

Práctica 4. Transistor MOSFET.

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, CAPTURA_6 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

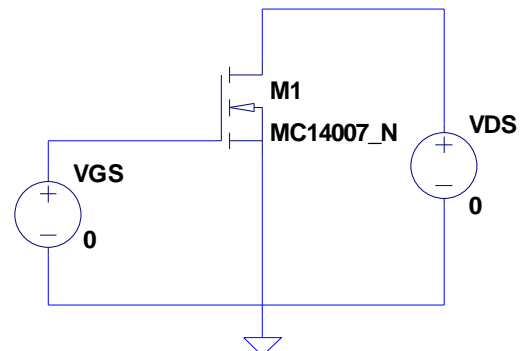
- Conocer el manejo del simulador LTSpice para realizar análisis en continua (.DC) y transitorios (.TRAN), aplicado en circuitos con transistores MOSFET
- Obtener las curvas características de un transistor NMOS
- Caracterizar los inversores NMOS y CMOS: parámetros estáticos (característica de transferencia)
- Calcular el consumo de potencia en los inversores NMOS y CMOS
- Construir una función lógica CMOS, simularla y obtener su tabla de verdad

1.1. Estudio de las curvas características de un transistor MOSFET de canal N.

En este apartado, utilizando el simulador LTSpice, obtendremos las curvas características del transistor MOSFET de acumulación de canal N. En ella representaremos la intensidad de drenador, I_D (medida en mA) frente a la caída de tensión drenador-fuente, V_{DS} (medida en V) para distintos valores de la tensión puerta-fuente, V_{GS} (medida en V). El tipo de análisis necesario es del tipo “.DC” donde variaremos las dos fuentes de alimentación presentes en el siguiente circuito, V_{DS} y V_{GS} , en el siguiente orden (recordar cómo se hizo en la práctica 3):

1ª fuente (“1st Source”) → La fuente V_{DS} tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 0.01 V

2ª fuente (“2nd Source”) → La fuente V_{GS} tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 1 V

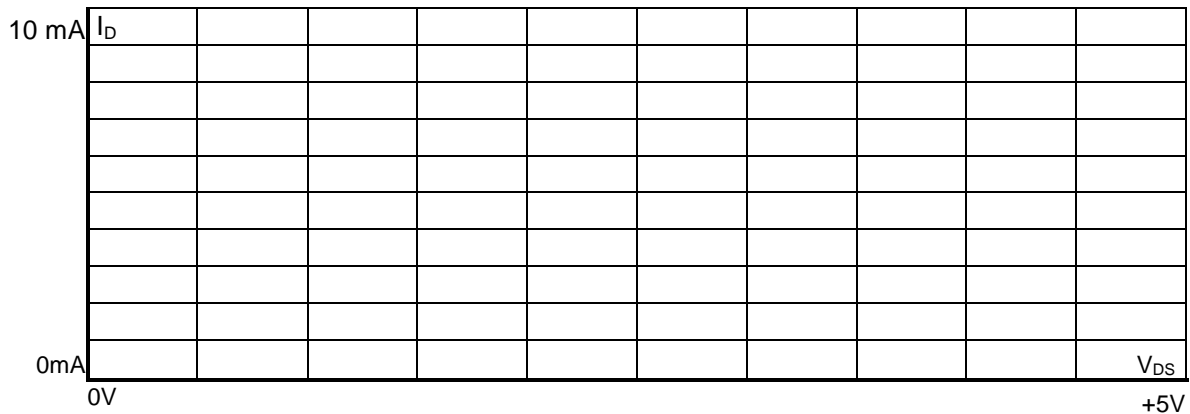


Para los transistores MOSFET debemos introducir a mano los modelos de la siguiente forma: Pinchamos en “*Edit* → *SPICE Directive*”, y tecleamos las siguientes líneas:

```
.model MC14007_N NMOS (Vto=1.6 Kp=1.1m)
.model MC14007_P PMOS (Vto=-1.3 Kp=1.4m)
```

Utilizaremos los modelos “MC14007_N” y “MC14007_P” para los transistores MOSFET de canal N y de canal P, respectivamente.

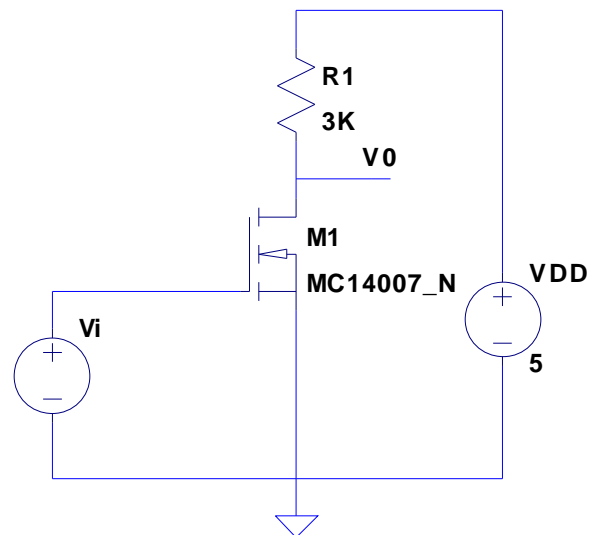
1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de drenador I_D frente a V_{DS} , y señala sobre ellas las zonas de funcionamiento del transistor MOSFET.



1.2. Estudio de un inversor NMOS.

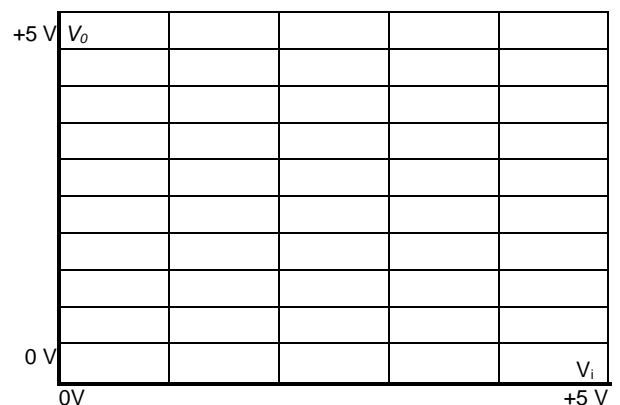
La siguiente figura nos muestra un inversor NMOS. Utilizando el simulador LTSpice obtendremos las siguientes gráficas y calcularemos una serie de parámetros a partir de las mismas:

- 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.
- Consumo del circuito (= potencia, P), siendo éste el producto de la tensión de la fuente que alimenta al circuito (V_{DD}) multiplicada por la intensidad que la sale de la misma (I_{DD}).



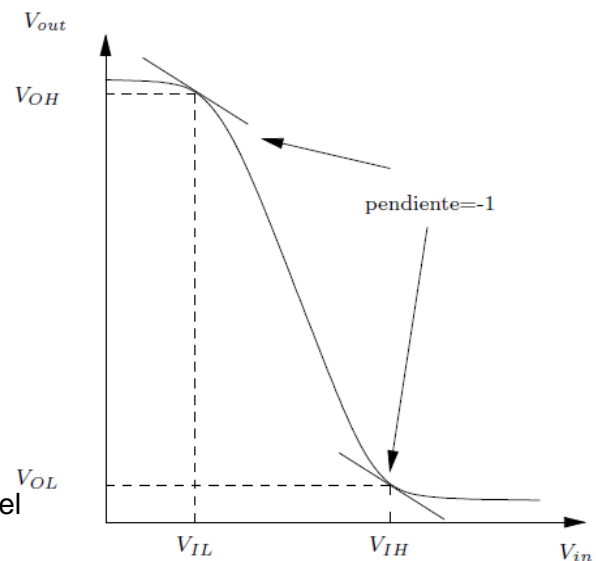
1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor NMOS.

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 (recordar cómo se hizo en la práctica 3):

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



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

Comenta la característica de transferencia del inversor NMOS a la vista de su gráfica de V_o en función de V_i :

.....

.....

.....

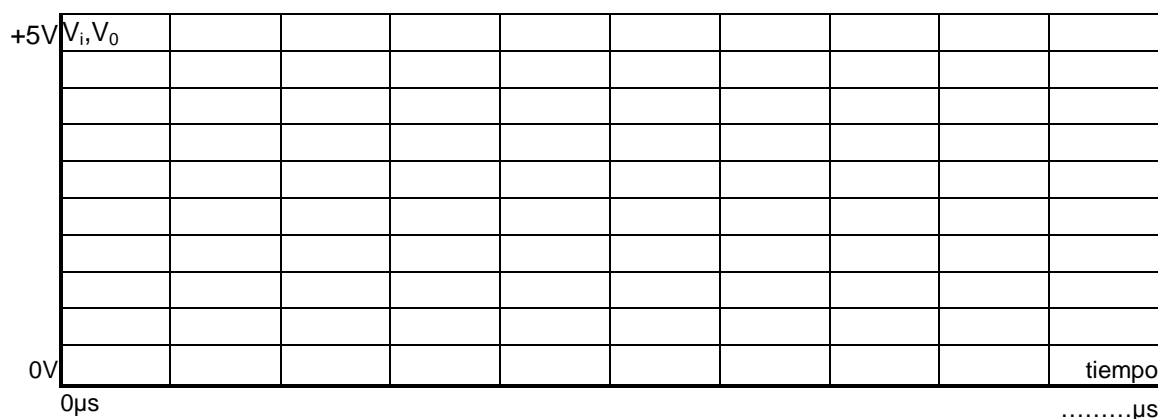
.....

.....

.....

1.2.2. Respuesta temporal de un inversor NMOS, 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 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 NMOS. 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 triangular en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



Comenta el comportamiento del inversor NMOS a la vista de esta gráfica:

.....

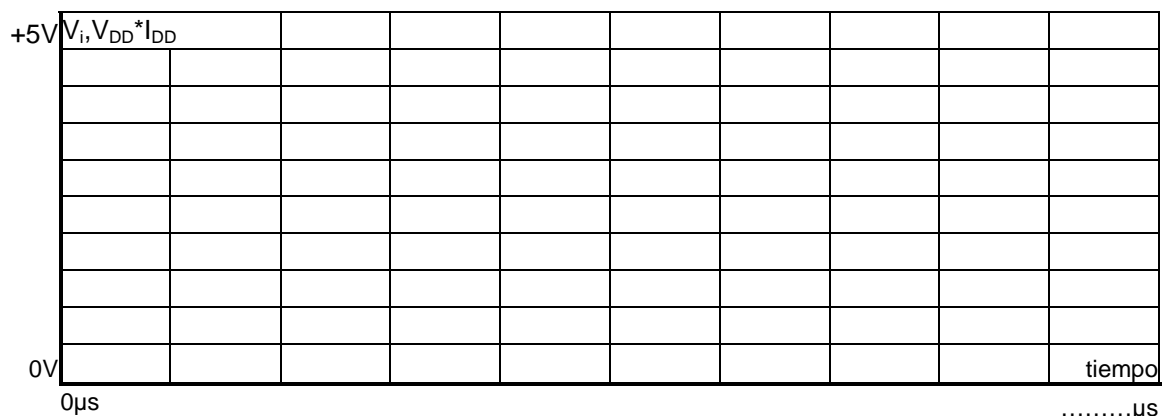
.....

.....

.....

1.2.3. Consumo de un inversor NMOS.

En este apartado mediremos el consumo que presenta el inversor NMOS cuando la señal de entrada V_i toma valores entre 0 y 5 V, por lo que nos ayudaremos de la misma simulación que en el apartado anterior, pero en este caso las señales de salida que dibujaremos serán la entrada V_i (señal triangular) junto con la *Potencia Instantánea* consumida por el circuito, que se define como $P = V_{DD} * I_{DD}$. El valor de V_{DD} expresado en Voltios lo obtenemos a través del nudo al que está conectado el lado positivo de dicha fuente (" $V(nXXX)$ ", siendo " $nXXX$ " el número de nudo en el LTSpice), y la intensidad I_{DD} la podemos medir a través de la resistencia de 3 K Ω del circuito (en LTSpice será " $I(R1)$ "), que es la misma que la que sale de la fuente V_{DD} . Utilizar el mismo tiempo de simulación que en el apartado anterior, de forma que se aprecien 2 cambios en la señal de entrada.



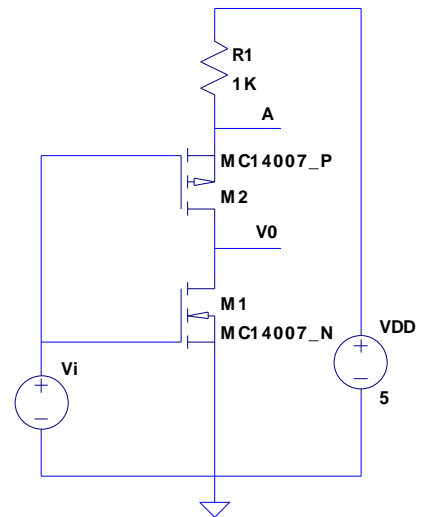
A partir de la simulación anterior, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

1.3. Estudio de un inversor CMOS.

La siguiente figura nos muestra un inversor CMOS. Utilizando el simulador LTSpice realizaremos los mismos estudios que hicimos en el apartado anterior para el inversor NMOS, esto es:

- 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.
- Consumo o potencia del circuito (P), siendo éste el producto de la tensión de la fuente que alimenta al circuito (V_{DD}) multiplicada por la intensidad que la sale de la misma (I_{DD}).



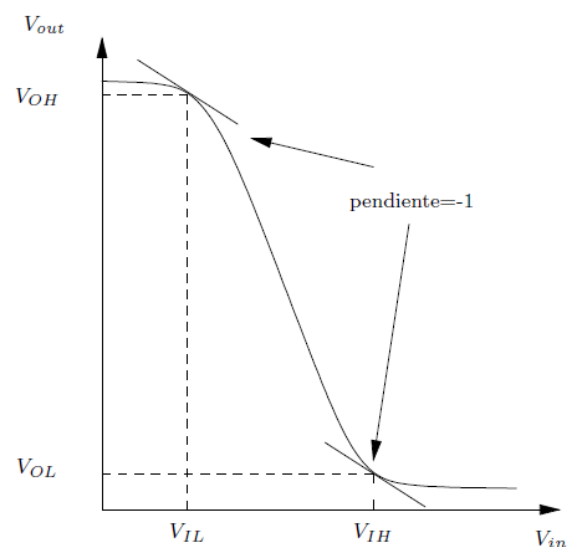
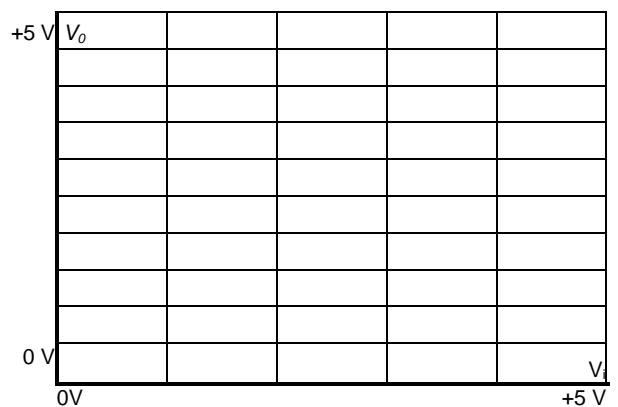
Nota: Se ha añadido una resistencia de 1 K Ω al típico circuito inversor CMOS para poder realizar la misma medida de la intensidad tanto en la simulación como en el montaje físico.

1.3.1. Característica de Transferencia de un inversor CMOS.

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 (recordar cómo se hizo en la práctica 3):

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



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

Comenta la característica de transferencia del inversor CMOS a la vista de su gráfica de V_0 en función de V_i :

.....

.....

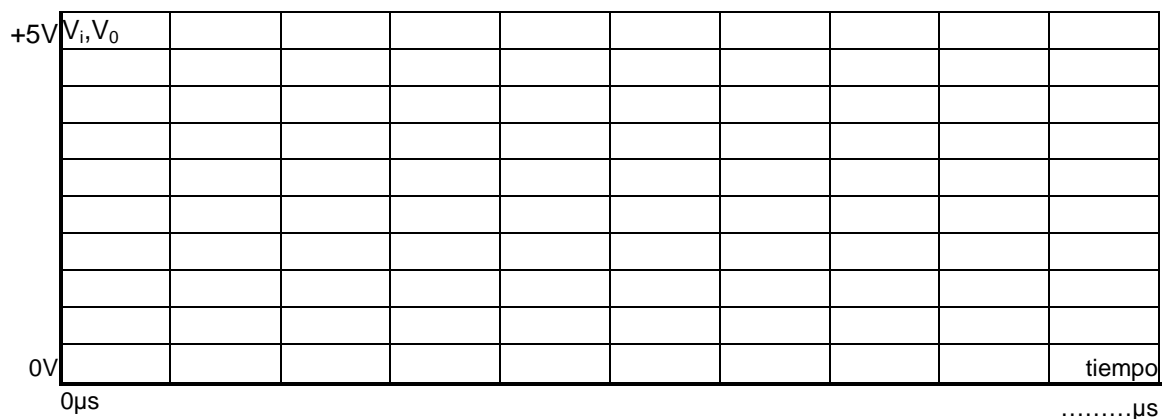
.....

.....

.....

1.3.2. Respuesta temporal de un inversor CMOS, 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_0 la respuesta del inversor CMOS. 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 triangular en el LTSpice, así como la forma de especificar el análisis transitorio.



Comenta el comportamiento del inversor CMOS a la vista de esta gráfica:

.....

.....

.....

.....

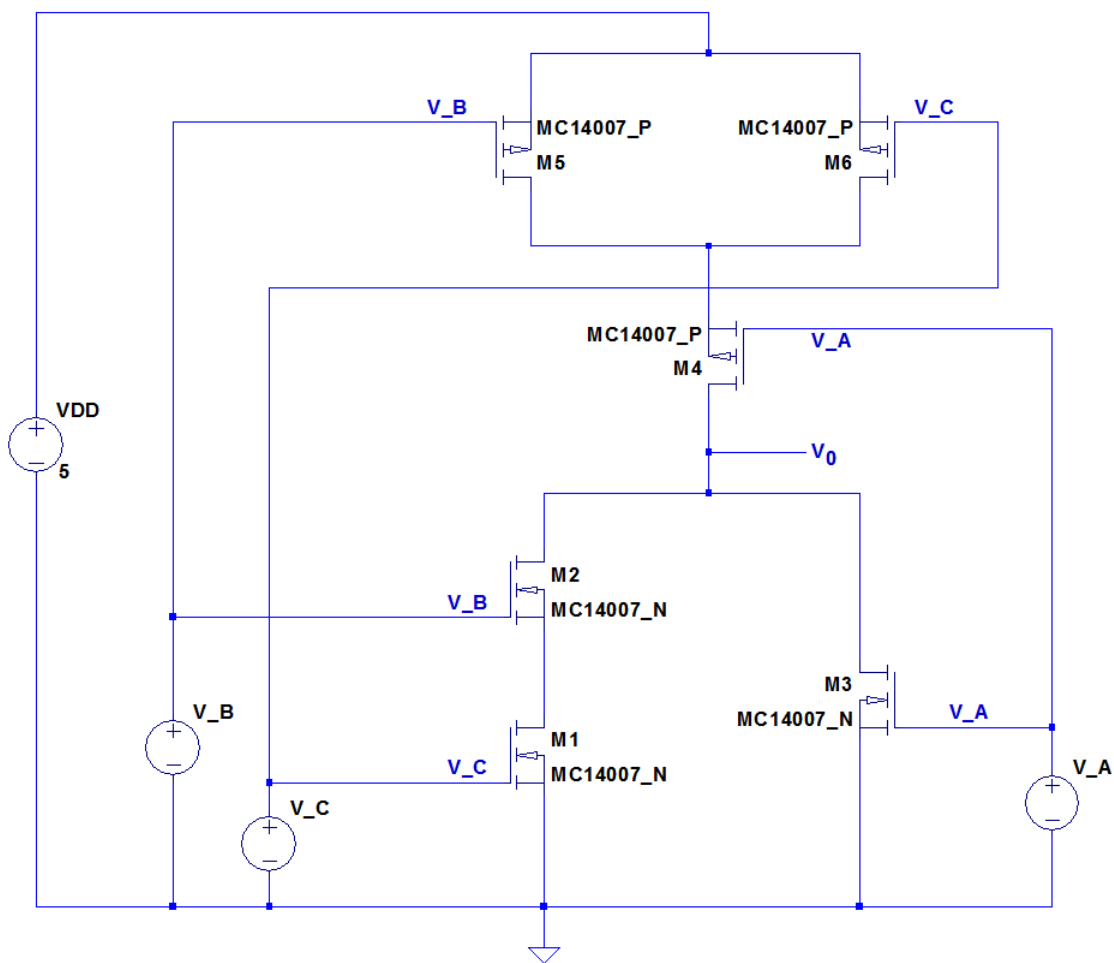
.....

1.3.3. Consumo de un inversor CMOS.

En este apartado mediremos el consumo que presenta el inversor CMOS cuando la señal de entrada V_i toma valores entre 0 y 5 V, por lo que nos ayudaremos de la misma simulación que en el apartado anterior, pero en este caso las señales de salida que dibujaremos serán la entrada V_i (señal triangular) junto con la *Potencia Instantánea* consumida por el circuito, que se define como $P = V_{DD} * I_{DD}$. El valor de V_{DD} expresado en Voltios lo obtenemos a través del nudo al que está conectado el lado positivo de dicha fuente (" $V(nXXX)$ ", siendo " $nXXX$ " el número de nudo en el LTSpice), y la intensidad I_{DD} la podemos medir a través de la resistencia de 1 K Ω del circuito (en LTSpice será " $I(R1)$ "), que es la misma que la que sale de la fuente V_{DD} . Utilizar el mismo tiempo de simulación que en el apartado anterior, de forma que se aprecien 2 cambios en la señal de entrada.

1.4. Funciones lógicas CMOS.

Introduce en el LTSpice el circuito de la figura:



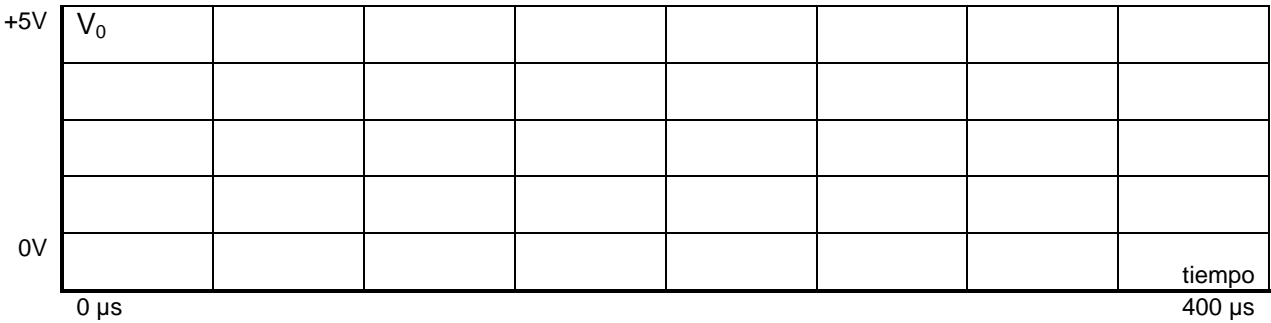
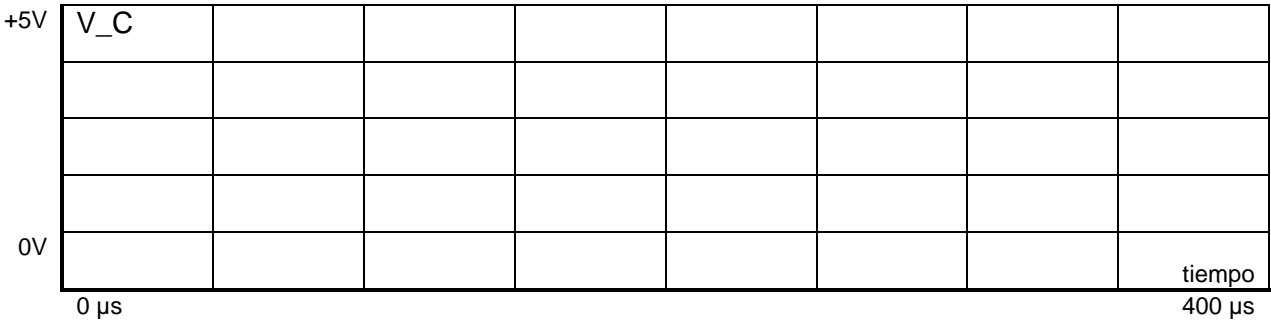
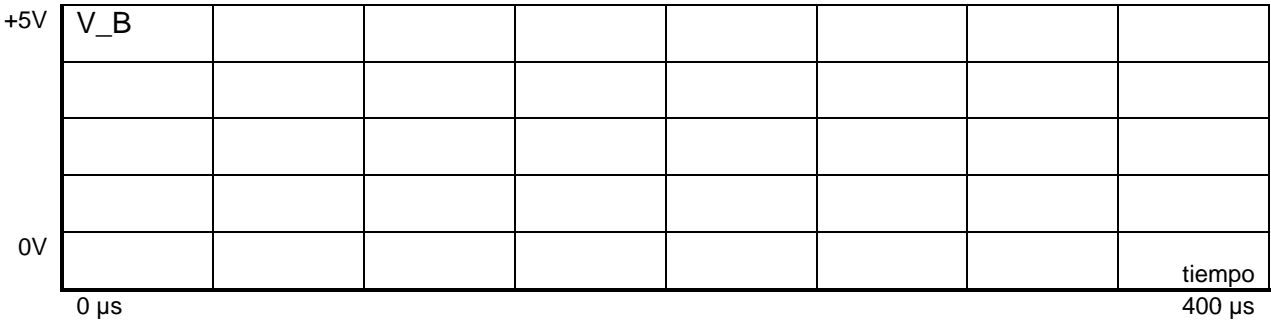
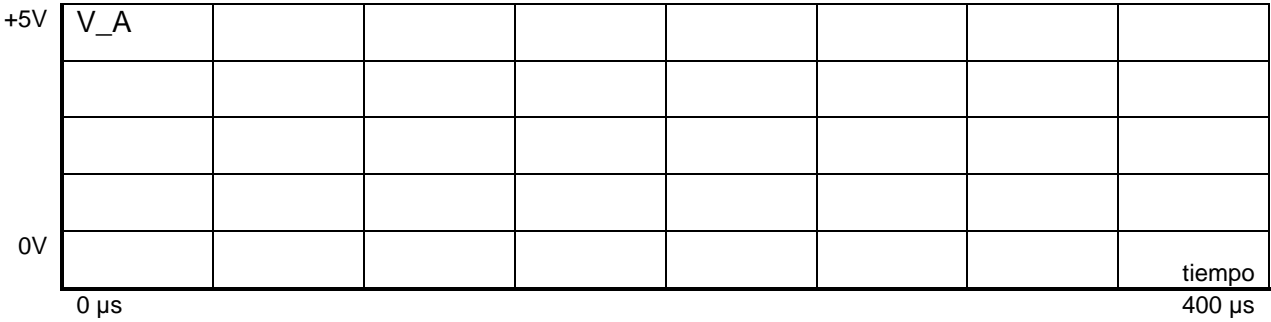
Las entradas “V_A”, “V_B” y “V_C” quedarán estimuladas de la siguiente forma:

V_A: PULSE(0 5 50u 50n 50u 100u)
 V_B: PULSE(0 5 100u 50n 50n 100u 200u)
 V_C: PULSE(0 5 200u 50n 50n 200u 400u)

Es decir, se generan señales de onda cuadrada para cada una de las entradas A, B y C, de manera que cada una de ellas tiene un periodo que es el doble de la anterior, por lo que se probarán todas las combinaciones posibles en un tiempo de 400 microsegundos (análisis “.TRAN” de dicha duración).

Crea un total de 4 “Plots” en el LTSpice a través de la opción “Plot Settings → Add Plot Pane”, y dibuja en cada uno de ellos las señales “V_A”, “V_B”, “V_C”, y la salida V_O.

1.4.1. Señales de entrada V_A , V_B , V_C , y señal de salida V_O



Anota la función lógica que realiza el circuito:

.....

1.5. Subir la simulación de la práctica 4 al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado "Practica4", 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, 1.2.3, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4.1.

Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores MOSFET.

Material Necesario

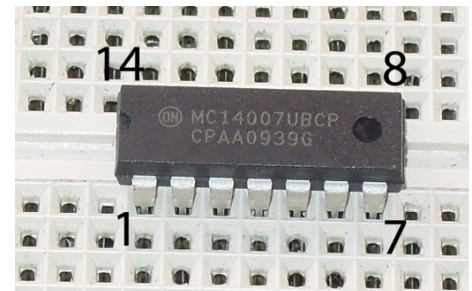
- Fuente de Alimentación
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Material de la caja del puesto: Protoboard, cables, etc.
- 1 Circuito Integrado MC14007
- 3 Resistencias de 1 K Ω

Objetivos

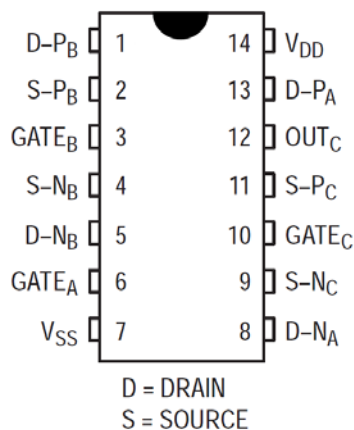
- Caracterizar los inversores NMOS y CMOS: parámetros estáticos (característica de transferencia) y dinámicos (tiempos de subida y bajada, tiempos de propagación)
- Calcular el consumo de potencia de los inversores NMOS y CMOS
- Implementar una función lógica CMOS y obtener su tabla de verdad a partir del circuito construido

2.1. Circuito Integrado MC14007 (con 6 Transistores MOSFET)

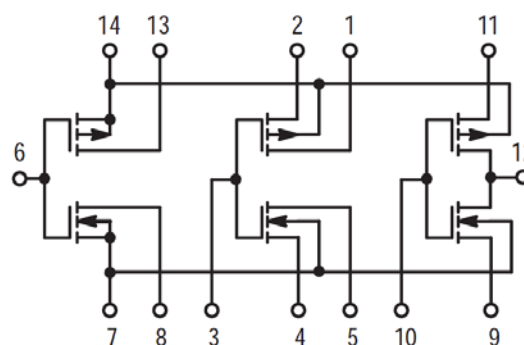
Este circuito integrado posee 3 transistores MOSFET de acumulación de canal P (los tres superiores que se aprecian en la figura de abajo a la derecha) y otros 3 de canal N (los 3 inferiores). La distribución de pines queda como sigue:



PIN ASSIGNMENT



SCHEMATIC

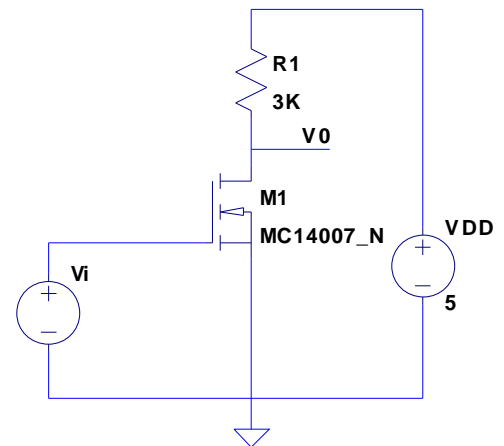


V_{DD} = PIN 14
V_{SS} = PIN 7

2.2. Estudio de un inversor NMOS.

En este apartado se pretende obtener en la pantalla del osciloscopio los siguientes datos:

- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida V_0 , cuando se introduce en V_i una señal triangular, además de la Característica de Transferencia (V_0 en función de V_i), a partir de la cual obtendremos los Parámetros Estáticos.
- Consumo del circuito (= potencia, P), siendo éste el producto de la tensión de la fuente que alimenta al circuito (V_{DD}) multiplicada por la intensidad que la sale de la misma (I_{DD}).



Para ello se debe montar en la protoboard el inversor NMOS mostrado utilizando un transistor de canal N del integrado MC14007, si bien al no disponer de transistores MOSFET de deplexión en dicho integrado lo sustituiremos por una resistencia de 3 K Ω .

Nota: Las resistencias disponibles en el laboratorio son de 1 K Ω , por lo que para obtener la de 3 K Ω deberemos usar 3 resistencias conectadas en serie.

2.2.1. Respuesta temporal de un inversor NMOS, siendo V_i una señal triangular, y Característica de Transferencia.

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_0 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 500mv por división en el canal1 y 1 voltio por división en el canal2.
Representar en el osciloscopio la gráfica de V_0 (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**).

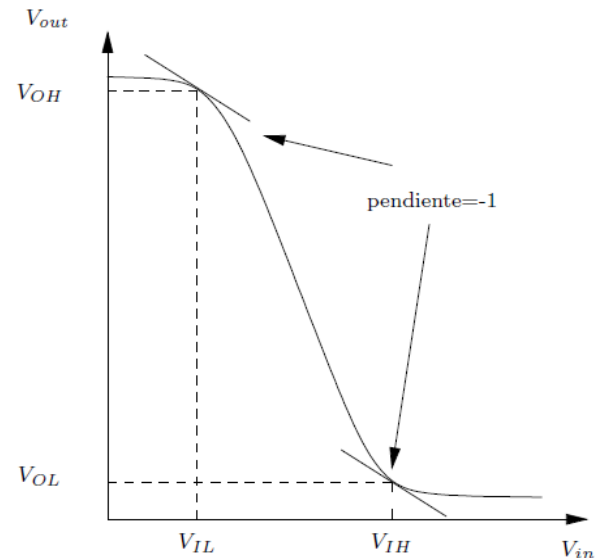
A partir de la característica de transferencia anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor -1 , si bien en la pantalla del osciloscopio no podremos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

Como en el canal1 tenemos 500mv/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:

.....

.....

.....

.....

.....

2.2.2. Consumo de un inversor NMOS.

A continuación vamos a calcular el consumo de potencia estática del circuito ($P = V_{DD} * I_{DD}$). Para ello se deben considerar dos situaciones, dependiendo de que la salida del circuito se encuentre en cada uno de los dos niveles lógicos ("0" y "1").

En cada caso, para evaluar la corriente I_{DD} , utilizaremos el método indirecto que consiste en medir la corriente que circula a través de la resistencia de 3 K Ω . Para ello mediremos la diferencia de potencial que existe en la resistencia de 3 K Ω (V_R) y posteriormente calcularemos el valor de la corriente utilizando la ley de Ohm:

$$V_R = I_{DD} * R \Rightarrow I_{DD} = V_R / R \Rightarrow I_{DD} = V_R / 3 \text{ K}\Omega$$

De manera directa no se pueden medir simultáneamente las señales de entrada V_i y la caída de tensión en R ya que para calcular V_R necesitamos las dos únicas sondas del osciloscopio (es necesario calcular la diferencia de potencial entre sus extremos, al no ser ninguno de ellos tierra). Por tanto el procedimiento que seguiremos será colocar la sonda del canal1 en V_i para medir la tensión de entrada y la sonda del canal2 en V_0 . Para determinar la intensidad I_{DD} que circula por R calcularemos la tensión en V_R (serán los 5V de la fuente de tensión menos el valor medido en el canal2) y la dividiremos por $R=3\text{K}\Omega$. Por tanto tendremos:

$$I_{DD} = \frac{5 - V_{\text{Canal2}}}{3000}$$

Para estudiar el consumo seleccionar para el Canal2 las medidas: Vpico-pico Min. Max. Colocar las sondas del osciloscopio tal como hemos indicado (Canal1 en V_i y Canal2 en V_o), ajustad el nivel y posición del Canal2 de forma que se vea lo mejor posible la variación de la señal. Visualizar las señales con respecto al tiempo de forma que se vean dos periodos. Realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_3**).

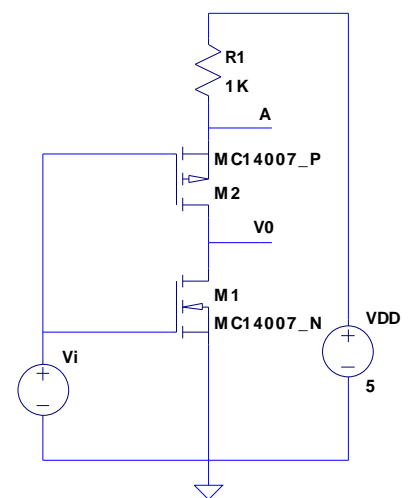
A partir de las medidas anteriores, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

2.3. Estudio de un inversor CMOS.

En este apartado se pretende obtener en la pantalla del osciloscopio los siguientes datos:

- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida V_o , cuando se introduce en V_i una señal triangular, además de la Característica de Transferencia (V_o en función de V_i), a partir de la cual obtendremos los Parámetros Estáticos.
- Consumo o potencia del circuito (P), siendo éste el producto de la tensión de la fuente que alimenta al circuito (V_{DD}) multiplicada por la intensidad que la sale de la misma (I_{DD}).



Para ello se debe montar en la protoboard el inversor CMOS mostrado utilizando un transistor de canal N y otro de canal P del integrado MC14007 de forma que estos dos compartan el terminal de puerta (escoger un par de transistores adecuados observando el esquema del circuito integrado).

Nota: Se ha añadido una resistencia de 1 K Ω al típico circuito inversor CMOS para poder realizar la misma medida de la intensidad tanto en la simulación como en el montaje físico.

2.3.1. Respuesta temporal de un inversor CMOS, siendo V_i una señal triangular, y Característica de Transferencia.

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_4**).
- 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 500mv 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_5**).

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 500mv/división los valores horizontales tienen ese escalado.

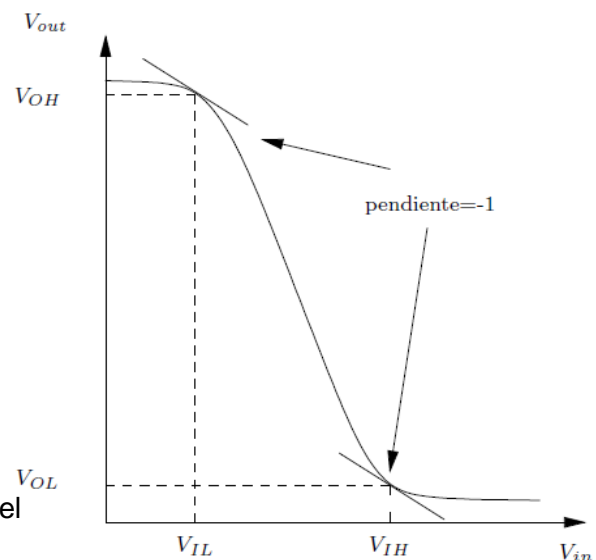
Como en el canal2 tenemos 1v/división los valores verticales tienen ese escalado.

Anotad en la tabla **Medida 2** los valores hallados.

Medida 2: 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:

.....

.....

.....

.....

.....

2.3.2. Consumo de un inversor CMOS.

A continuación vamos a calcular el consumo de potencia estática del circuito ($P = V_{DD} * I_{DD}$). Para ello se deben considerar dos situaciones, dependiendo de que la salida del circuito se encuentre en cada uno de los dos niveles lógicos ("0" y "1").

En cada caso, para evaluar la corriente I_{DD} , utilizaremos el método indirecto que consiste en medir la corriente que circula a través de la resistencia de 1 KΩ. Para ello mediremos la diferencia de potencial que existe en la resistencia de 1 KΩ (V_R) y posteriormente calcularemos el valor de la corriente utilizando la ley de Ohm:

$$V_R = I_{DD} * R \Rightarrow I_{DD} = V_R / R \Rightarrow I_{DD} = V_R / 1 \text{ K}\Omega$$

De manera directa no se pueden medir simultáneamente las señales de entrada V_i y la caída de tensión en R ya que para calcular V_R necesitamos las dos únicas sondas del osciloscopio (es necesario calcular la diferencia de potencial entre sus extremos, al no ser ninguno de ellos tierra). Por tanto el procedimiento que seguiremos será colocar la sonda del Canal1 en V_i para medir la tensión de entrada y la sonda del Canal2 en el punto A del circuito. Para determinar la intensidad I_{DD} que circula por R calcularemos la tensión en V_R (serán los 5V de la fuente de tensión menos el valor medido en el canal2) y la dividiremos por $R = 1\text{K}\Omega$. Por tanto tendremos:

$$I_{DD} = \frac{5 - V_{\text{Canal2}}}{1000}$$

Para estudiar el consumo seleccionar para el Canal2 las medidas: Vpico-pico Min. Max. Colocar las sondas del osciloscopio tal como hemos indicado (Canal1 en V_i y Canal2 en el punto A), ajustar el nivel y posición del Canal2 de forma que se vea lo mejor posible la variación de la señal. Visualizar las señales con respecto al tiempo de forma que se vean dos periodos. Realizar una captura de pantalla (**CAPTURA_6**).

A partir de las medidas anteriores, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

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, CAPTURA_6 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 NMOS

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

Consumo de un inversor NMOS

- V_i y V_o en función del tiempo. (**CAPTURA_3**)

Característica de Transferencia de un inversor CMOS

- V_i y V_o en función del tiempo. (**CAPTURA_4**)
- Modo X-Y: V_o en función de V_i . (**CAPTURA_5**)

Consumo de un inversor CMOS

- V_i y V_A en función del tiempo. (**CAPTURA_6**)

Página intencionalmente en blanco

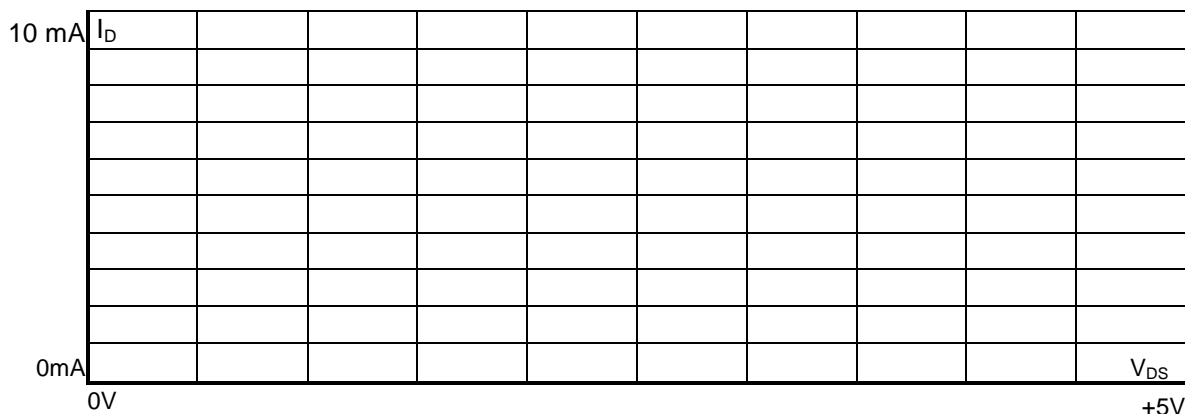
Hojas de entrega previa.

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.

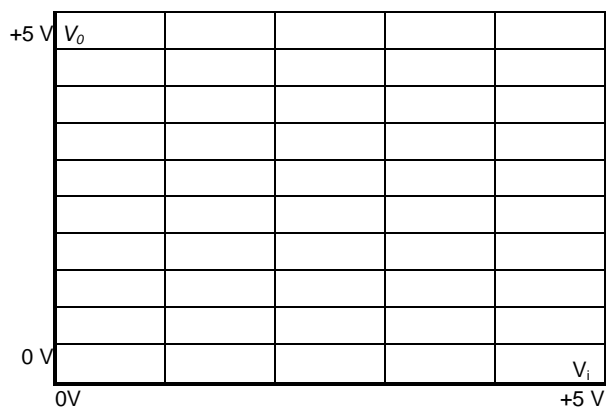
1.1. Estudio de las curvas características de un transistor MOSFET de canal N.

1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de drenador I_D frente a V_{DS} , y señala sobre ellas las zonas de funcionamiento del transistor MOSFET.



1.2. Estudio de un inversor NMOS.

1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor NMOS.



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

Comenta la característica de transferencia del inversor NMOS a la vista de su gráfica de V_O en función de V_i :

.....

.....

.....

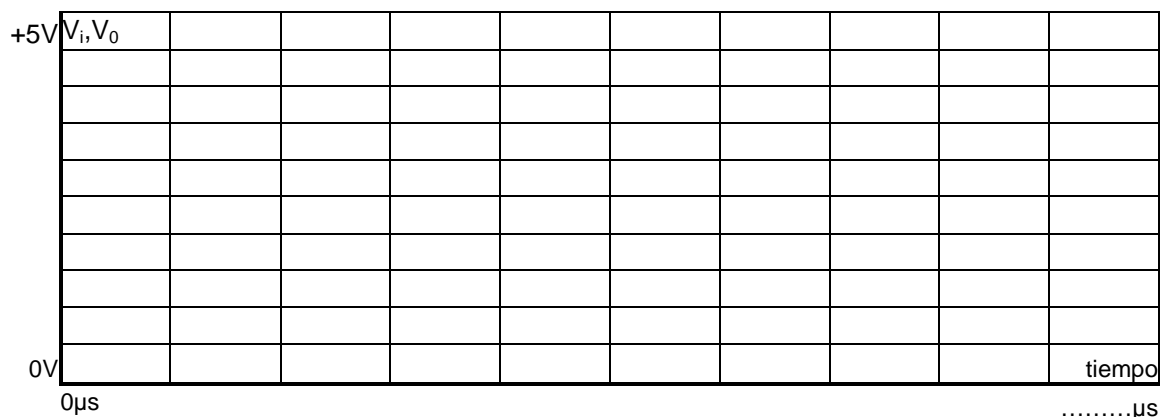
.....

.....

.....

.....

.....

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

Comenta el comportamiento del inversor NMOS a la vista de esta gráfica:

.....

.....

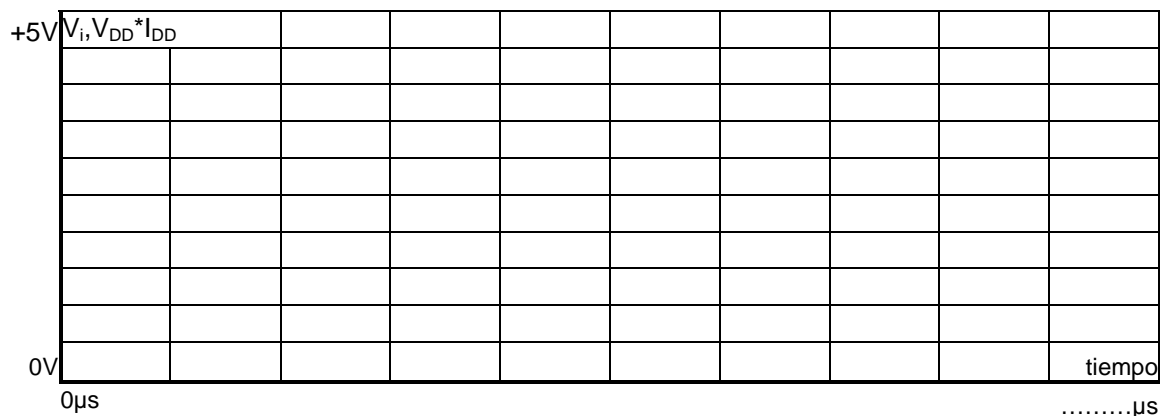
.....

.....

.....

.....

.....

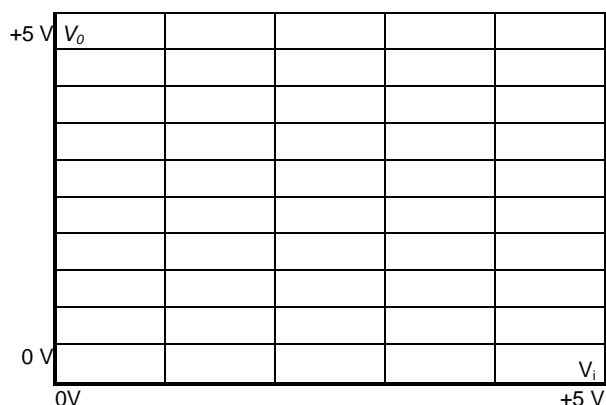
1.2.3. Consumo de un inversor NMOS.

A partir de la simulación anterior, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

1.3. Estudio de un inversor CMOS.**1.3.1. Característica de Transferencia de un inversor CMOS.**

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

Comenta la característica de transferencia del inversor CMOS a la vista de su gráfica de V_0 en función de V_i :

.....

.....

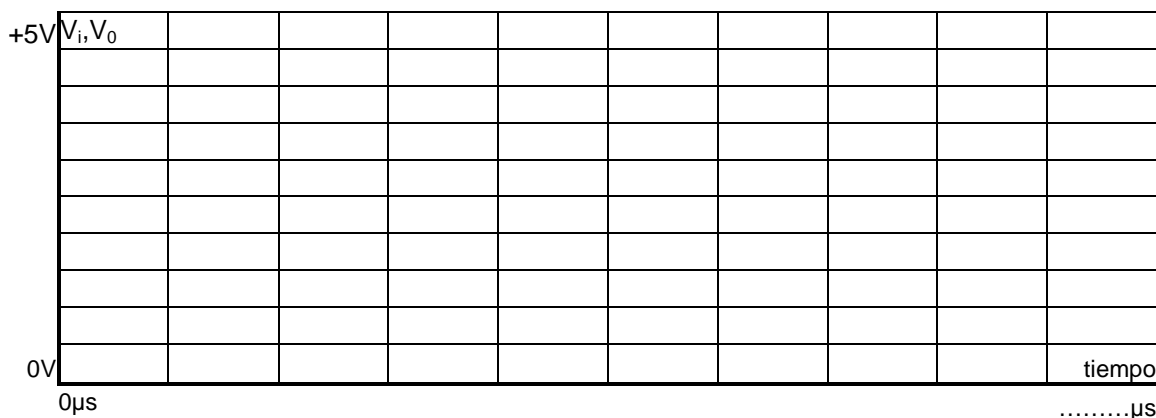
.....

.....

.....

.....

.....

1.3.2. Respuesta temporal de un inversor CMOS, siendo V_i una señal triangular.

Comenta el comportamiento del inversor CMOS a la vista de esta gráfica:

.....

.....

.....

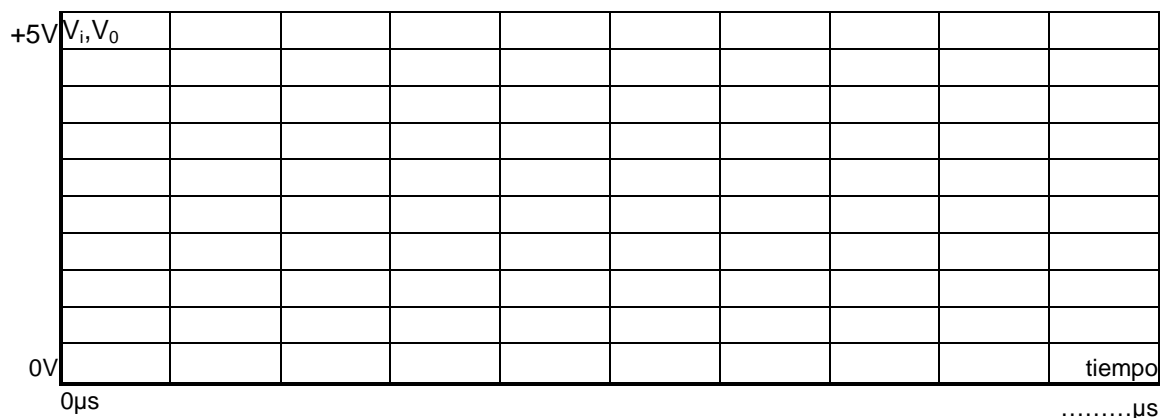
.....

.....

.....

.....

.....

1.3.3. Consumo de un inversor CMOS.

A partir de la simulación anterior, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

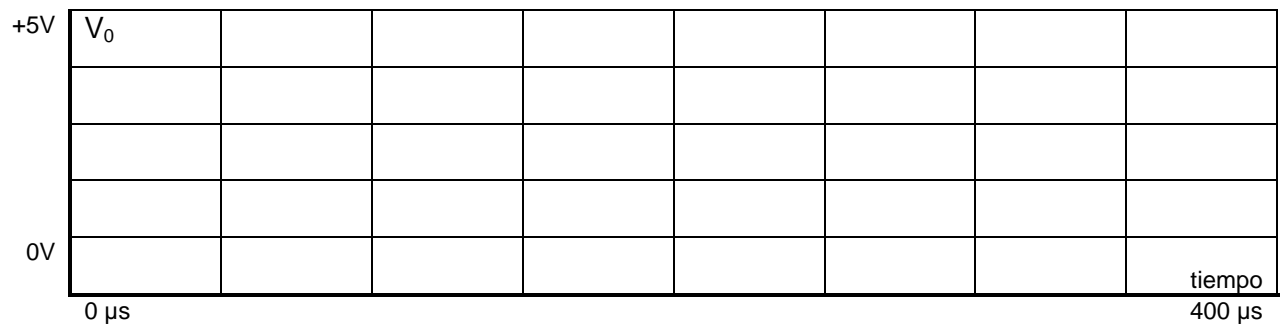
a) Cuando V_0 tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

b) Cuando V_0 tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

c) Transición de V_0 de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

1.4.1. Señales de entrada V_A , V_B , V_C , y señal de salida V_O .

1.4.1. Señales de entrada V_A , V_B , V_C , y señal de salida V_O .



.....

1.5. Subir la simulación de la práctica 4 al Campus Virtual.

Crear un directorio llamado “Practica4”, 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, 1.2.3, 1.3.1, 1.3.2, 1.3.3, 1.4.1.

Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores MOSFET.

2.1. Estudio de un inversor NMOS.

2.1.1. Respuesta temporal de un inversor NMOS, siendo V_i una señal triangular, y Característica de Transferencia.

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:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.1.2. Consumo de un inversor NMOS.

A partir de las medidas tomadas en el laboratorio, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

2.2. Estudio de un inversor CMOS.**2.2.1. Respuesta temporal de un inversor CMOS, siendo V_i una señal triangular, y Característica de Transferencia.**

Medida 2: Parámetros Estáticos

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

2.2.2. Consumo de un inversor CMOS.

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

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

A partir de las medidas tomadas en el laboratorio, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

a) Cuando V_o tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
b) Cuando V_o tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$
c) Transición de V_o de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$