

6.071 Prácticas de laboratorio 3 – Transistores

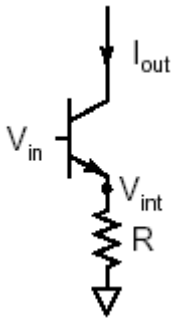
8 de abril de 2002

1 Ejercicios previos, semana 1

Leer atentamente todas las notas de la práctica antes de asistir a la sesión. Esta práctica es acumulativa respecto a la anterior. Hemos hecho todo lo posible para explicar cómo realizar las partes relevantes de la práctica 2 lo más rápido posible. Sin embargo, si no se ha completado la práctica 2, se tardará mucho más en terminar ésta y puede ser necesario trabajar en el laboratorio fuera de las sesiones formales de laboratorio.

1.1 Generador de corriente

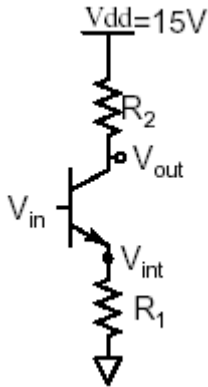
Calcular I_{out} como función de V_{in} (función de transferencia) para este circuito:



En este caso se puede usar el modelo sencillo de 0,6 V que se explicó en clase (suponiendo que el colector del transistor esté a un voltaje suficientemente alto para situarlo en la región lineal. Se supone que $V_{BE} = 0,6V$, $\beta = \infty$). *De hecho, es posible que no se consiga encontrar una solución de forma cerrada si se usa el modelo exponencial exacto.*

1.2 Fase de ganancia

Ahora se usará como fase de ganancia. De nuevo, usando el modelo de 0,6V, proporcionar la V_{out} como función de V_{in} para este circuito:

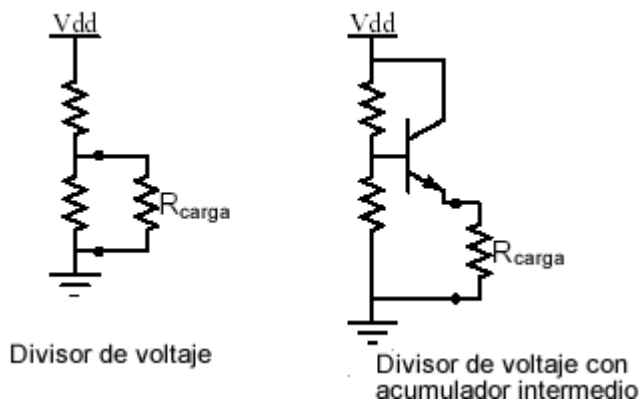


Supóngase otra vez que los valores de la resistencia se eligen de modo que el colector esté a un voltaje suficientemente alto para que el transistor se mantenga en la región lineal. Se puede reutilizar la mayoría del trabajo realizado en la parte anterior.

¿Qué ocurre con la ganancia cuando $R_1 \rightarrow 0$? ¿Es esto físicamente posible? ¿Qué problema hay aquí? (Clave: comparar con la “ganancia” de la parte anterior).

1.3 Acumulador intermedio

Se está intentando establecer un voltaje de polarización a través de una carga desconocida R_{carga} en un circuito. Se ensayarán dos configuraciones:



Sea $\beta = 200$, $V_{BE} = 0.6V$ y los valores de resistencia necesarios para que, en ausencia de carga, $V_{carga} = 5V$.

Si $R_{carga} = 1k$, ¿cuánta corriente pasará a través de la carga? ¿De dónde provendrá esa corriente? ¿Qué impacto cualitativo tendrá sobre el voltaje de salida del divisor de voltaje?

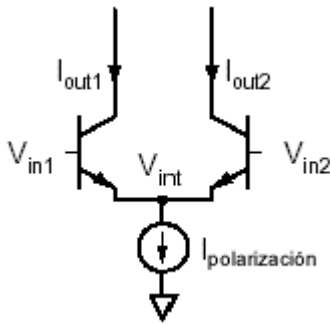
Con el transistor de acumulador intermedio, ¿cuánta corriente pasará a través de la carga? ¿Cuánta corriente adicional se sacará del divisor de voltaje? En comparación, ¿cómo afectará esto al divisor de voltaje?

2 Ejercicios previos, semana 2

Es totalmente imprescindible leer la parte de las notas correspondiente a la práctica antes de realizarla. De lo contrario será muy difícil poder finalizarla.

2.1 Par diferencial

A continuación, se describirá el comportamiento de la señal de gran amplitud de un par diferencial. De nuevo, se supone que los colectores están a un voltaje suficientemente alto para que el transistor se encuentre en la región lineal. Considérese este circuito:



Comportamiento de equilibrio. Sea $V_{in1} = 0V$ y $V_{in2} = 0V$. ¿Cuál es el valor de V_{int} ? ¿Cuáles los de I_{out1} e I_{out2} ? (Usar el modelo de 0,6V)

Comportamiento límite. Sea $V_{in1} = 0V$ y $V_{in2} = 5V$. ¿Cuál es el valor de V_{int} ? ¿Cuáles los de I_{out1} e I_{out2} ? (Usar el modelo de 0,6V)

Ganancia. A continuación, se calculará la ganancia entorno a $V_{in1} = V_{in2}$. En este caso, el sencillo modelo de 0,6V dará una ganancia infinita, por lo que hay que usar el modelo de señal pequeña o el modelo exponencial exacto.

Aplicar un pequeño voltaje positivo a V_{in1} y otro igual, pero negativo a V_{in2} . Razonar por qué, por linealidad, V_{int} no cambia.

Si se conoce el modelo de señal pequeña: configurar dicho modelo. La corriente debería caer con bastante facilidad.

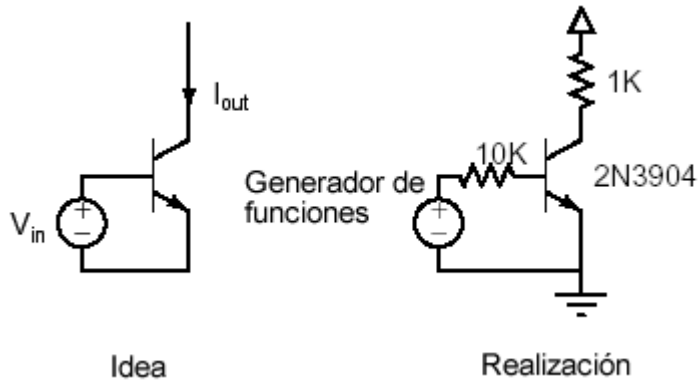
Si no se conoce el modelo de señal pequeña: tomar la relación del transistor: $I_C = I_0 e^{\frac{V_{BE}}{V_{TH}}}$. Aplicar las variables apropiadas para V_B y V_E , y tomar la derivada respecto a V_{in} para hallar

$$\frac{dV_{int}}{dI_{out1}}$$

3 Práctica

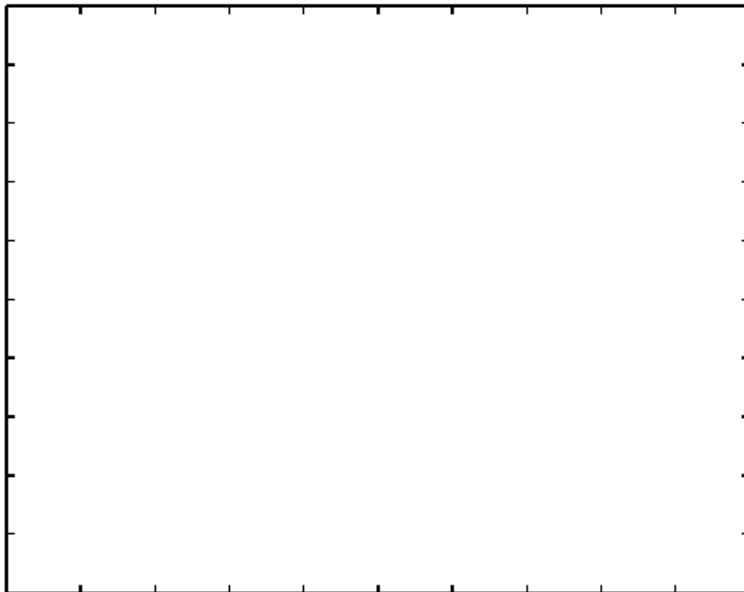
3.1 Introducción al transistor

En esta sección se describirán las propiedades de un transistor ubicado en la región lineal. Se conectará un voltaje a través de la unión base-emisor y se medirá la corriente de salida:



Se utilizará el generador de función para aplicar un voltaje a la unión base-emisor. Para medir la corriente de salida, se puede usar el DMM en modo amperímetro o conectar una resistencia a la salida. Haremos esto último. Dado que la unión base-emisor actúa como un diodo, si se hace pasar a través de ella más de 0,6V se fundirá. Para protegerla, se añadirá una resistencia de 10K en serie con la base.

Conectar el circuito y trazar en este diagrama la corriente de salida como una función del voltaje de salida:



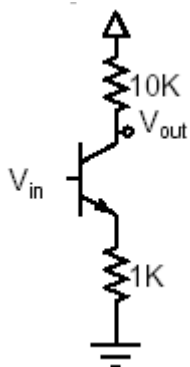
Clave: es mejor utilizar el osciloscopio en modo X-Y. Medir V_{BE} con una sonda y V_C con la otra. Mediante $(V_{DD} - V_C)/1K\Omega$ se obtiene la corriente de salida.

La corriente de salida se puede aproximar como $I_{out} = I_0 e^{\frac{V_{be}}{V_{th}}}$. Calcular I_{out} para el transistor construido (esto varía significativamente entre transistores).

3.2 Un amplificador básico

En esta sección se construirá un transistor amplificador básico. Primero se construirá el generador de corriente de voltaje controlado que se ha visto en los ejercicios previos.

A continuación, para medir la corriente de salida, se colocará una resistencia de la salida a masa:



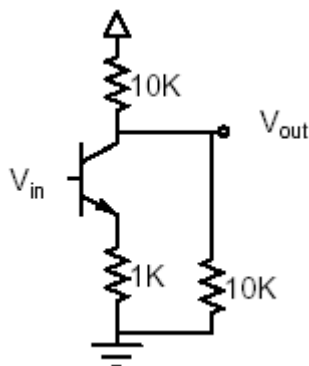
Usando el modelo 0,6, calcular la función de transferencia de este circuito ($\frac{V_{out}}{V_{in}}$), omitiendo todo offset.

A continuación, medir la ganancia y el offset del circuito entorno a $V_{in} = 1V$. ¿Coincide la ganancia con el valor calculado?

No desarmar el circuito. Será necesario en la próxima parte.

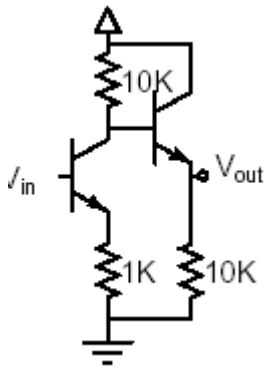
3.3 Un acumulador intermedio (buffer)

Se va a simular una carga poniendo una resistencia desde la salida hasta la masa:



Medir y registrar el cambio de la ganancia del circuito respecto a la parte anterior.

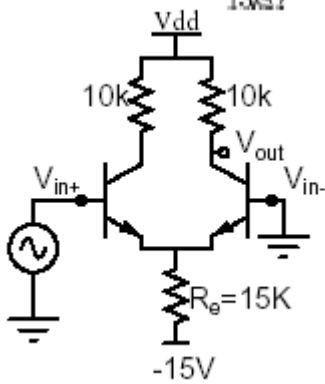
A continuación, se coloca un acumulador intermedio en la salida.



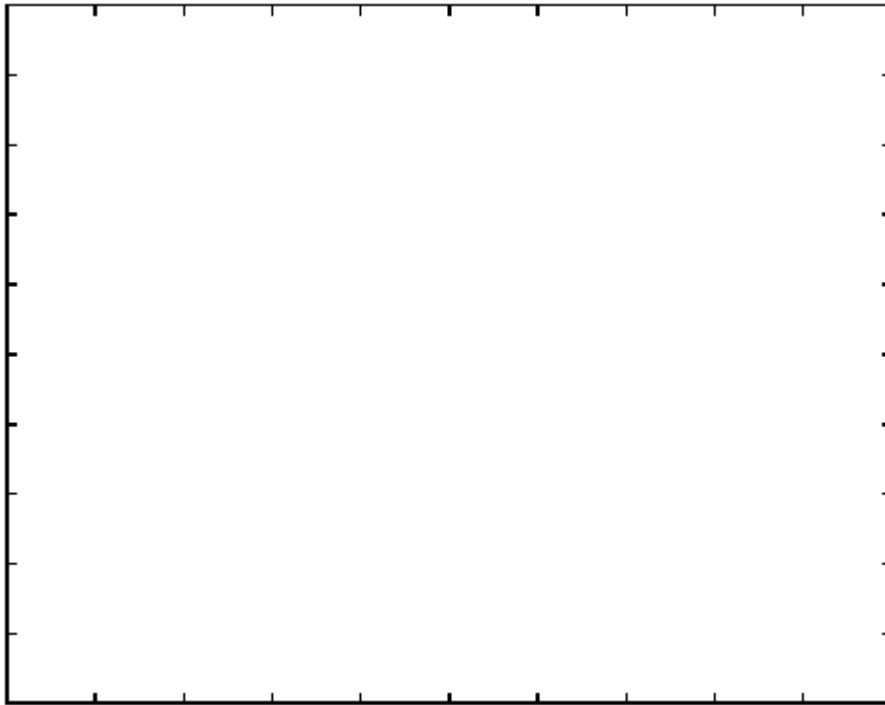
Volver a medir la ganancia. Poner una carga de 10k en la salida y ver cuánto cambia ésta.

4 El par diferencial

En esta sección, se estudiará el par diferencial de los ejercicios previos. Para simplificar, se conectará una salida a masa y se sustituirá el generador de corriente por una resistencia. Suponiendo que ambos V_{in} permanezcan cercanos a $0V$, el voltaje que atraviese la resistencia se mantendrá bastante constante entorno a $15 - 0,6V$ y la corriente no se alejará mucho de $\frac{15-0,6V}{15k\Omega}$



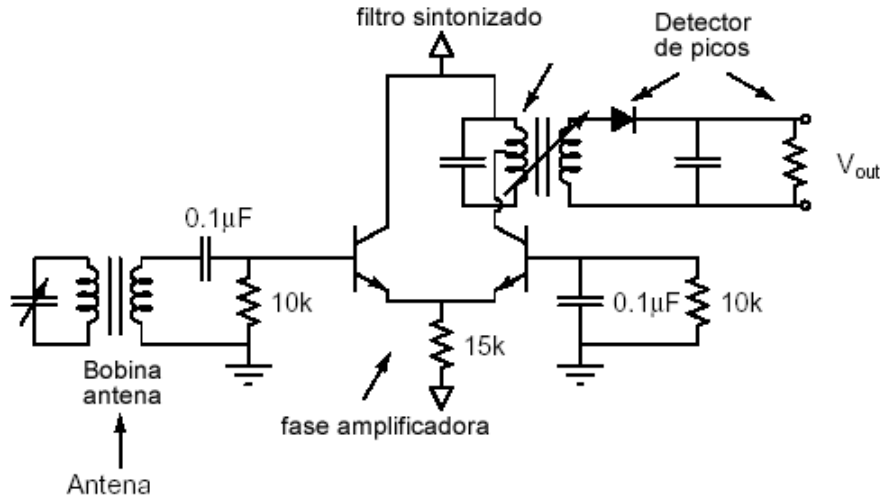
Construir este circuito y trazar V_{in+} en comparación con V_{out} .



¿Cuál es la corriente máxima en cada extremo? ¿Cuál es el diferencial entorno a $V_{in} = 0$? Comparar estos valores con los calculados en los ejercicios previos. Guardar el circuito para la próxima parte.

5 Fase de ganancia de un receptor AM

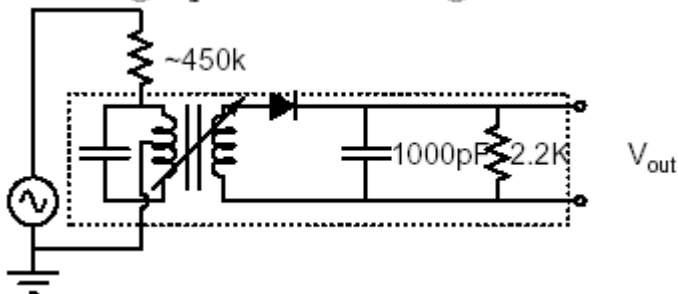
Ahora se dispone de todos los componentes de un receptor AM, que construiremos combinando dichos componentes. Para que toda la clase esté al mismo nivel, se recordará cómo construir las partes de la segunda práctica que se necesitan aquí.



5.1 Elemento ajustado

Como ya se ha visto, la ganancia de un par diferencial va en función de la resistencia del colector. Se quiere obtener una ganancia alta, de unos 455KHz, y una ganancia baja en el resto. Para conseguirlo, se construye un elemento de filtro ajustado.

Esto ya se ha hecho en la práctica 2, aunque muchos estudiantes no tuvieron tiempo para probar la frecuencia, ancho de banda, etc. del centro. Para probar la impedancia del elemento ajustado, se coloca un divisor de tensión con una resistencia grande:



Se aplica un voltaje CA a la entrada y se cambia la frecuencia. La frecuencia del centro es el punto donde el voltaje de salida V_{out} alcanza su punto máximo. Medir las frecuencias altas y bajas donde el voltaje de salida cae a $\frac{1}{\sqrt{2}}$. Esta diferencia entre esas frecuencias proporciona el ancho de banda.

Para la versión de este circuito del ayudante técnico, resultó que $C = 1000pF$ y $R = 2.2k$ funcionaba. Si no se consigue ajustar a 455KHz, se deberá cambiar el valor de la capacitancia (a menor capacitancia, mayor frecuencia). Si no se alcanza el ancho de banda deseado, cambiar el valor de la resistencia (una resistencia baja produce un ancho de banda aún más bajo). Para este experimento es preferible un ancho de banda ligeramente alto que ligeramente bajo.

5.2 Fase amplificadora

Para la fase amplificadora, se utilizará el par diferencial de la sección anterior.

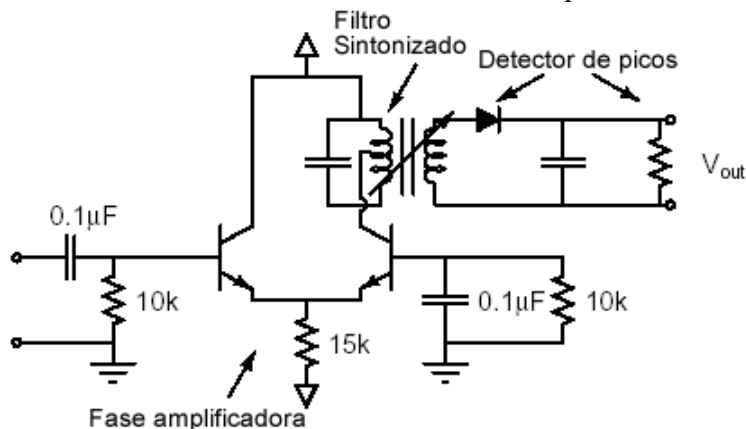
Se acoplará la entrada mediante un gran condensador ($0.1\mu F$), de modo que pase la CA pero no la CC. La CC se llevará a masa mediante una resistencia de $10k\Omega$. Estos condensadores actúan como un cortocircuito a $455KHz$, y como circuito abierto en CC.

Por razones de simetría, la entrada negativa se lleva a masa por el mismo tipo de red. *Esto no es estrictamente necesario, pero se puede producir una pequeña caída de CC a través de la resistencia de $10k$ del transistor de la izquierda. Al poner el mismo tipo de transistor en la derecha se mantiene el par diferencial funcionando más cerca del centro.*

Como no hace falta, se retirará la primera resistencia del colector y se sustituirá la resistencia del colector de salida con nuestro elemento ajustado.

Se ha elegido el par diferencial porque es muy rápido. Los circuitos son lentos debido a la capacitancia parásita. En un par diferencial, las principales capacitancias están puestas a masa: no hay capacitancia que vaya directamente de la entrada a la salida.

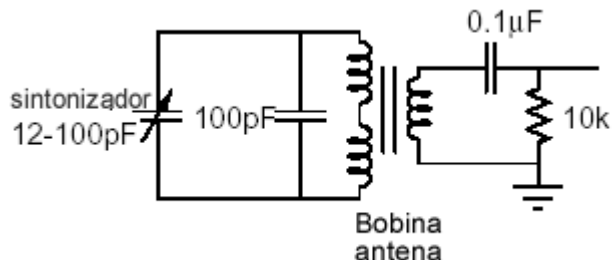
A estas alturas el circuito debe tener este aspecto.



Antes de añadir la antena es recomendable probar todo el circuito. Para ello, hay que conectar el generador de función a la fase amplificadora a través del condensador. Puede ser necesario poner el generador de función a un voltaje de entrada muy bajo. Para ello, hay que realizar un barrido al generador de función y comprobar que la salida alcanza su máximo entorno a $455KHz$.

5.3 Antena

En la práctica 2, se colocó una resistencia en serie con la bobina antena, pero en la práctica esto no es necesario. La resistencia de $10k$ utilizada para acoplar la salida a masa proporcionará el ancho de banda necesario.



Para construir el circuito antena, se debe colocar un condensador en serie con la bobina antena. Con un condensador 100pf se debería obtener un valor superior a 455KHz . Colocar un sintonizador $12 - 100\text{pf}$ (que puede proporcionar el ayudante técnico u obtenerse en conserjería) en paralelo. El ayudante técnico tendrá un transmisor encendido en el medio del laboratorio. Ajustar el sintonizador hasta que la salida a través de V_{out} alcance su punto máximo. Cuando el sintonizador se aleje de la frecuencia sintonizada, no se verá ninguna salida.

Si la salida obtenida es demasiado pequeña, se puede reducir la resistencia de $15k$ para dar un poco más de corriente de polarización.

El ayudante técnico debe revisar el receptor.

El personal del curso está planeando conseguir un transmisor AM multiusos, además de pequeños altavoces amplificados para conectarlos a los receptores de los estudiantes. Aunque es poco probable que se consiga este año, si así fuese, los estudiantes interesados en ello podrán conectar sus receptores a los altavoces amplificados y escuchar música a través del receptor.