempos de propagación)

2.1. Transistor Bipolar NPN 2N2222.

El transistor 2N2222 que se muestra a la derecha es un transistor bipolar NPN, el cual nos lo podemos encontrar en el laboratorio con dos tipos de encapsulados distintos:



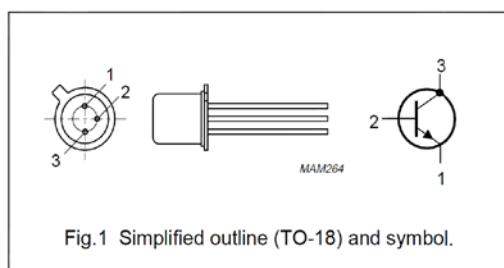
- TO-18. El encapsulado es plateado, redondo, y corresponde con el de la izquierda de la foto.
- TO-92. El encapsulado es negro y más aplastado, y corresponde con el de la derecha de la foto.

A la hora de realizar un montaje con este transistor es importante distinguir de cuál de los dos se trata, ya que las patillas no van en el mismo orden en ambos transistores.

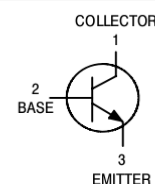
TO-18



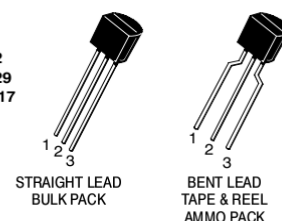
| PIN | DESCRIPTION |
|-----|------------------------------|
| 1 | emitter |
| 2 | base |
| 3 | collector, connected to case |



TO-92



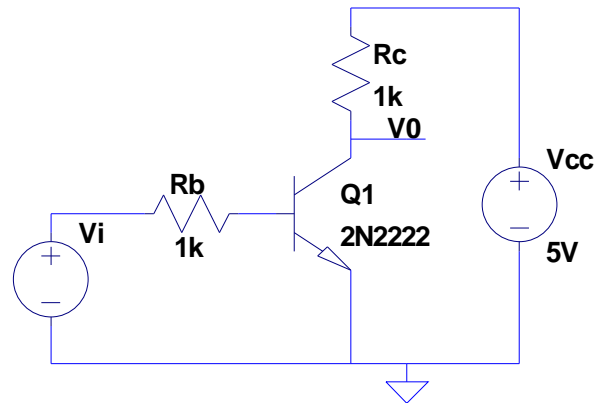
TO-92
CASE 29
STYLE 17



2.2. Característica de Transferencia de un inversor RTL.

En este apartado se pretende obtener en la pantalla del osciloscopio la característica de transferencia del inversor RTL. Para ello se debe montar en la protoboard el circuito indicado utilizando el transistor 2N2222.

En V_i introduciremos una onda triangular de 1 KHz de frecuencia, comprendida entre 0V (valor mínimo) y 5V (valor máximo) utilizando el generador de funciones (será preciso introducir OFFSET en la señal).



- Seleccionar para el canal1 y el canal2 las medidas: Vpico-pico Min. Max. y representar simultáneamente las señales V_i y V_o en función del tiempo y realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_1**).
- Quitar todas las medidas de ambos canales.
Utilizando los botones Position del menú vertical de ambos canales, situar el valor 0V de ambos canales en el inferior de la pantalla.
Utilizando los botones Scale del menú vertical de ambos canales seleccionar 200mv por división en el canal1 y 1 voltio por división en el canal2.
Representar en el osciloscopio la gráfica de V_o (eje Y) frente a V_i (eje X), es decir, en modo X-Y, (será la característica de transferencia) y realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_2**).

A partir de la característica de transferencia anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor -1 , si bien en la pantalla del osciloscopio no podremos saber exactamente dónde se encuentran los mismos, por lo que habrá que aproximar esos valores.

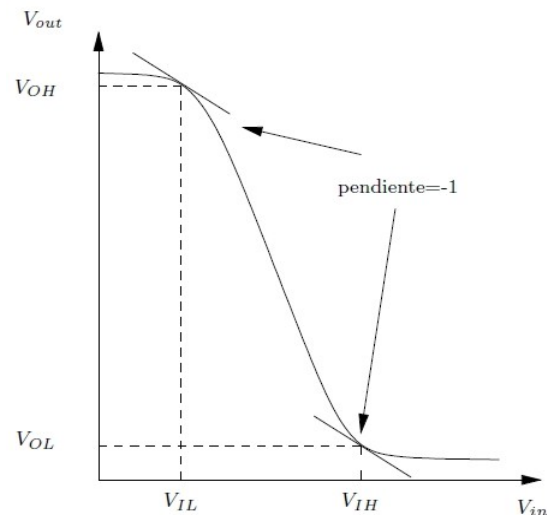
Como en el canal1 tenemos 200mv/división los valores horizontales tienen ese escalado.

Como en el canal2 tenemos 1v/división los valores verticales tienen ese escalado.

Anotad en la tabla **Medida 1** los valores hallados.

Medida 1: Parámetros Estáticos

| |
|------------|
| $V_{IL} =$ |
| $V_{IH} =$ |
| $V_{OL} =$ |
| $V_{OH} =$ |
| $NM_L =$ |
| $NM_H =$ |



Nota: NM_L y NM_H son los márgenes de ruido a nivel bajo y alto, respectivamente.

Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

.....

2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal cuadrada.

El objetivo de este apartado será obtener los parámetros dinámicos de un inversor RTL, es decir, tiempos de propagación (t_{pHL} , t_{pLH} y t_{PD} , siendo este último el tiempo de propagación medio), así como los tiempos de bajada y subida de la señal de salida V_o (t_f y t_r). Para ello introduciremos en V_i una onda cuadrada de 100 KHz de frecuencia, comprendida entre 0V (valor mínimo) y 5V (valor máximo) utilizando el generador de funciones.

Tal y como se ha hecho en el apartado anterior, se representarán las señales V_i (canal1) y V_o (canal2) simultáneamente en función del tiempo.

Seleccionar para el canal1 y el canal2 las medidas: Vpico-pico T.subida y T.bajada.

Representar dichas gráficas de forma que haya al menos un flanco de subida y otro de bajada en la señal de salida. Realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_3**).

Los valores de t_f y t_r de V_o los obtenemos directamente de las medidas dadas por el osciloscopio.

Los valores t_{pHL} y t_{pLH} los obtenemos usando los cursores.

Para medir t_{pHL} haremos zoom con el mando Scale del control Horizontal hasta ampliar el máximo posible la subida de V_i y la bajada de V_o . Deberemos usar también el mando Position del control Horizontal para desplazar a derecha o izquierda la zona de interés.

Para determinar el valor pulsamos el botón Cursor y seleccionaremos en el menú: Tipo Tiempo, Fuente CH1 y usando el mando Multipurpose lo colocaremos en el 50% de la subida de V_i .

Cambiamos el Cursor 2 a Fuente CH2 y de nuevo con el mando Multipurpose lo colocaremos en el 50% de la bajada de V_o . En el Δ del tiempo tendremos la diferencia entre ambos cursores. Realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_4**).

Para medir t_{pLH} procederemos de forma análoga a lo anterior pero ahora haremos zoom con el mando Scale del control Horizontal hasta ampliar el máximo posible la bajada de V_i y la subida de V_o . Deberemos usar también el mando Position del control Horizontal para desplazar a derecha o izquierda la zona de interés.

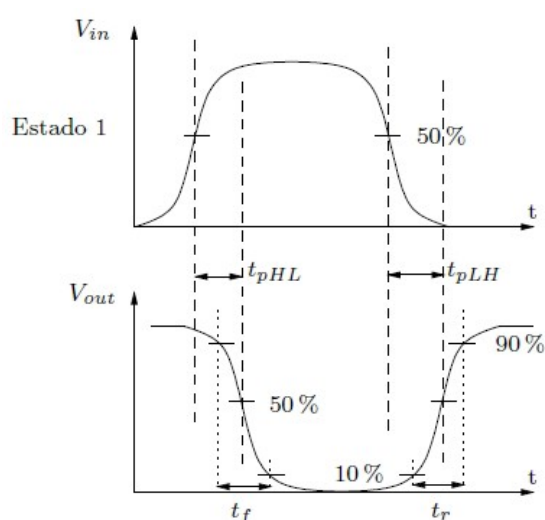
Para determinar el valor pulsamos el botón Cursor y seleccionaremos en el menú: Tipo Tiempo, Fuente CH1 y usando el mando Multipurpose lo colocaremos en el 50% de la bajada de V_i .

Cambiamos el Cursor 2 a Fuente CH2 y de nuevo con el mando Multipurpose lo colocaremos en el 50% de la subida de V_o . En el Δ del tiempo tendremos la diferencia entre ambos cursores. Realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_5**).

Anotad en la tabla **Medida 2** los tiempos medidos.

Medida 2: Parámetros Dinámicos

| |
|-------------|
| t_{pHL} = |
| t_{pLH} = |
| t_{pD} = |
| t_f = |
| t_r = |



Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

.....

Resumen de Toma de Resultados en el laboratorio.

Las **hojas de entrega final de práctica** deben ser impresas y llevadas el día de la práctica al laboratorio. Una vez en el laboratorio se rellenarán con sus soluciones y se entregarán al profesor al final de la sesión del laboratorio.

En el laboratorio se obtendrán las capturas de pantalla del osciloscopio que se han ido indicando en cada apartado. Como se ha indicado estas imágenes se habrán almacenado en el PenDrive insertado en el conector USB del Osciloscopio.

Estas imágenes deben renombrarse con el nombre CAPTURA_1, CAPTURA_2, CAPTURA_3, CAPTURA_4, CAPTURA_5 respectivamente tal como se indica en cada apartado.

Finalmente se comprimirán todas ellas en un único fichero que será subido al Campus Virtual al final de la sesión de laboratorio.

Este es el resumen de capturas, por apartados:

Característica de Transferencia de un inversor RTL

- V_i y V_o en función del tiempo. (**CAPTURA_1**)
- Modo X-Y: V_o en función de V_i . (**CAPTURA_2**)

Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal cuadrada

- V_i y V_o en función del tiempo. (**CAPTURA_3**)
- V_i y V_o en función del tiempo. V_i en flanco de subida – V_o en flanco de bajada (**CAPTURA_4**)
- V_i y V_o en función del tiempo. V_i en flanco de bajada – V_o en flanco de subida (**CAPTURA_5**)

Página intencionalmente en blanco

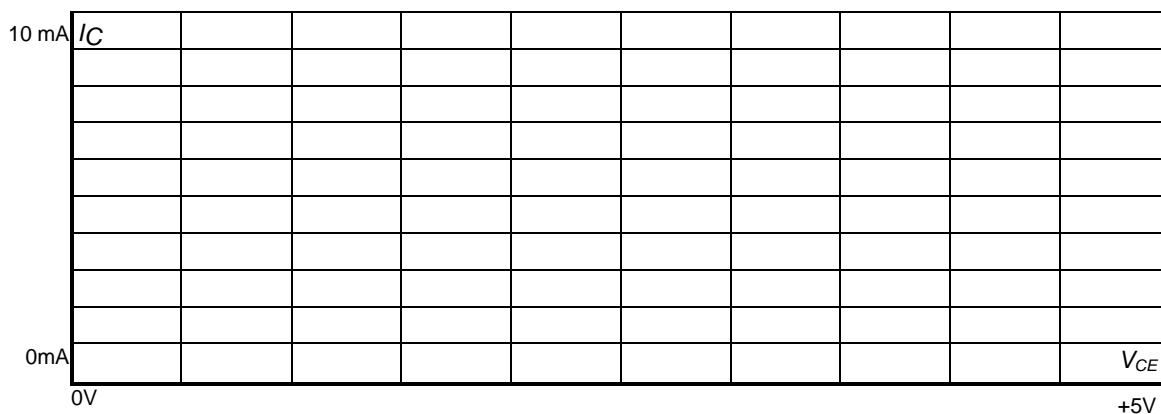
Hojas de entrega previa.

Las **hojas de entrega previa** deben ser impresas, rellenas con sus soluciones y entregadas a la entrada de la sesión de prácticas.

Parte 1. Simulación SPICE.

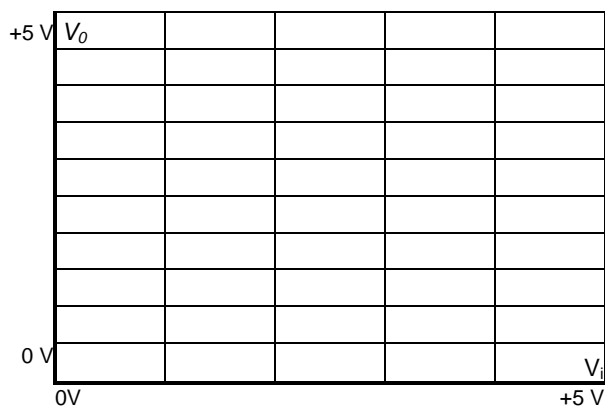
1.1. Estudio de las curvas características de un transistor bipolar.

1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de colector I_C frente a V_{CE} :

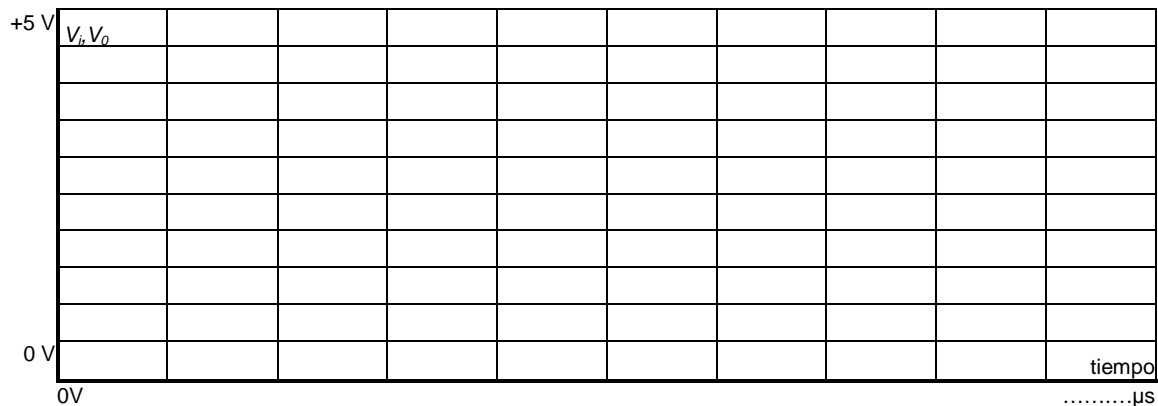
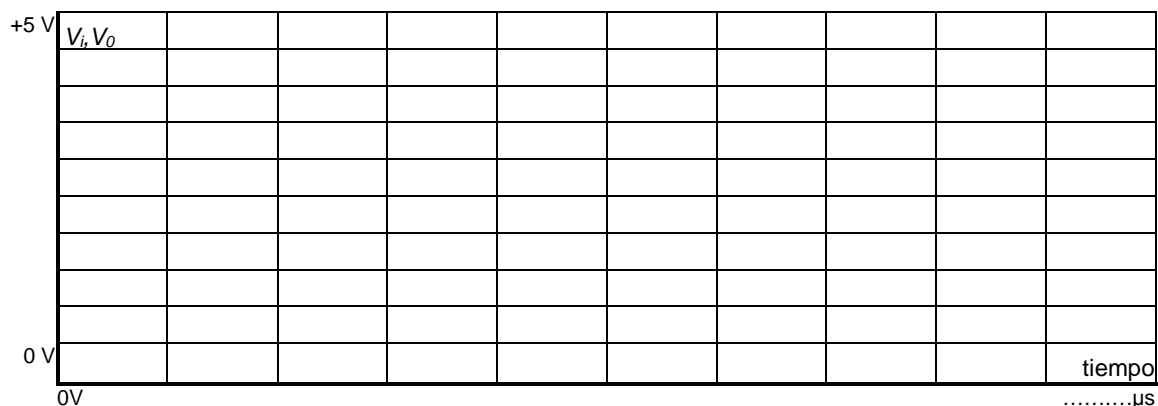


1.2. Estudio de un inversor RTL.

1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor RTL.



| |
|------------|
| $V_{IL} =$ |
| $V_{IH} =$ |
| $V_{OL} =$ |
| $V_{OH} =$ |
| $NM_L =$ |
| $NM_H =$ |

1.2.2. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal triangular.**1.2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal cuadrada.**

| | |
|-------------|---------|
| $t_{pHL} =$ | $t_f =$ |
| $t_{pLH} =$ | $t_r =$ |
| $t_{pD} =$ | |

1.3. Subir la simulación de la práctica 3 al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado "Practica3", en cuyo interior se encontrarán los circuitos que ya se han simulado y que se llamarán como cada uno de los apartados. Los pasos que se seguirán para cada uno de ellos serán los siguientes:

- Ejecutar el LTSpice
- Abrir uno de los ficheros de los circuitos a simular
- Ejecutar la simulación de dicho circuito
- Obtener las gráficas de salida que se pidan en el apartado correspondiente
- Guardar estas gráficas con la opción "*File Save Plot Settings*", generándose un fichero con extensión .PLT para este apartado de la práctica
- Repetir el proceso con el resto de archivos .ASC (uno diferente por cada apartado)

Los ficheros que habrá generado el LTSpice tendrán el mismo nombre que se le haya dado al archivo .ASC, pero con extensión .LOG, .RAW y .PLT. Todo el contenido del directorio se archivará finalmente en un fichero ZIP ó RAR, subiéndolo a la tarea creada para tal caso en el Campus Virtual.

Apartados a simular: 1.1.1, 1.2.1, 1.2.2 y 1.2.3.

Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores Bipolares.

2.1. Transistor Bipolar NPN 2N2222.

2.2. Característica de Transferencia de un inversor RTL.

Medida 1: Parámetros Estáticos

| |
|------------|
| $V_{IL} =$ |
| $V_{IH} =$ |
| $V_{OL} =$ |
| $V_{OH} =$ |
| $NM_L =$ |
| $NM_H =$ |

Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

2.3. Respuesta temporal de un inversor RTL, siendo V_i una señal cuadrada.

Medida 2: Parámetros Dinámicos

| |
|-------------|
| $t_{pHL} =$ |
| $t_{pLH} =$ |
| $t_{pD} =$ |
| $t_f =$ |
| $t_r =$ |

Compara los resultados obtenidos en el osciloscopio con los de la simulación:

.....

.....

.....

.....

.....

.....