

**Instituto Tecnológico de Massachussets
Departamento de Ingeniería Eléctrica e Informática**

**6.002 – Circuitos Electrónicos
Otoño 2000**

**Práctica 4: Amplificadores inversores MOSFET y circuitos de primer orden
Boletín F00-37**

Introducción

En esta práctica tendrá que construir, probar y demostrar el funcionamiento del sistema de reproducción de audio que diseñó en las tareas para casa número 11. Al igual que en prácticas anteriores, para los ejercicios de laboratorio se trabajará por parejas. La práctica consta de dos partes: los ejercicios pre-práctica y los ejercicios de laboratorio (en esta ocasión no hay ejercicios post-práctica). Es necesario que complete los ejercicios pre-práctica en su cuaderno de prácticas antes de asistir al laboratorio. Posteriormente, realice los ejercicios de laboratorio entre el 30 de noviembre y el 8 de diciembre. Una vez completados, entréguelos al TA para que se los corrija le firme el cuaderno de prácticas. Si lo desea, puede entregar en ese momento su cuaderno de prácticas para que sea calificado.

Ejercicios pre-práctica

- (4-1) Copie su diseño del reloj del problema 1 de las tareas para casa número 11 en su cuaderno de prácticas. Etiquete todos los nombres y valores de las resistencias y del condensador.
- (4-2) Junto a su diseño del reloj, copie en el cuaderno de prácticas el gráfico del apartado (E) del problema 1 de las tareas para casa número 11. Esta información le servirá para determinar si el reloj que construya en el ejercicio de laboratorio 4-2 funciona correctamente.
- (4-3) Copie su diseño del conversor analógico-digital del problema 2 de las tareas para casa número 11 en su cuaderno de prácticas. Etiquete todos los nombres y valores de las resistencias.
- (4-4) Junto a su diseño del conversor analógico-digital, realice una tabla en la que se muestre la salida v_{OUT} que se espera del conversor cuando cada uno de los bits de datos de las tensiones de entrada es igual a 5 V y los restantes a 0 V. Base la tabla en los valores reales de resistencia que utilizó en su diseño. Además, anote los valores esperados de la tensión de offset v_{OFF} necesaria para centrar el conversor. Esta información le servirá para determinar si el conversor que construya en el ejercicio de laboratorio 4-4 funcionará correctamente.
- (4-5) Copie en su cuaderno de prácticas el diseño del filtro de paso bajo del problema 3 de las tareas para casa número 11 Etiquete todos los valores y nombres de la resistencia y del conversor.

- (4-6) Copie en su cuaderno de prácticas junto a su diseño del filtro de paso bajo el gráfico del apartado (F) del problema 3 de las tareas para casa número 11. Diseñe además una tabla en la que se muestre la magnitud y fase esperadas de la salida v_{LPF} del filtro dada una entrada sinusoidal pico a pico de 2-V con una frecuencia de 4, 8 y 16 kHz. Base la tabla en los valores reales de la resistencia y el convertor que utilizó en su diseño. Esta información le servirá para determinar si el filtro que construya en el ejercicio de laboratorio 4-6 funciona correctamente.
- (4-7) Copie en su cuaderno de prácticas el diseño de la etapa de control de volumen del problema 4 de las tareas para casa número 11. Etiquete todos los valores y los nombres de la resistencia y del condensador.
- (4-8) Junto a su diseño de la etapa de control de volumen, realice una tabla en la que se muestren la magnitud y la fase esperadas de la salida de la etapa de control de volumen v_{OUT} dada una entrada sinusoidal pico a pico de 2-V con una frecuencia de 10 Hz, 100 Hz y 1 kHz. Base la tabla en los valores reales de la resistencia y el convertor que utilizó en su diseño. Esta información le servirá para determinar si el amplificador que construya en el ejercicio de laboratorio 4-8 funcionará correctamente.

Ejercicios de laboratorio

Los ejercicios de práctica implican la construcción y comprobación de los bloques funcionales individuales del sistema reproductor de audio y, posteriormente, el funcionamiento del sistema como una unidad. Antes de comenzar con los ejercicios de laboratorio, debe conseguir de la mesa de instrumentos del laboratorio una tarjeta enchufable con el contador, la memoria, los auriculares, el enchufe de los auriculares, un chip inversor CMOS 74HC14 para construir el reloj y un paquete de resistencias de 10 y 20 k Ω para construir el convertor analógico-digital. Cuando termine la práctica puede quedarse con el chip inversor y las resistencias, pero debe devolver la tarjeta, los altavoces y el enchufe del altavoz. *Nota: dado que disponemos de escasos auriculares y tarjetas, DEBE entregarlos en la mesa de instrumentos si nos los está utilizando.*

Los ejercicios de laboratorio están organizados de forma que al mismo tiempo pueda construir y probar un bloque funcional. Una vez que se asegure de que cada bloque funciona correctamente los irá conectando a los que ya funcionan. Por consiguiente, unas veces construirá y otras probará las diferentes partes del sistema de reproducción de audio. *A medida que vaya desarrollando el sistema de esta forma, es fundamental que desconecte la corriente del protoboard antes de realizar cualquier modificación en su sistema o de comenzar con una construcción nueva. Compruebe también cuidadosamente el cableado antes de volver a conectar la corriente.* De esta forma evitará posibles daños en los componentes del sistema y se ahorrará bastante tiempo en la depuración.

Por último, construya los bloques funcionales de la forma más neta y compacta posible. De esta forma, le resultará más fácil utilizar los componentes para conectarlos unos a otros, en lugar de utilizar cables adicionales. Esta operación le ahorrará bastante tiempo en la construcción y la depuración.

- (4-1) Puesto que estará trabajando por parejas, sería conveniente que uniese los dos protoboard para simplificar el montaje del circuito, ya que esto le proporcionará más

espacio de cableado. Para minimizar la utilización de cable en esta práctica, el contador y la memoria ya vienen montados en una tarjeta de circuito impreso. La parte posterior de esta tarjeta contiene unos pines que se conectarán a los protoboard durante la práctica. Conecte los pines a los protoboard de forma que cada pin quede insertado en una fila distinta del protoboard. Además, ubique la placa de forma que quede un espacio considerable para el protoboard en el lateral con los bits de datos de salida de la memoria, lo cual facilitará la conexión a la placa. El reloj se puede construir entonces encima de la placa, mientras que el conversor analógico-digital, el filtro de paso bajo y el búfer pueden construirse a la derecha de la misma.

La figura 1 muestra las asignaciones de los pines en el caso de la tarjeta de circuito impreso. Los pines correspondientes a los bits de datos de salida de memoria se encuentran a la derecha y los de potencia, toma de tierra y entrada del reloj al contador se ubican a la izquierda. Debe conectar el pin de potencia a la fuente de alimentación de 5-V en el protoboard y el pin de tierra a la toma de tierra del protoboard. Existen también cuatro pines de control de memoria y de contador que deben conectarse a la fuente de alimentación de 5-V y a la toma de tierra, tal y como se indica en la figura 1.

- (4-2) Siguiendo el diseño que realizó en el ejercicio pre-práctica 4-1, construya el reloj utilizando el chip inversor 74HC14 que obtuvo anteriormente. En la figura 2 se muestran las asignaciones de los pines en el caso del chip inversor. Utilice dos inversores cualquiera de los que hay en el chip y deje los otros sin conectar. No conecte todavía la salida v_{CLK} del reloj a la entrada del reloj del contador. En su lugar, utilice un canal del osciloscopio para observar la salida v_{OSC} del oscilador y active el osciloscopio desde ese canal. Utilice el otro canal para observar v_{CAP} y la salida v_{CLK} del reloj. Compare lo que observa con el osciloscopio con el gráfico que preparó en el ejercicio pre-práctica 4-2 para así determinar si el reloj funciona o no correctamente. En concreto, la salida v_{CLK} del reloj debe permanecer entre 0 y 5 V para no dañar el contador que ésta acciona.
- (4-3) Siempre que el reloj funcione correctamente y, más importante aún, que la salida v_{CLK} del reloj se mantenga entre 0 y 5 V, conecte la salida del reloj a la entrada del reloj del contador. Con ayuda del osciloscopio, compruebe que ocho bits de datos de la salida de memoria cambian con el tiempo.
- (4-4) Siguiendo el diseño que realizó en el ejercicio pre-práctica 4-3, construya el conversor analógico-digital utilizando un amplificador operacional 741 y las resistencias del paquete que obtuvo anteriormente. En la figura 3 se muestran las asignaciones de los pines para el amplificador operacional 741. No conecte todavía las entradas de bits de datos del conversor a las salidas de bits de datos de la memoria. En su lugar, ajuste la tensión de offset v_{OFF} en 0 V y conecte cada entrada por separado a la fuente de alimentación de 5-V, dejando las otras entradas conectadas a tierra. A continuación, mida v_{DAC} con el multímetro y compare las mediciones con los datos de la tabla que preparó en el ejercicio pre-práctica 4-4 para así determinar si el conversor funciona o no correctamente.
- (4-5) Conecte las ocho entradas de bits de datos del conversor analógico-digital a sus salidas de bits de datos correspondientes de la memoria (consulte la figura 1 para las asignaciones de los pines de memoria). Observe la salida v_{DAC} del conversor con

ayuda del osciloscopio. Debería observar una señal de audio reconstruida de forma poco a poco constante. Ajuste la tensión de offset v_{OFF} de forma que la señal de audio esté centrada aproximadamente en 0 V.

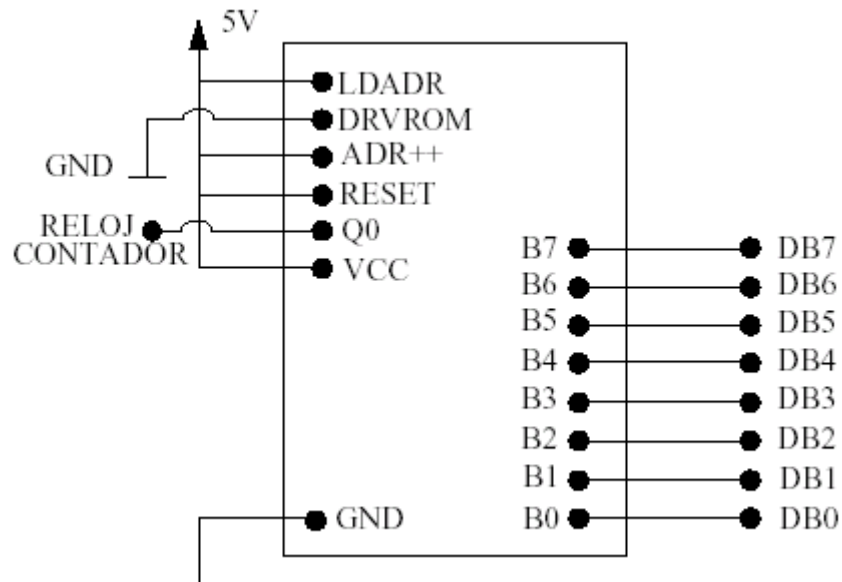


Figura 1: asignaciones de los pines para la tarjeta de circuito impreso que contiene la memoria y el contador.

- (4-6) Siguiendo el diseño que realizó en el ejercicio pre-práctica 4-5, construya el filtro de paso bajo utilizando un amplificador operacional 741. Ajuste el generador de funciones de forma que produzca un senoide no polarizado de 1-kHz con una amplitud pico a pico de 2-V y conéctelo a la entrada del filtro. Con un canal del osciloscopio, observe la entrada al filtro y active el osciloscopio desde ese canal y con el otro canal, observe la salida v_{LPF} del filtro. Modifique la frecuencia de su tensión de entrada y compare la respuesta de frecuencia del filtro con la que se predijo en el gráfico y en la tabla del ejercicio pre-práctica 4-6 para, de esta forma, determinar si el filtro funciona o no correctamente.
- (4-7) Conecte la salida del conversor analógico-digital a la entrada del filtro de paso bajo. Con ayuda del osciloscopio, compare la entrada del conversor con la salida del filtro. Aunque aparente las dos salidas parezcan similares, después de una observación detallada, la salida del filtro debería ser considerablemente más regular.

En este punto, los picos de la señal de audio deberían observarse claramente con el osciloscopio en la salida v_{LPF} del filtro de paso bajo. Si es necesario, ajuste R_2 en el conversor analógico-digital de forma que la amplitud pico a pico de la salida v_{LPF} del filtro sea aproximadamente 2.5 V. Este ajuste puede ser necesario si se grabó la señal de audio con una ganancia insuficiente. Además, ajuste de nuevo la tensión de offset v_{OFF} en el conversor en el caso de que la salida del filtro de paso bajo no parezca que está centrada en 0 V.

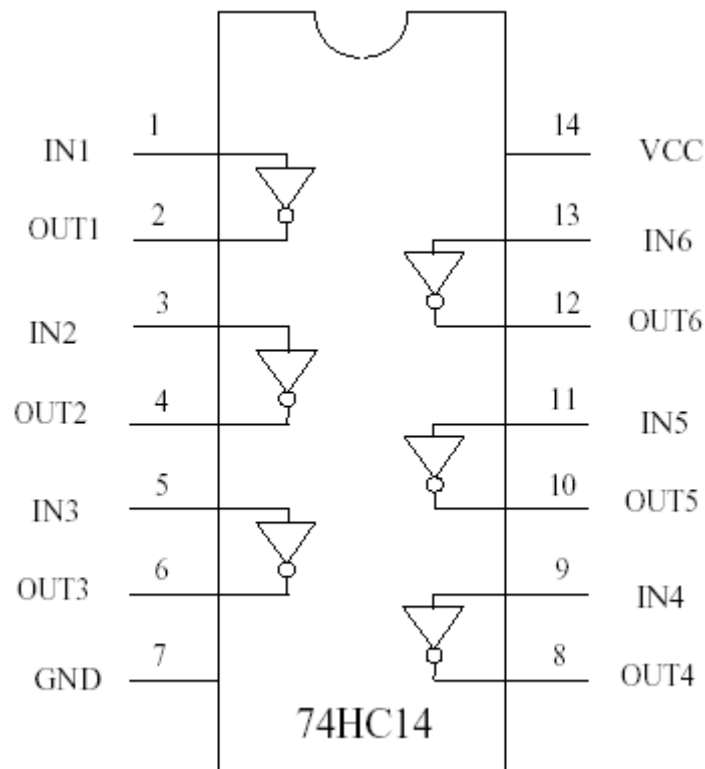


Figura 2: asignaciones de los pines para el chip inversor 74HC14.

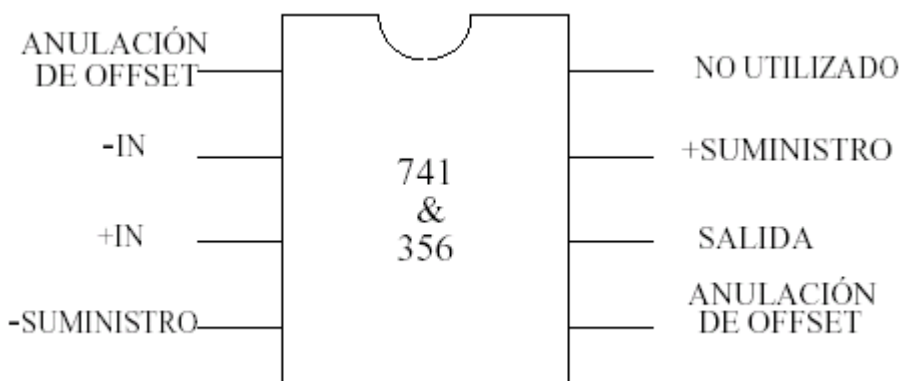


Figura 3: asignaciones de los pines para el amplificador operacional 741.

- (4-8) Siguiendo el diseño que realizó en el ejercicio pre-práctica 4-7, construya la etapa de control de volumen utilizando un amplificador operacional 741, pero no lo conecte aún a los auriculares. En la figura 3 se muestra la asignación de los pines para el amplificador operacional. Ajuste el generador de funciones para producir un senoide no polarizado de 1-kHz con una amplitud pico a pico de 2-V y conéctelo a la entrada del búfer. Con una canal del osciloscopio, observe la entrada a la etapa de control de volumen y active el osciloscopio desde ese canal. Con el otro canal, observe la salida v_{OUT} de la etapa de control de volumen. Modifique la frecuencia de su tensión de entrada y compare la respuesta de frecuencia de la etapa de control de volumen con la que predijo en la tabla del ejercicio pre-práctica 4-8 para determinar así si la etapa de control de volumen funciona o no correctamente.

- (4-9) A continuación, conecte la etapa de control de volumen a los auriculares según su diseño del ejercicio pre-práctica 4-7. Ajuste el generador de funciones de forma que produzca un senoide no polarizado de 1-kHz con una amplitud pico a pico de 2.5-V y conéctelo a la entrada de la etapa de control de volumen. Ahora, debería escuchar un tono armónico. Realice un barrido de la frecuencia del generador de señales sobre el rango de 10 Hz a 10 kHz y utilice el osciloscopio para demostrar de nuevo que la etapa de control de volumen funciona correctamente.
- (4-10) Acabe el sistema de reproductor de audio conectando directamente la salida del filtro de paso bajo a la entrada de la etapa de control de volumen. A continuación, escuchará la señal de audio grabada en la memoria tal y como se reproduce a través del altavoz.
- (4-11) Como ejercicio final de laboratorio, experimente con el sistema de reproductor de audio. Por ejemplo, retire el filtro de paso bajo y observe como cambia su percepción de la señal de audio. Además, desconecte del conversor analógico-digital uno o más bits de datos de memoria de entre los menos importantes y observe como cambia su percepción de la señal de audio. Intente realizar esto con y sin el filtro de paso bajo. ¿Cuántos bits de datos son necesarios para que la señal de audio sea inteligible?