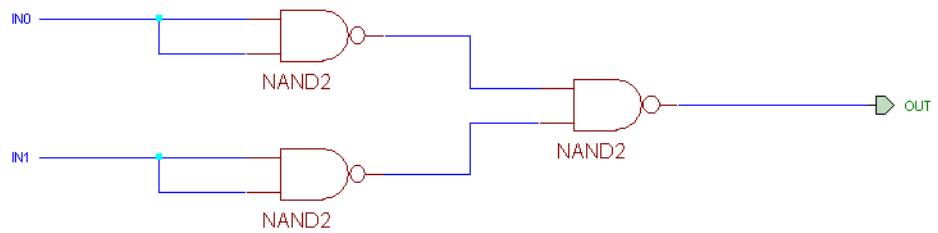


ALBERTO DAZA MÁRQUEZ

***PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS
DE ELECTRÓNICA***



PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA.

Primera edición, Octubre de 2013

© Autor, Editor e Ilustrador: Alberto Daza Márquez

I.S.B.N. 13: 978-84-695-8851-2

I.S.B.N. 10: 84-695-8851-6

Depósito Legal: MA-1990-2013

ÍNDICE.

PRÁCTICA 4. TRANSISTOR MOSFET.

PARTE 1. SIMULACIÓN CON LTSPICE.	2
1.1. ESTUDIO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UN TRANSISTOR MOSFET DE CANAL N.	2
1.2. ESTUDIO DE UN INVERSOR NMOS.	3
1.3. ESTUDIO DE UN INVERSOR CMOS.	6
1.4. FUNCIONES LÓGICAS CMOS.	9
1.5. SUBIR LA SIMULACIÓN DE LA PRÁCTICA 4 AL CAMPUS VIRTUAL.	11
PARTE 2. MONTAJE EN LABORATORIO CON TRANSISTORES MOSFET.	12
2.1. CIRCUITO INTEGRADO MC14007 (CON 6 TRANSISTORES MOSFET)	12
2.2. ESTUDIO DE UN INVERSOR NMOS.	13
2.3. ESTUDIO DE UN INVERSOR CMOS.	15

Práctica 4. Transistor MOSFET.

Documentación.

La **documentación** debe conservarse como material de la asignatura para el alumno y en ella se deben anotar las soluciones obtenidas para que el alumno tenga una copia de los resultados obtenidos.

La **práctica** consiste en el análisis de varios circuitos mediante **simulación con el programa LTSpice**. Los resultados se recogerán en este documento PDF, el cual se entregará antes de acceder al laboratorio el día que esté señalado como corrección de esta práctica. **Se deberán subir al campus virtual los ficheros de las simulaciones (esquemáticos y gráficas de cada apartado)**, 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. **Además, se incluirán en dicho archivo .ZIP este documento PDF, con todos sus campos de formulario debidamente cumplimentados.**

Parte 1. Simulación con LTSpice.

Material Necesario

- Ordenador Personal
- Simulador LTSpice

Objetivos

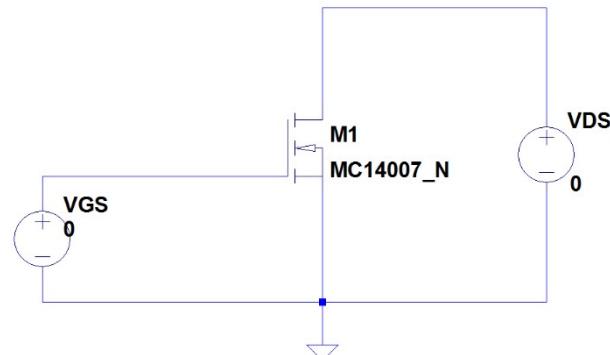
- Conocer el manejo del simulador LTSpice para realizar análisis en continua (.DC) y transitorios (.TRAN), aplicado en circuitos con transistores MOSFET
- Obtener las curvas características de un transistor NMOS
- Caracterizar los inversores NMOS y CMOS: parámetros estáticos (característica de transferencia)
- 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):

1^a fuente ("1st Source") → La fuente V_{DS} : Tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 0.01 V

2^a fuente ("2nd Source") → La fuente V_{GS} : Tomará valores entre 0 y 5 V, con un incremento de 1 V

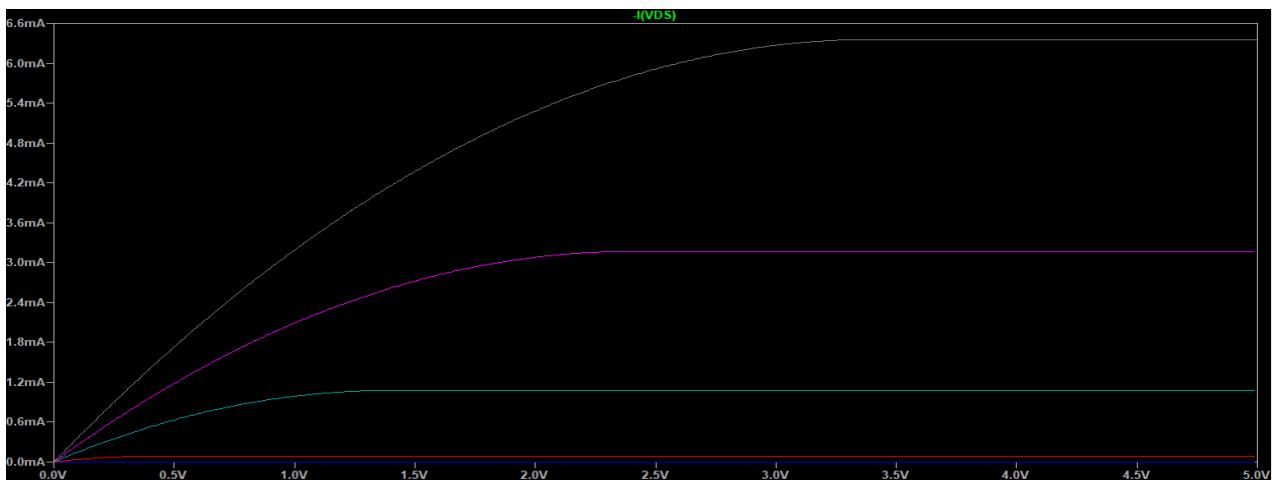


Para los transistores MOSFET debemos introducir a mano los modelos de la siguiente forma: Pinchamos en "Edit → SPICE Directive", y tecleamos las siguientes líneas:

```
.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.

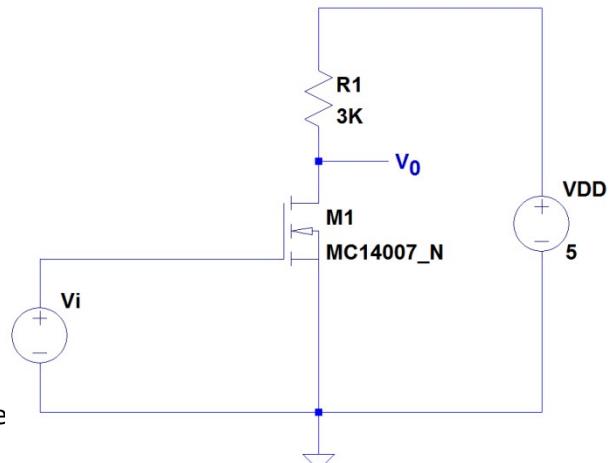
1.1.1. Dibuja las curvas obtenidas al representar la intensidad de drenador_D/frente a V_{DS} , y señala sobre ellas las zonas de funcionamiento del transistor MOSFET.



1.2. Estudio de un inversor NMOS.

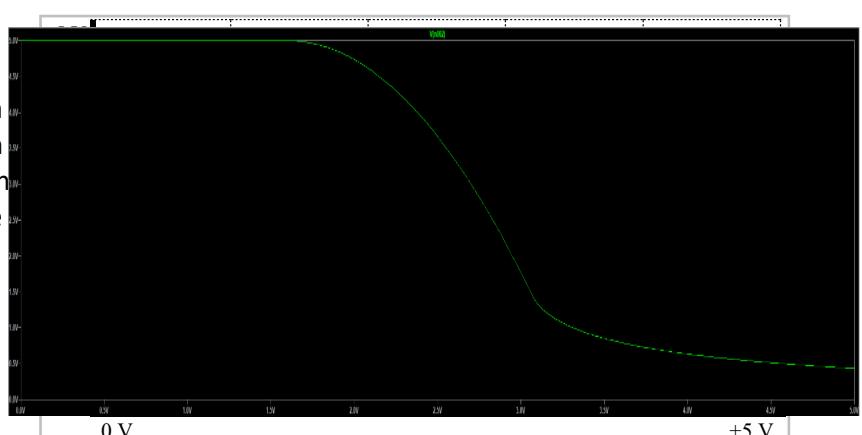
La siguiente figura nos muestra un inversor NMOS. Utilizando el simulador LTSpice obtendremos las siguientes gráficas y calcularemos una serie de parámetros a partir de las mismas:

- Característica de Transferencia (V 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_D).



1.2.1. Característica de Transferencia de un inversor NMOS.

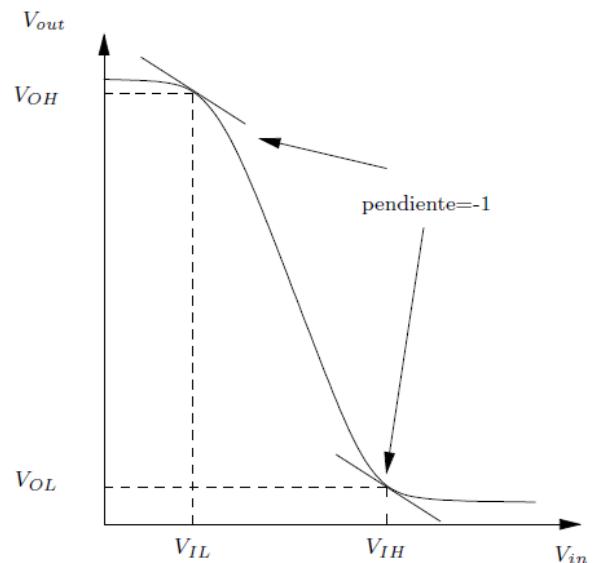
El objetivo es obtener la señal de salida V_o en función de la entrada V_i . Para ello se debe realizar un análisis en continua (análisis ".DC"), efectuando un barrido sobre la señal V_i de entrada entre 0V y 5V. Utilizar un incremento de 0.01V por ejemplo.



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):

$V_{IL} = 1.9V$
$V_{IH} = 3.3V$
$V_{OL} = 1V$
$V_{OH} = 4.8V$
$NM_L = 0.9V$
$NM_H = 1.5V$

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

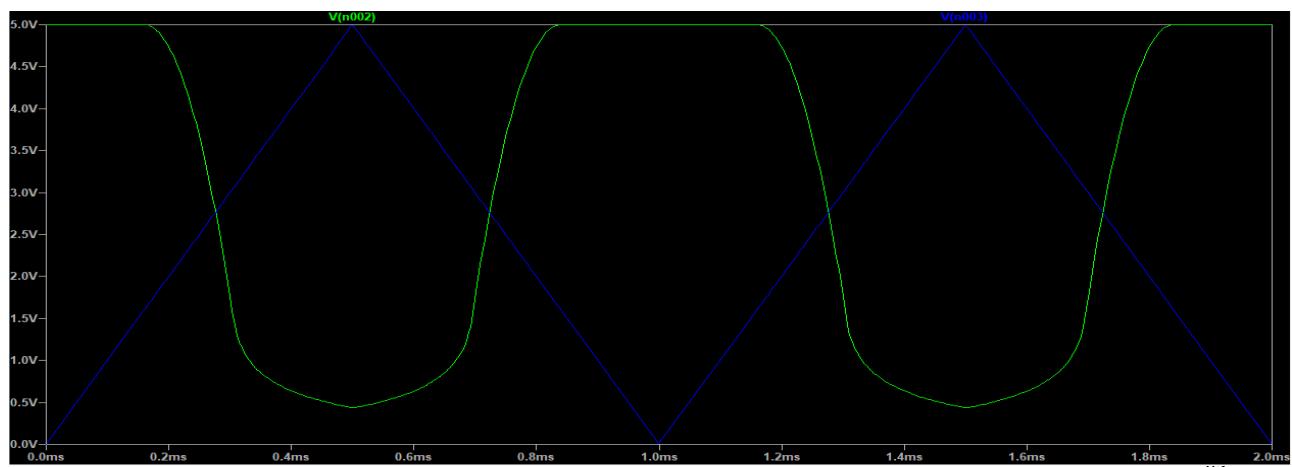


Comenta la característica de transferencia del inversor NMOS a la vista de su gráfica de V_{out} función de V_i :

Vemos como el transistor NMOS invierte la señal, ya que al darle valores altos de entrada (5V), nos da valores bajos de salida (0V) y viceversa. Podemos ver la transición en la curva, a partir de 1.9V, la salida comienza a bajar hasta llegar a valores bajos, pero no nulos.

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 nuestro caso, 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_i 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.

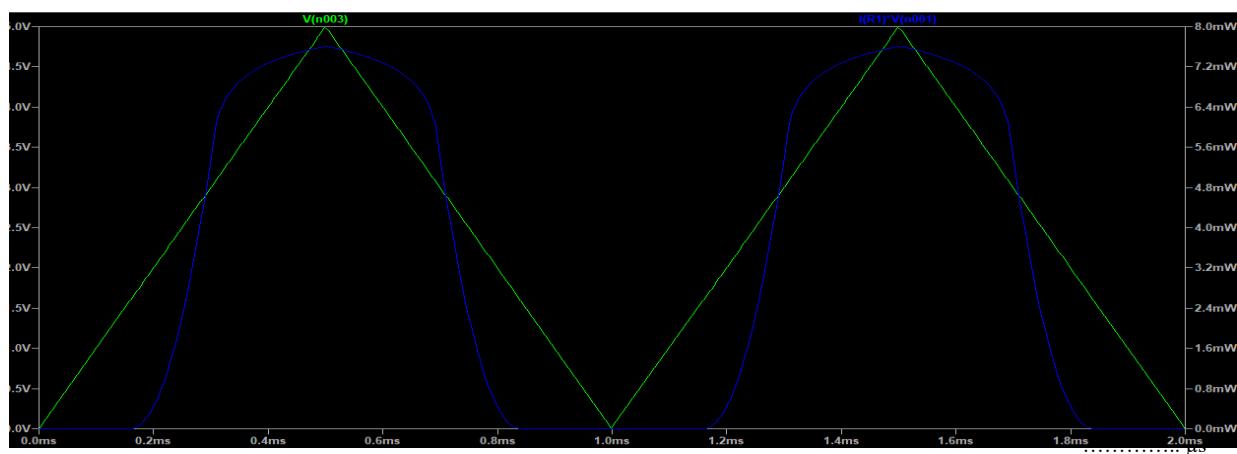


Comenta el comportamiento del inversor NMOS a la vista de esta gráfica:

Al tomar valores de entrada bajos, con una tensión umbral de unos 1.9V, la salida del transistor es alta, llegando a los 5V. A la inversa, cuando la entrada pasa a dar valores altos, la salida disminuye, sin llegar a dar valores nulos dada la conductividad que sigue existiendo

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 KΩ 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.



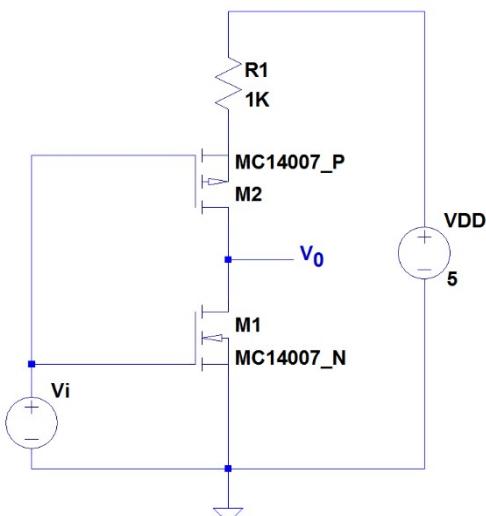
A partir de la simulación anterior, calcula la potencia instantánea máxima consumida en el circuito, expresada en mW, para las siguientes situaciones:

- | |
|--|
| a) Cuando V_0 tiene nivel lógico "0" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 7.6mW$ |
| b) Cuando V_0 tiene nivel lógico "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 0W$ |
| c) Transición de V_0 de "0" a "1" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 3.8mW$ |

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:

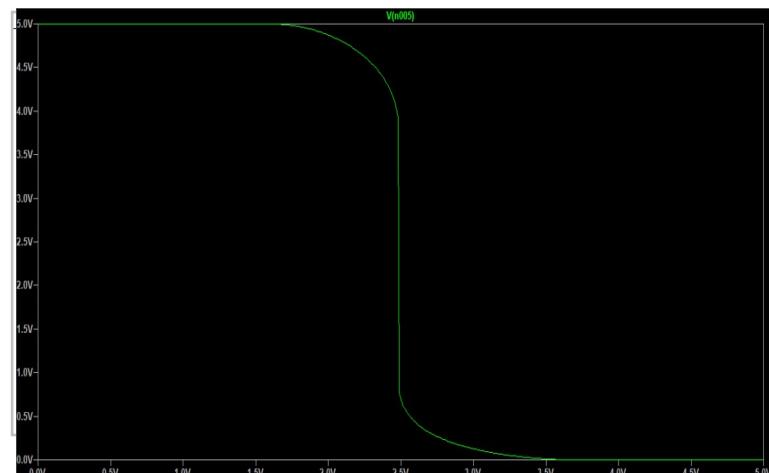
- Característica de Transferencia (V_o en función de V_i). Cálculo de Parámetros Estáticos.
- Respuesta temporal del circuito, medida en la salida V_o , cuando se introduce en V_i una señal triangular.
- Consumo o potencia del circuito (P), siendo éste el producto de la tensión de la fuente que alimenta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



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

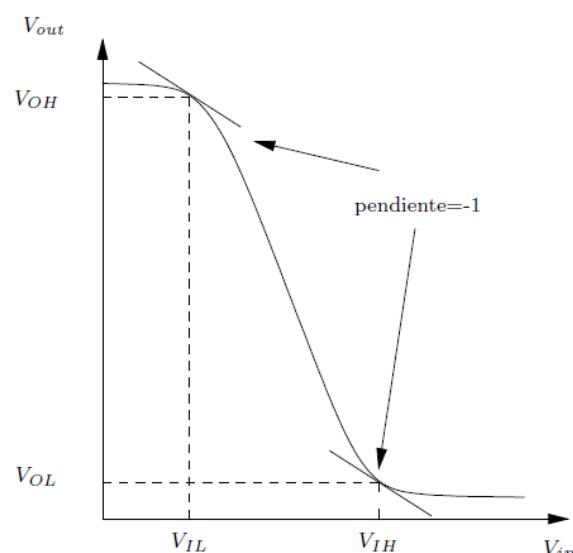
1.3.1. Característica de Transferencia de un inversor CMOS.

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):

$V_{IL} = 2.13V$
$V_{IH} = 2.67V$
$V_{OL} = 331.8mV$
$V_{OH} = 4.76V$
$NM_L = 1.9V$
$NM_H = 2.09V$



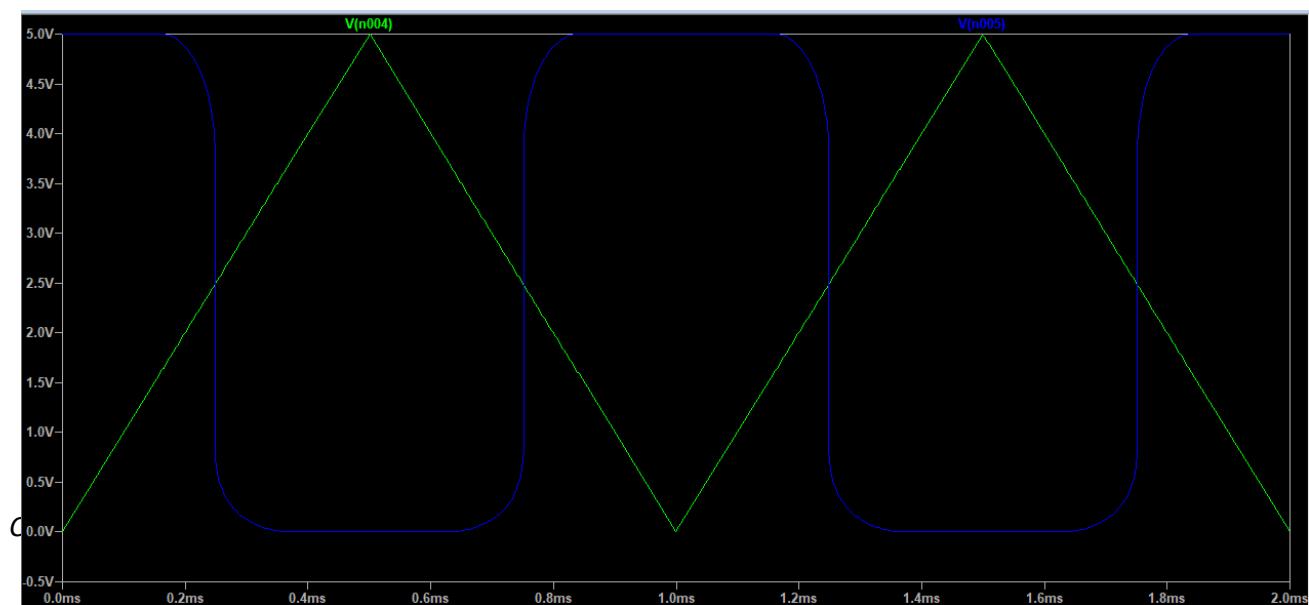
Nota: NM_L y NM_H son los márgenes de ruido a nivel bajo y alto, respectivamente.

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

Vemos que a diferencia del NMOS, la caída es mucho más vertical. Al tomar valores de entrada altos, nos devuelve valores de salida bajos y viceversa, con una bajada y subida bastante rápidas.

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, i verá 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 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.

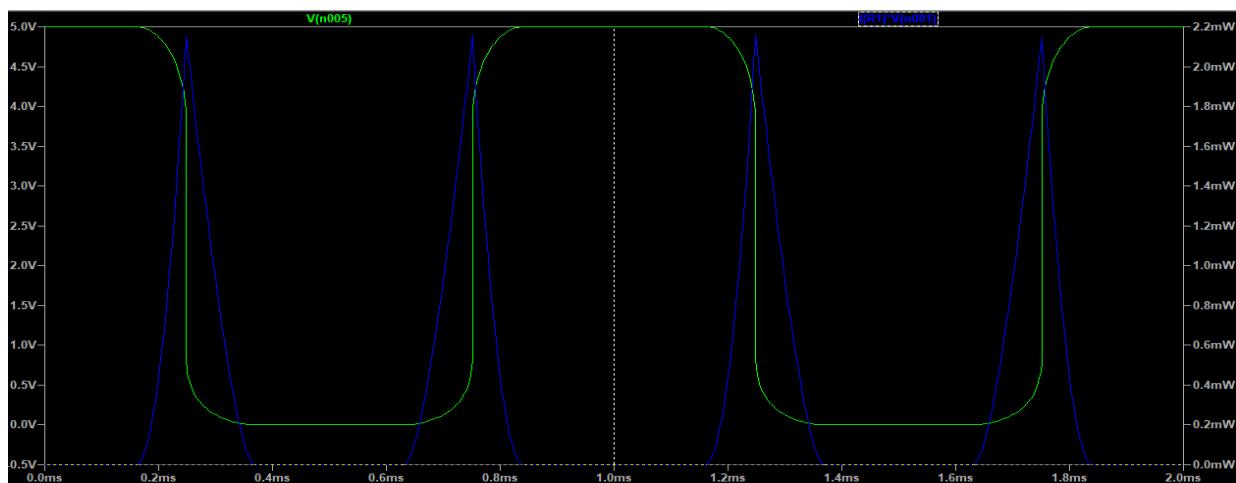


El inversor CMOS invierte la señal de entrada, siendo más rápido que el transistor NMOS debido al uso de dos transistores en vez de uno, aprovechando cuando uno está en corte, el otro en saturación.

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, 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 $1\text{ k}\Omega$ 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:

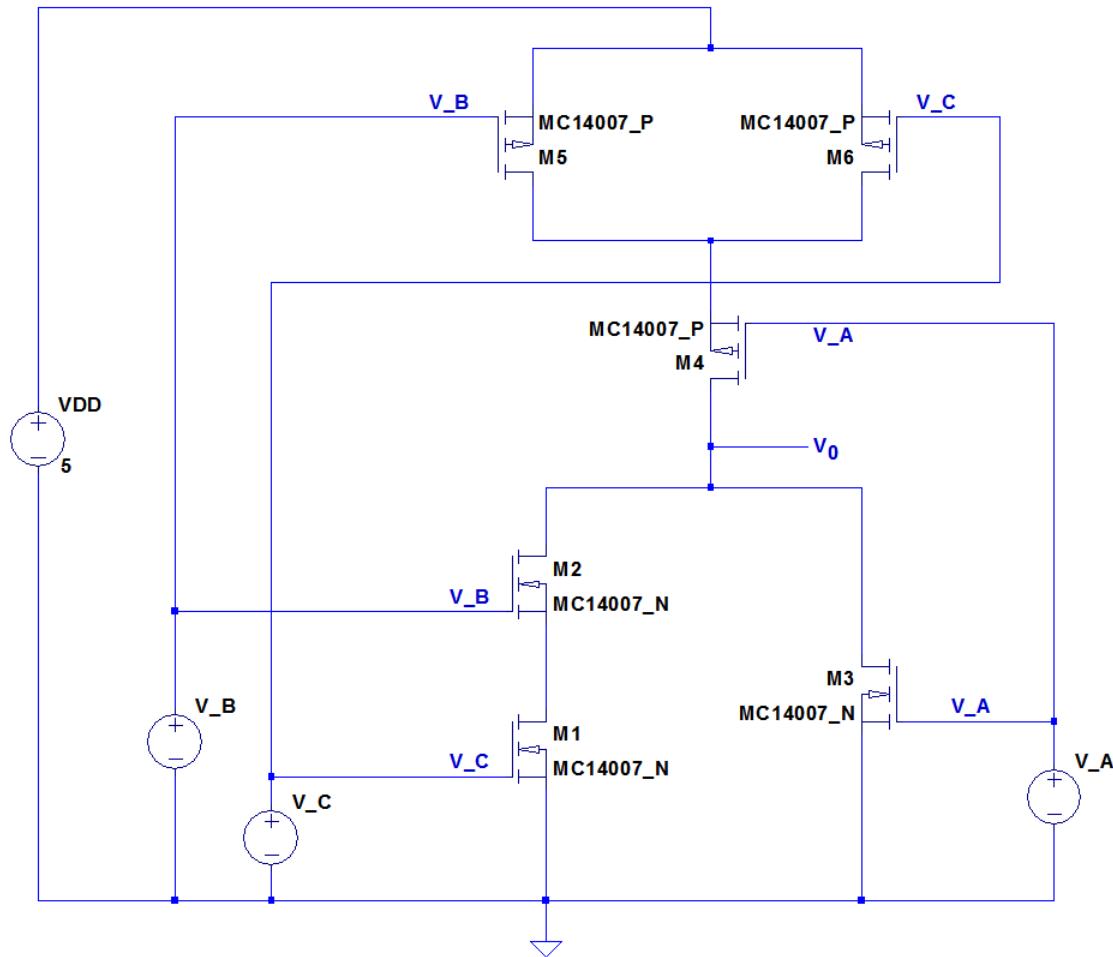
- a) Cuando V_0 tiene nivel lógico “0” $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 0\text{W}$
- b) Cuando V_0 tiene nivel lógico “1” $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 0\text{W}$
- c) Transición de V_0 de “0” a “1” $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} = 1.23\text{mW}$

Compara los resultados obtenidos del inversor NMOS con los del inversor CMOS, razonando cuál te parece mejor en base a los parámetros medidos sobre los mismos (Característica de Transferencia, Respuesta Temporal y Consumo):

Podemos concluir que el transistor CMOS es mucho más rápido que el NMOS. Además, hemos observado en el último apartado que el consumo del CMOS es muchísimo más bajo, siendo prácticamente 0W en cualquier salida del transistor. Vemos que los únicos picos de consumo se dan en las transiciones. Es mejor el CMOS

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 50n 50u 100u)

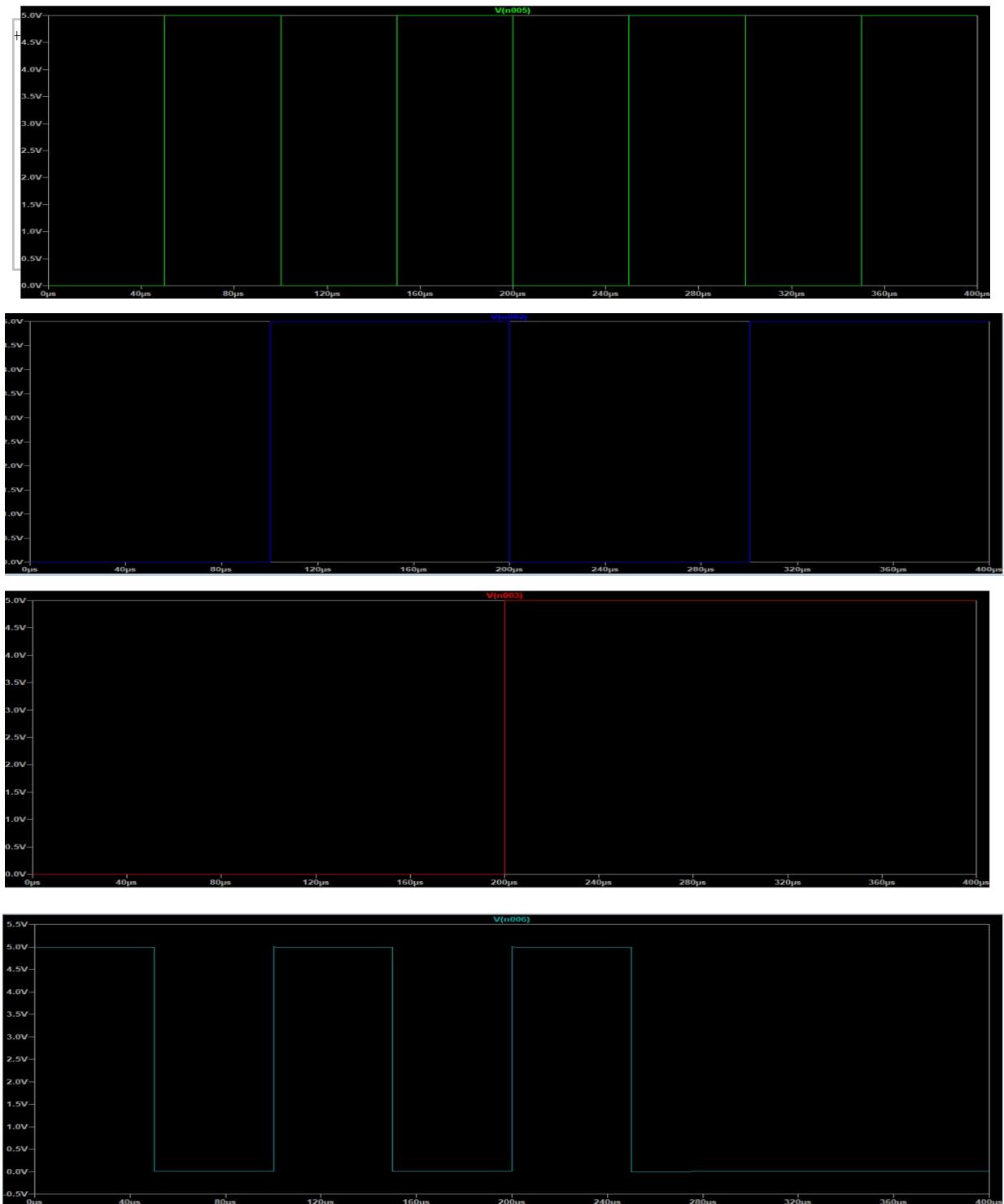
V_B : PULSE(0 5 100u 50n 50n 100u 200u)

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 .

1.4.1. Señales de entrada V_A , V_B , V_C , y señal de salida V_0 .



Anota la función lógica que realiza el circuito:

$$\begin{aligned}
 \bar{a} \bar{b} \bar{c} + \bar{a} b \bar{c} + \bar{a} \bar{b} c &= \bar{a} (\bar{b} \bar{c} + b \bar{c} + \bar{b} c) = \\
 \bar{a} (\bar{c} (\bar{b} + b) + \bar{b} c) &= \bar{a} (\bar{c} + \bar{b} c) \\
 \bar{a} ((\bar{c} + \bar{b}) (\bar{c} + c)) &= \bar{a} (\bar{c} + \bar{b})
 \end{aligned}$$

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 unos ficheros con extensión .PLT y .RAW 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. Añade al archivo comprimido el archivo .PDF con los resultados obtenidos y los comentarios solicitados.

Parte 2. Montaje en Laboratorio con Transistores MOSFET.

Material Necesario

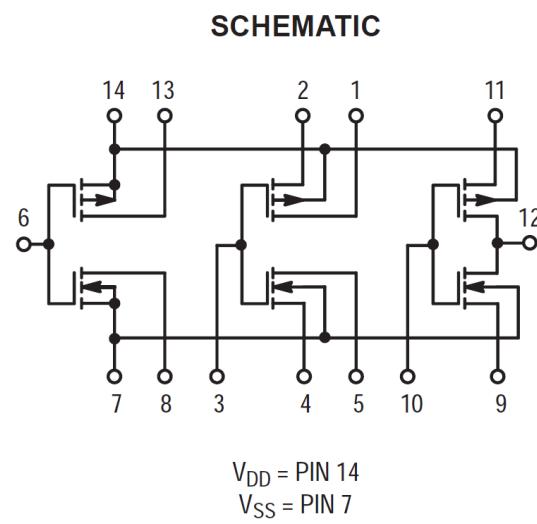
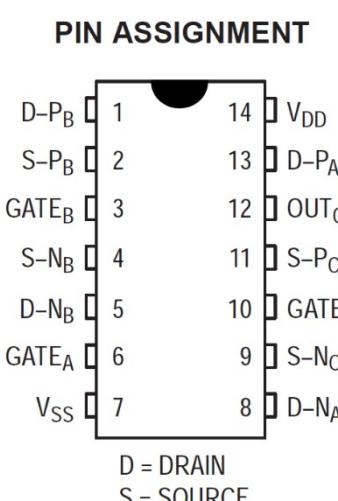
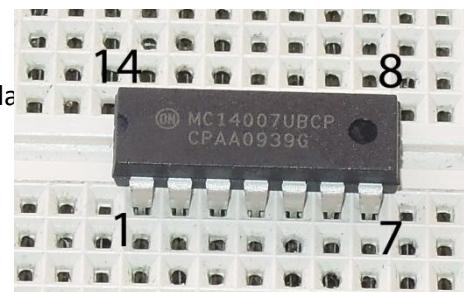
- Fuente de Alimentación
- Generador de funciones
- Osciloscopio
- Material de la caja del puesto: Protoboard, cables, etc.
- 1 Circuito Integrado MC14007
- 3 Resistencias de 1 KΩ

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)

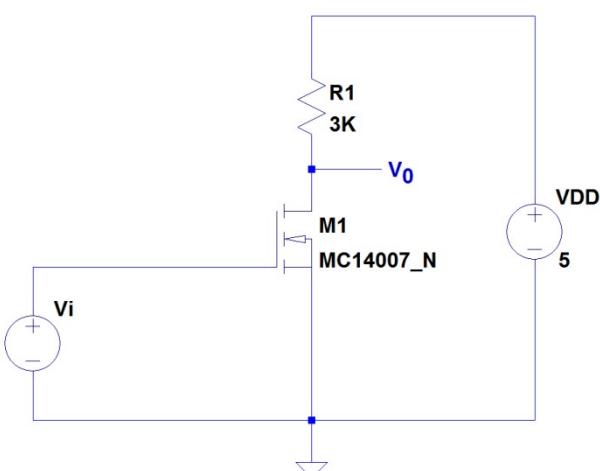
Este circuito integrado posee 3 transistores MOSFET de acumulación de canal P (los tres superiores que se aprecian en la figura de abajo a la derecha) y otros 3 de canal N (los 3 inferiores). La distribución de pines queda como sigue:



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_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 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_D).



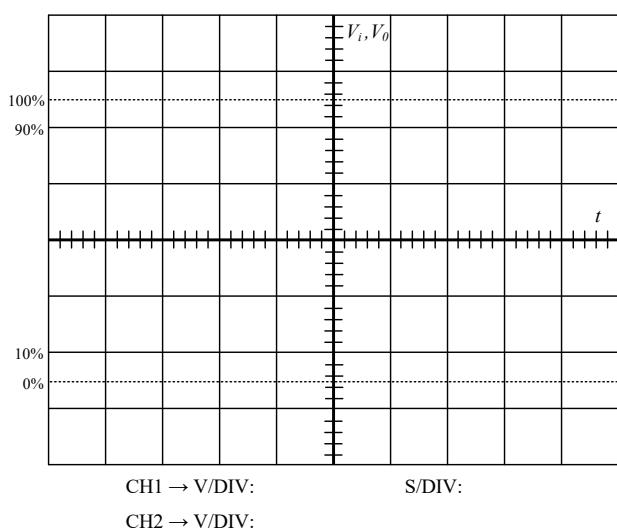
Para ello se debe montar en la protoboard el inversor NMOS mostrado utilizando un transistor de canal N del integrado MC14007, si bien al no disponer de transistores MOSFET de deplexión en dicho integrado lo sustituiremos por una resistencia de 3 KΩ.

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

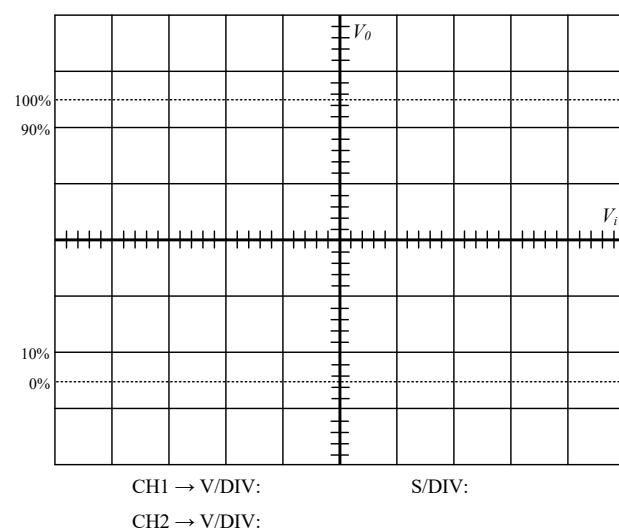
2.2.1. Respuesta temporal de un inversor NMOS, siendo V_i una señal triangular, y Característica de Transferencia.

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). Tal y como se hizo en las prácticas anteriores, se representarán simultáneamente las señales V_i y V_o en función del tiempo (Medida 1). A continuación, se representará en el osciloscopio la gráfica de V_o (eje Y) frente a V_i (eje X), es decir, en modo X-Y, que será la característica de transferencia (Medida 2).

Medida 1: V_i y V_o en func. del tiempo



Medida 2: Modo X-Y (V_o en func. de V_i)

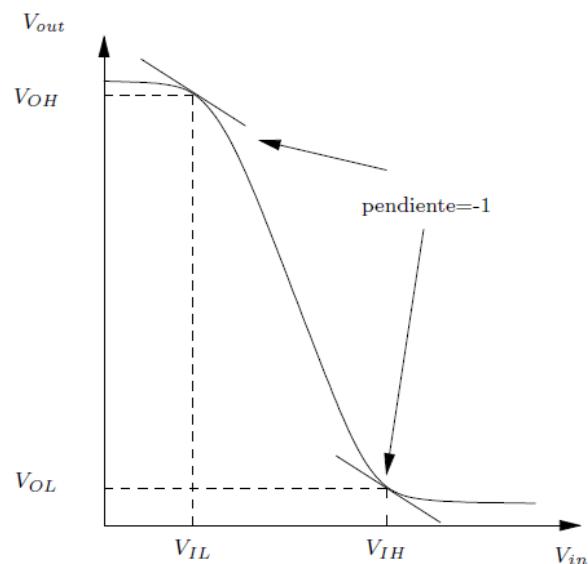


A partir de la característica de transferencia anterior es posible calcular los valores de los llamados Parámetros Estáticos. Para medir dichos valores se escogen los puntos donde la pendiente de la característica de transferencia toma el valor -1, si bien en la pantalla del osciloscopio no podremos saber exactamente dónde se encuentran los mismos, por lo que habrá que aproximar esos valores. Nota: Para obtener una mejor precisión en las medidas, utilizar una escala de Voltios/División más pequeña de lo habitual (0.5V/DIV ó incluso menor), de esa manera se podrán visualizar mejor los resultados. Anotar en la tabla de la Medida 3 los valores hallados:

Medida 3: 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.

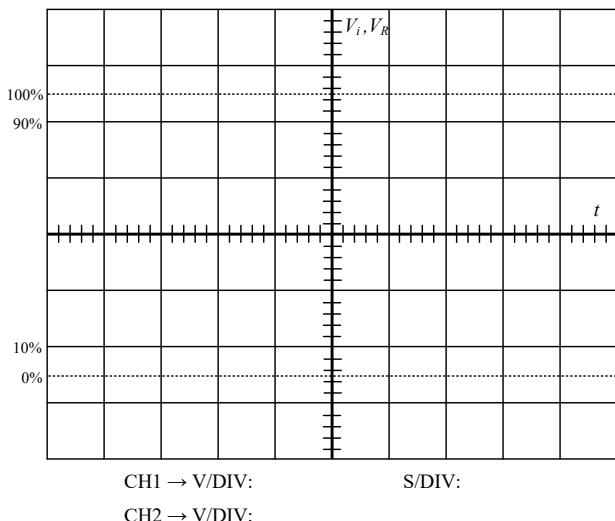
A continuación, vamos a calcular el consumo de potencia estática del circuito ($P = V_{DD} * I_{DD}$). Para ello se deben considerar dos situaciones, dependiendo de que la salida del circuito se encuentre en cada uno de los dos niveles lógicos ("0" y "1").

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 KΩ. Para ello mediremos con en el osciloscopio la diferencia de potencial que existe en la resistencia de 3 KΩ (V_R) (al igual que en la práctica 2 utilizando las dos sondas y calculando la diferencia entre los dos canales, esto es, invirtiendo el canal 2 y seleccionando "ADD" en el osciloscopio), y posteriormente calcularemos el valor de la corriente utilizando la ley de Ohm:

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

Quiere decir esto que la intensidad I_{DD} que proporciona la fuente y que circula por el MOSFET es exactamente igual a la tensión V_R que estamos representando en la pantalla del osciloscopio, pero dividida por 3000, por lo que si usamos una escala vertical de 2 Voltios/División, por ejemplo, en realidad estamos representando 2/3 mA/División.

Medida 4: V_i y V_R en func. del tiempo



Nota: De manera directa no se pueden representar simultáneamente las señales de entrada V_i y la medida en V_R , porque 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). Es por ello que será necesario que el alumno idee alguna forma de poder obtener las dos señales superpuestas, de la misma forma que se ha obtenido al hacer la simulación del circuito con el LTSpice.

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” $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

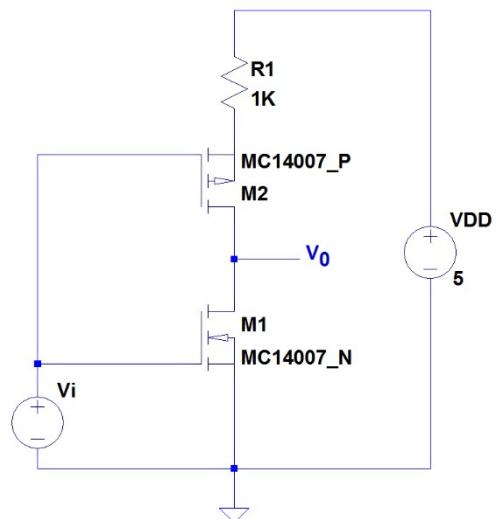
b) Cuando V_o tiene nivel lógico “1” $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$

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

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}).

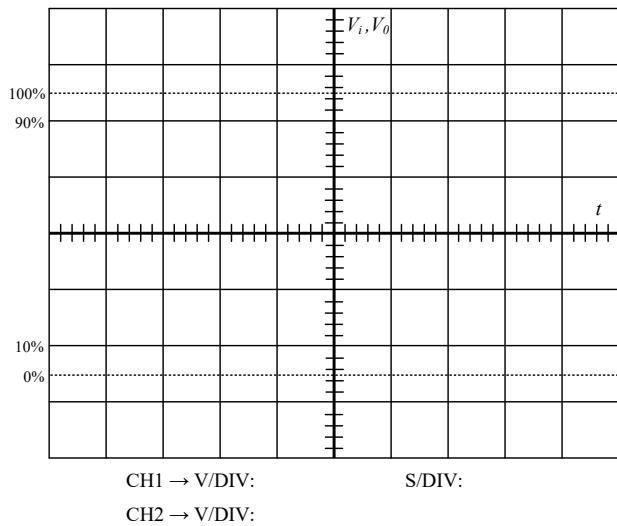
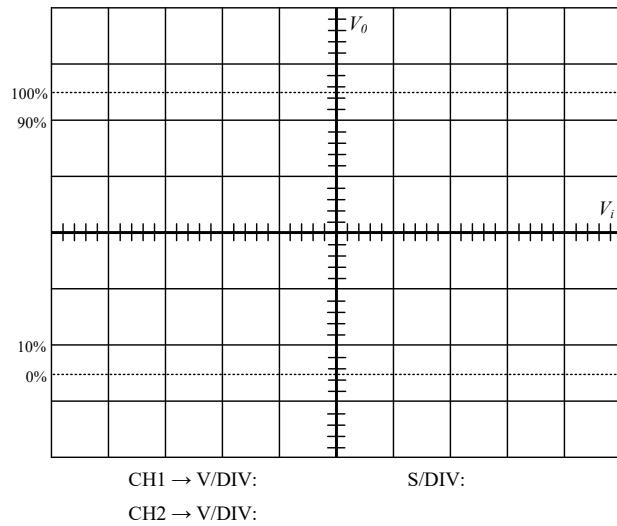


Para ello se debe montar en la protoboard el inversor CMOS mostrado utilizando un transistor de canal N y otro de canal P del integrado MC14007 de forma que estos dos comparten el terminal de puerta (escoger un par de transistores adecuados observando el esquema del circuito integrado).

Nota: Se ha añadido una resistencia de 1 KΩ 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). Tal y como se hizo en las prácticas anteriores, se representarán simultáneamente las señales V_i y V_o en función del tiempo (Medida 5). A continuación, se representará en el osciloscopio la gráfica de V_o (eje Y) frente a V_i (eje X), que será la característica de transferencia (Medida 6).

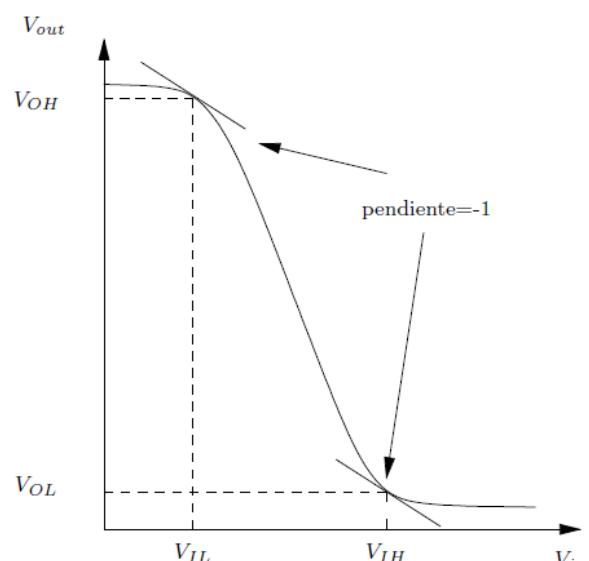
Medida 5: V_i y V_o en func. del tiempo**Medida 6: Modo X-Y (V_o en func. de V_i)**

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. Nota: Para obtener una mejor precisión en las medidas, utilizar una escala de Voltios/División más pequeña de lo habitual (0.5V/DIV ó incluso menor), de esa manera se podrán visualizar mejor los resultados. Anotar en la tabla de la Medida 7 los valores hallados:

Medida 7: 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.

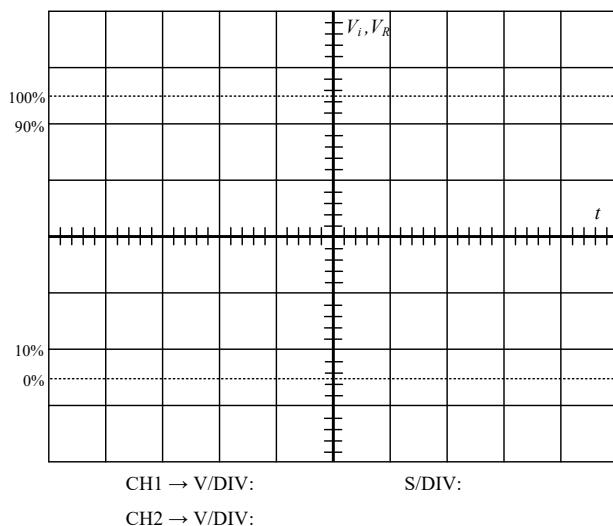
A continuación, vamos a calcular el consumo de potencia estática del circuito ($P = V_{DD} * I_{DD}$). Para ello se deben considerar dos situaciones, dependiendo de que la salida del circuito se encuentre en cada uno de los dos niveles lógicos ("0" y "1").

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 $1\text{ K}\Omega$. Para ello mediremos con el osciloscopio la diferencia de potencial que existe en la resistencia de $1\text{ K}\Omega$ (V_R) (al igual que en la práctica 2 utilizando las dos sondas y calculando la diferencia entre los dos canales, esto es, invirtiendo el canal 2 y seleccionando "ADD" en el osciloscopio), y posteriormente calcularemos el valor de la corriente utilizando la ley de Ohm:

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

Quiere decir esto que la intensidad I_{DD} que proporciona la fuente y que circula por el MOSFET es exactamente igual a la tensión V_R que estamos representando en la pantalla del osciloscopio, pero dividida por 1000, por lo que si usamos una escala vertical de 2 Voltios/División, por ejemplo, en realidad estamos representando 2 mA/División.

Medida 8: V_i y V_R en func. del tiempo



Nota: De manera directa no se pueden representar simultáneamente las señales de entrada V_i y la medida en V_R , porque 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). Es por ello que será necesario que el alumno idee alguna forma de poder obtener las dos señales superpuestas, de la misma forma que se ha obtenido al hacer la simulación del circuito con el LTSpice.

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" $\rightarrow P = V_{DD} * I_{DD} =$ |

PRÁCTICAS DE FUNDAMENTOS DE ELECTRÓNICA

El mundo de la electrónica es muy amplio, y en este manual se pretende abordar una primera toma de contacto con el mismo. Es por ello que se han preparado una serie de prácticas de simulación y montaje enfocadas a introducir al alumno en los dispositivos electrónicos más básicos (fuentes de tensión e intensidad, resistencias, diodos y transistores) así como en la base de cualquier circuito digital (puertas lógicas y elementos de memoria, esto es, biestables). La primera parte de este manual se enfoca a realizar prácticas para tomar destreza en la simulación e implementación física en el laboratorio de circuitos basados en dispositivos electrónicos básicos y en semiconductores, con el objetivo de poder crear puertas lógicas con los mismos, tras lo cual las analizaremos y estudiaremos su comportamiento. La segunda parte de este manual se encamina a dotarle al alumno de los conocimientos necesarios para poder crear un esquemático con un circuito digital realizado a base de puertas lógicas y elementos de memoria (biestables), así como para simularlo e incluso poder probarlo físicamente en el laboratorio a través del uso de una plataforma digital programable como es una CPLD.

ISBN 978-84-695-8851-2



9 788469 588512