

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

Laboratorio de Comunicaciones

(Manual de Prácticas)

Práctica 2:
Modulador Comercial de Amplitud
Curso 2007-2008

AUTORES:

Fernando Quesada Pereira
Pedro Vera Castejón
Alejandro Alvarez Melcón

Índice

1. Introducción	1
2. Estudio de los Circuitos con el Simulador SPICE	1
2.1. Amplificador diferencial	1
2.2. Fuentes de corriente	2
2.3. Modulador AM basado en amplificador diferencial	5
2.4. Modulador doble banda lateral balanceado	6
3. Osciladores	7
3.1. Oscilador Colpitts	8
3.2. Oscilador en puente de Wien	8
3.3. Oscilador con células RC	9
4. Implementación de un Modulador Balanceado de Amplitud	10
4.1. Montaje de un modulador AM	12
4.2. Doblador de frecuencia	12

1. Introducción

En esta sesión de prácticas vamos a estudiar algunos circuitos muy utilizados para implementar mezcladores utilizando dispositivos activos. La primera utilidad que podemos mencionar de estos circuitos es la realización de moduladores de amplitud (AM), pero los circuitos que vamos a estudiar pueden, en general, utilizarse para cualquier operación electrónica en la que se necesite un mezclador. En el desarrollo de la práctica realizaremos en primer lugar el estudio teórico de los circuitos utilizando el programa SPICE. Una vez diseñados los circuitos y comprendido su funcionamiento, pasaremos a la realización práctica de los mismos, realizando su montaje en las placas del laboratorio.

Dentro de los circuitos que vamos a realizar, estará un modulador comercial de amplitud. Para comprobar el funcionamiento del circuito, utilizaremos el generador de señales del laboratorio para generar la portadora. Al no disponer de otro generador de señales, vamos a construir en el laboratorio un oscilador que genere una señal osciladora de frecuencia en torno a los 20KHz. Será esta señal la que utilizaremos como señal moduladora a la hora de comprobar el funcionamiento del modulador AM que vamos a construir. A la vez, el diseño y construcción de este oscilador nos va a permitir repasar algunos conceptos básicos sobre osciladores empleados en circuitos de comunicaciones.

2. Estudio de los Circuitos con el Simulador SPICE

En esta primera parte de la práctica vamos a estudiar la forma de realizar moduladores mediante dispositivos activos. Para ello usaremos el programa SPICE. Todos los circuitos que veremos están basados en el conocido amplificador diferencial, por lo que empezaremos con el estudio de este circuito.

2.1. Amplificador diferencial

El esquema más sencillo de un amplificador diferencial se muestra en la Fig. 1. Construir el

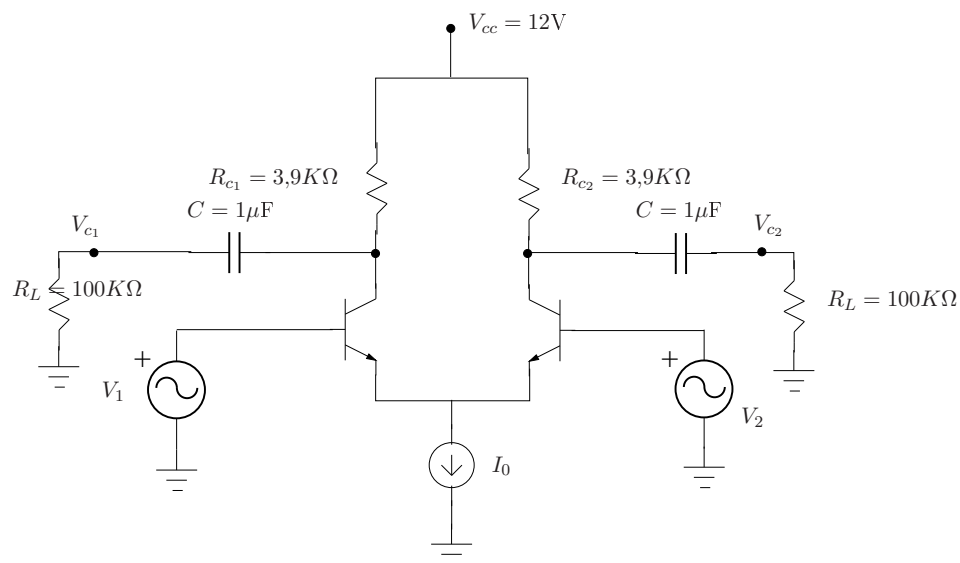


Figura 1: Esquema del amplificador diferencial.

circuito mostrado en PSPICE tomando un generador de corriente de valor: $I_0 = 1\text{mA}$ (elemento IDC en SPICE), y realizar los siguientes ejercicios.

Ejercicio 1. Excitar el circuito mediante dos generadores iguales de frecuencia $f_p = 100\text{KHz}$, y amplitud $V_1 = V_2 = 0,02\text{V}$. Medir la ganancia del amplificador. ¿Es baja o alta?, ¿porqué?

La ganancia que ha medido corresponde a la ganancia en modo común del amplificador. Tomando $V_2 = 0$ se puede comprobar que el valor máximo de V_1 para el cual no se produce saturación es de 0.15 voltios.

Ejercicio 2. Trabajando en la zona lineal, calcular la ganancia del amplificador si el generador de corriente toma los valores $I_0 = 1,5\text{mA}$. ¿Qué ocurre con la ganancia del amplificador al aumentar el valor de I_0 ? ¿Cual es la relación entre la señal de salida V_{c1} y la señal en la salida V_{c2} ?

Puede comprobarse que si tomásemos un valor $I_0 = 10\text{mA}$, estaríamos entrando en la zona de saturación del transistor, con lo cual la ganancia se reduciría a 1.

2.2. Fuentes de corriente

La implementación práctica de la fuente de corriente que aparece en la Fig. 1 puede realizarse mediante un transistor funcionando como seguidor de emisor (emitter follower). Un esquema de circuito trabajando en seguidor de emisor, puede verse en la Fig. 2.

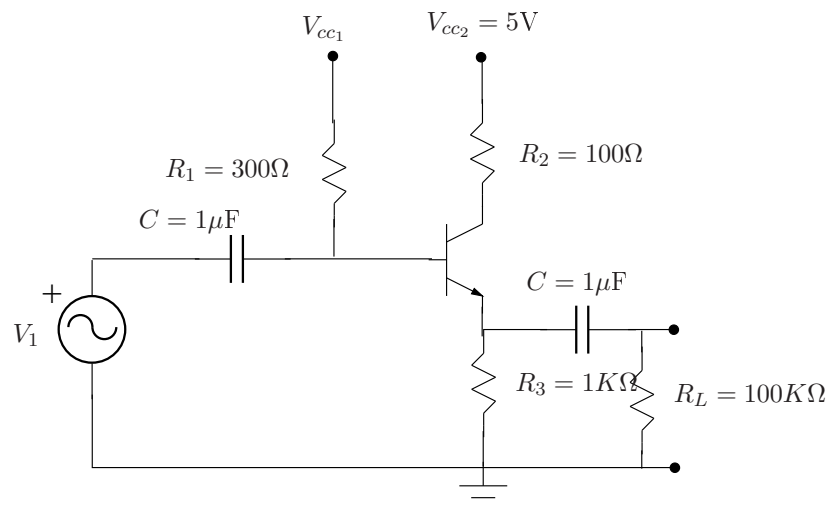


Figura 2: Amplificador en seguidor de emisor.

Ejercicio 3. Tomando $V_{cc1} = 3\text{V}$, dibujar la señal entrada y salida en la misma gráfica. ¿Cuanto vale la ganancia de este amplificador?

Ejercicio 4. Repetir el ejercicio tomando $V_{cc1} = 10\text{V}$. ¿Cuanto vale ahora la ganancia?. Indicar las corrientes y tensiones en el transistor diciendo qué está ocurriendo.

Ejercicio 5. Repetir el ejercicio tomando $V_{cc1} = 0,2V$. Indicar las corrientes y tensiones en el transistor diciendo qué está ocurriendo.

El esquema práctico de un amplificador diferencial, donde la fuente de corriente se implementa con un seguidor de emisor, podría ser el representado en la Fig. 3.

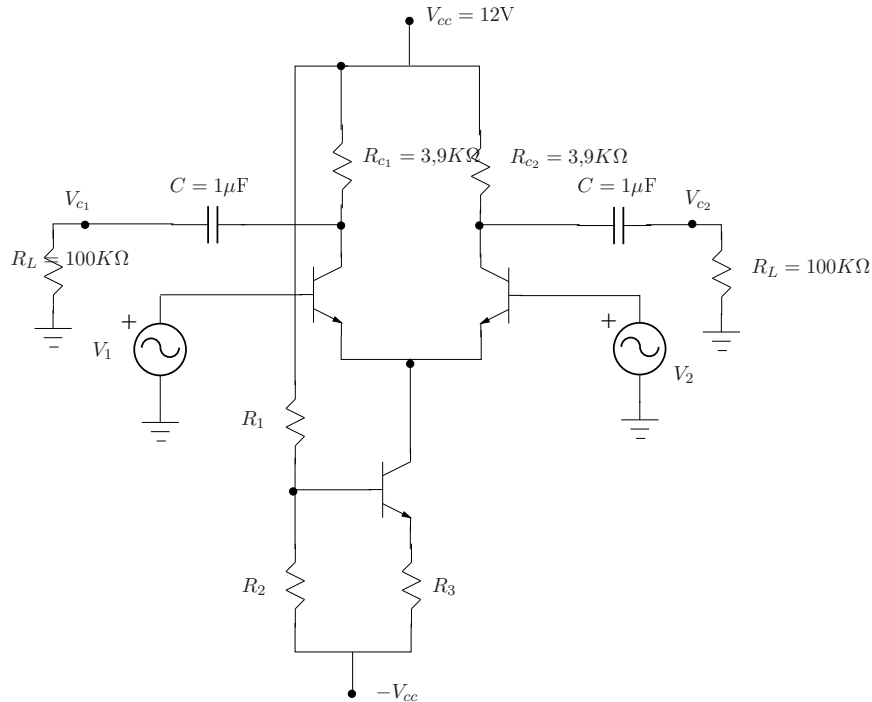


Figura 3: Amplificador diferencial con seguidor de emisor como generador de corriente ($V_2 = 0$, $V_1 = 10mV$).

Si tomamos un valor de $R_1 = 4K\Omega$ y $R_2 = R_3 = 1K\Omega$, puede comprobarse que el seguidor de emisor aportaría una corriente de aproximadamente 4 mA, y en este caso se puede comprobar que la Ganancia del amplificador diferencial toma un valor aproximado de $G_V = 131,32$.

Ejercicio 6. Tomar $R_1 = R_2 = 1K\Omega$, y un valor pequeño para $R_3 = 500\Omega$. ¿Cuanta corriente aporta ahora el transistor?. ¿Funciona correctamente el amplificador en este caso?. ¿Porqué?.

Otra posibilidad para implementar el generador de corriente es utilizando la configuración en espejo de corriente mostrada en la Fig. 4.

Ejercicio 7. Indicar las corrientes en el circuito. Calcular la diferencia relativa en tanto por cien entre las corrientes I_1 e I_2 . ¿Funciona correctamente el espejo de corriente?.

Ejercicio 8. Repetir el ejercicio tomando $R_2 = 5K\Omega$. ¿Funciona correctamente el espejo de corriente?. Indicar las corrientes y tensiones en los transistores diciendo qué ocurre en este caso.

Utilizando el espejo de corriente como generador de corriente, el esquema de nuestro amplificador diferencial podría tomar el aspecto mostrado en la Fig. 5.

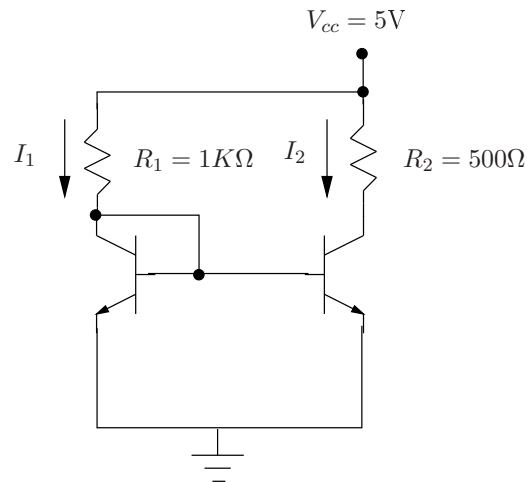


Figura 4: Esquema del espejo de corriente.

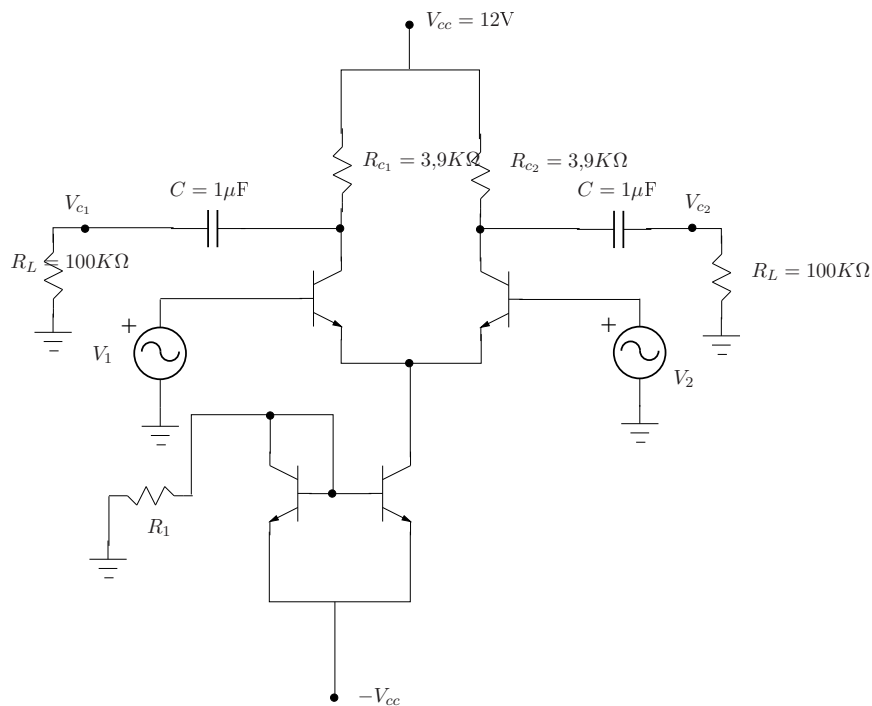


Figura 5: Amplificador diferencial con espejo de corriente ($V_2 = 0$, $V_1 = 10\text{mV}$).

Si ajustamos el valor de $R_1 = 6,4\text{K}\Omega$, el espejo de corriente proporciona una corriente de unos 2mA , quedando en estas condiciones la Ganancia del amplificador diferencial de aproximadamente $G_V = 67$.

Ejercicio 9. ¿Qué sucede si toma un valor $R_1 = 100\Omega$? ¿Funciona correctamente el espejo de corriente? ¿Funciona correctamente el amplificador diferencial?.

2.3. Modulador AM basado en amplificador diferencial

El esquema mas inmediato para construir un modulador de amplitud, es utilizar un amplificador diferencial en el que el generador de corriente esté controlado por la señal moduladora. Un circuito muy sencillo que realiza esta función puede verse en la Fig. 6. Como se aprecia, el generador de corriente

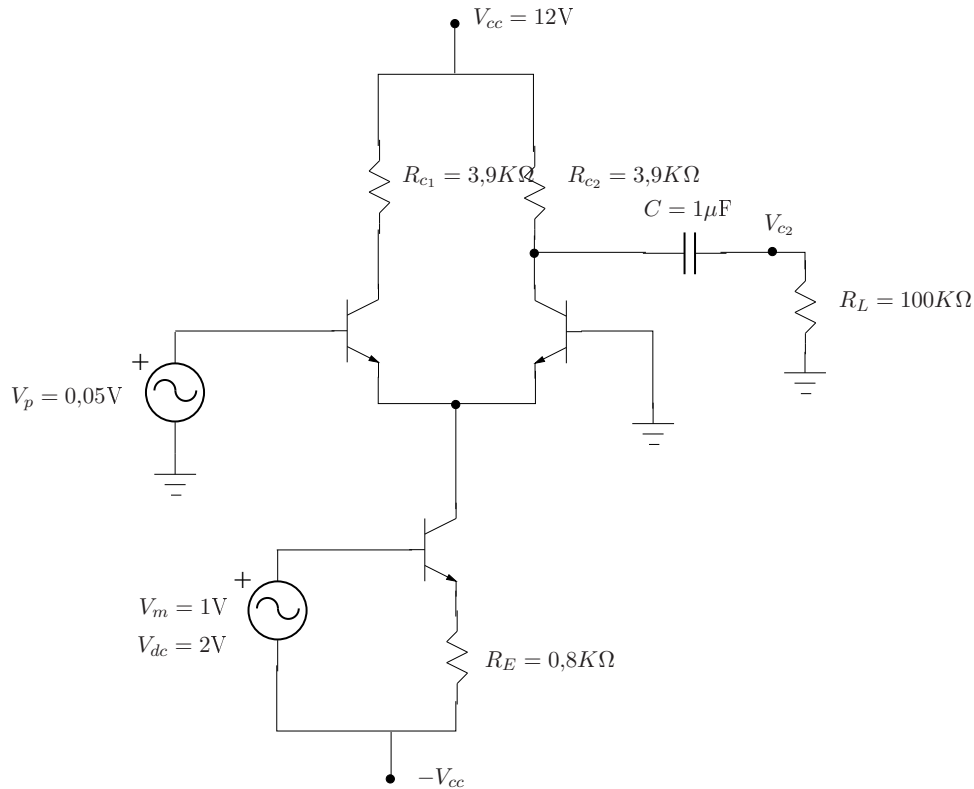


Figura 6: Modulador AM con amplificador diferencial y seguidor de emisor.

está formado por un seguidor de emisor, donde en el circuito de base se introduce la señal moduladora. En este esquema, el punto de polarización del circuito emisor-base se consigue con una componente continua (offset) introducida en el generador de la señal moduladora ($V_{dc} = 2V$).

Ejercicio 10. Tomar como frecuencia de portadora ($f_p = 100KHz$) y como frecuencia de señal moduladora ($f_m = 10KHz$). Obtener y dibujar la señal a la salida tanto en tiempo como en frecuencia. Describa las componentes espectral que obtiene a la salida. Calcule el índice de modulación AM que ha obtenido. Diga la corriente que aporta el generador de corriente en el punto de trabajo.

Este índice de modulación puede variarse cambiando el punto de polarización del transistor que hace de fuente de corriente (V_{dc} en Fig. 6). También se puede cambiar el índice de modulación actuando sobre la amplitud de la señal moduladora (V_m), respecto de la amplitud de la portadora (V_p).

Un esquema alternativo al anterior es utilizando el espejo de corriente como generador de corriente. En este caso la tensión offset en el generador de la señal moduladora ya no es necesaria, pues el propio espejo de corriente queda polarizado en continua a través de dicho generador. El esquema del circuito podría ser el representado en la Fig. 7.

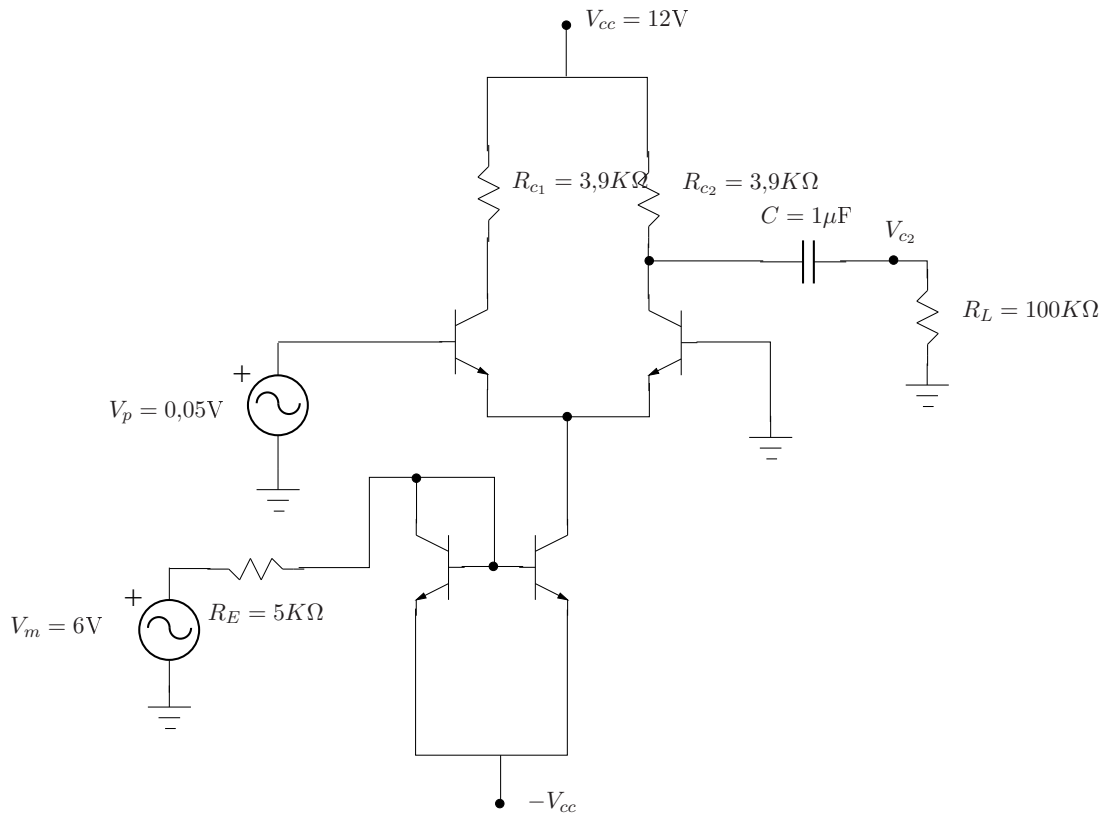


Figura 7: Modulador AM con amplificador diferencial y espejo de corriente.

Ejercicio 11. Obtener la señal de salida del circuito, y dibujarla en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Describir los armónicos de la señal. Medir el índice de modulación obtenido. Indicar la corriente que aporta el espejo de corriente en el punto de trabajo.

2.4. Modulador doble banda lateral balanceado

Sabemos que una forma eficiente de realizar un modulador doble banda lateral, es mediante la conexión de dos amplificadores diferenciales conectados en contrafase. Este circuito es capaz de cancelar las componentes no deseadas de cada par diferencial, produciendo una modulación totalmente limpia de armónicos. Un circuito que funciona según este principio puede verse en la Fig. 8. El circuito mostrado es la base del circuito integrado comercial MC1496, ampliamente utilizado para realizar moduladores comerciales de amplitud.

Ejercicio 12. Simular el circuito de la Fig. 8 con SPICE. Utilizar los valores de los componentes mostrados en la Tabla 1. Tomar frecuencia de portadora ($f_p = 500\text{KHz}$), y frecuencia de la señal moduladora ($f_m = 30\text{KHz}$). Obtener la señal de salida tanto en tiempo como en frecuencia. Describir los armónicos de la señal.

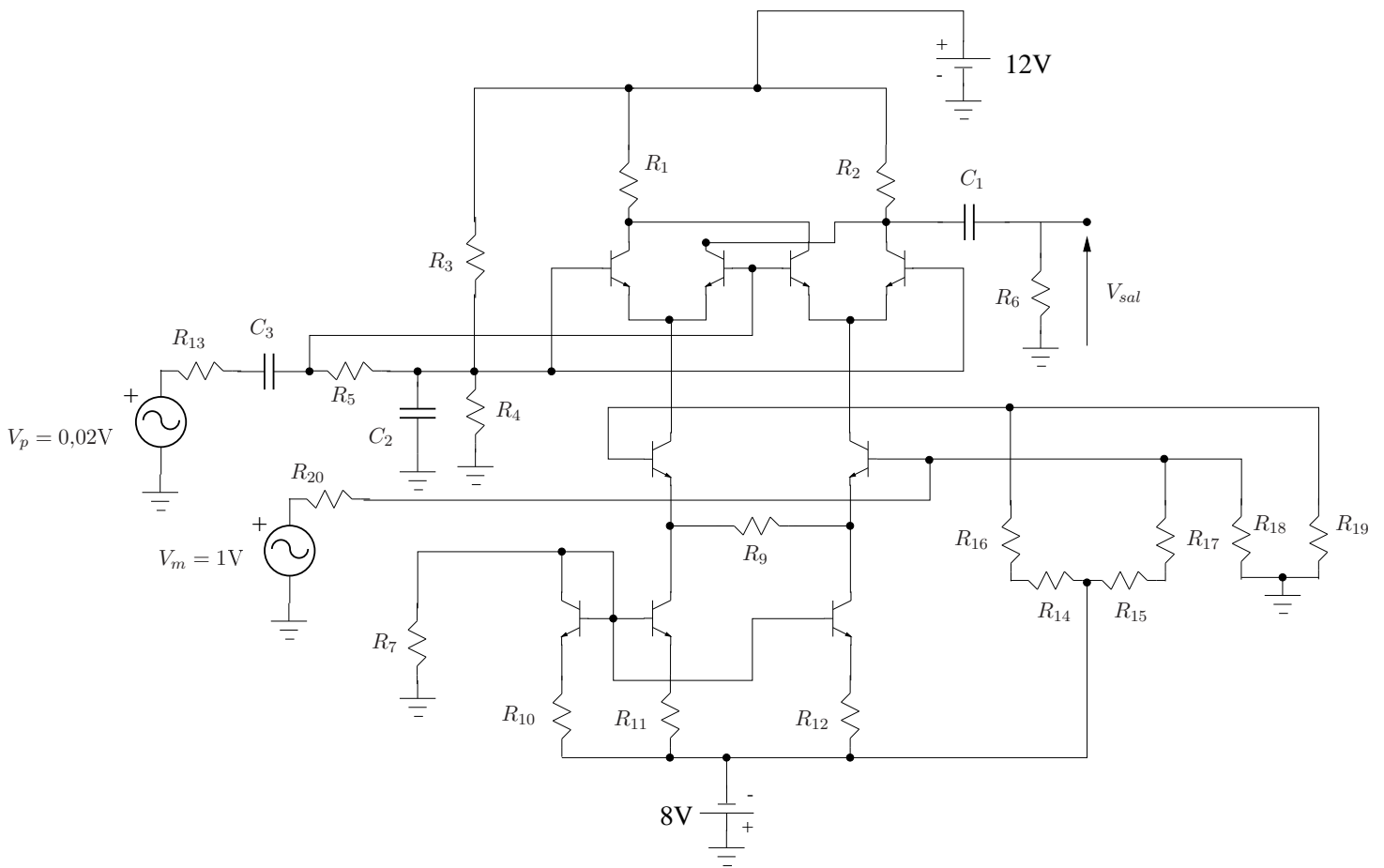


Figura 8: Modulador balanceado doble banda lateral.

Componente	Valor	Unidad
R_1, R_2	3.9	$K\Omega$
R_3, R_4, R_9	1.0	$K\Omega$
$R_5, R_{13}, R_{18}, R_{19}, R_{20}$	50.0	Ω
R_6	500.0	$K\Omega$
R_7	6.8	$K\Omega$
R_{10}, R_{11}, R_{12}	500.0	Ω
R_{14}, R_{15}	25.0	$K\Omega$
R_{16}, R_{17}	10.0	$K\Omega$
C_1, C_2, C_3	1.0	μF

Tabla 1: Valores de los componentes del modulador balanceado de la Fig. 8.

3. Osciladores

De los diversos tipos de osciladores que existen, vamos a estudiar ahora algunos diseños prácticos.

3.1. Oscilador Colpitts

Una variante del oscilador de Colpitts, utilizando un amplificador operacional, puede verse en la Fig. 9.

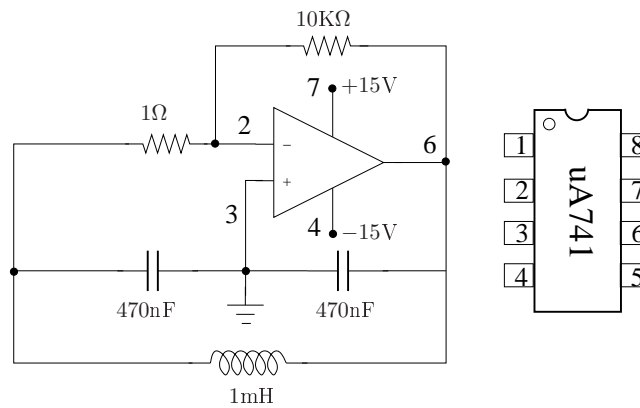


Figura 9: Oscilador Colpitts basado en amplificador operacional.

Ejercicio 13. Simular el circuito en PSPICE usando el modelo de amplificador operacional: *uA741/EVAL*. Comprobar que el circuito oscila correctamente realizando una simulación en el dominio del tiempo. Representar la señal obtenida en tiempo y frecuencia.

Ejercicio 14. Usando las conexiones del circuito integrado mostradas en la Fig. 9, realizar el montaje del oscilador en la placa de pruebas. Para alimentar el operacional utilice la fuente de alimentación en modo seguidor (tracking). **Antes de conectar la alimentación consultar con el profesor para evitar quemar el circuito integrado.** Medir con el osciloscopio digital la señal obtenida, tanto en tiempo como en frecuencia, y dibujarla. Indicar la escala del osciloscopio y el número de divisiones en la pantalla al realizar la medida.

Ejercicio 15. Indicar a qué frecuencia aparecen los dos primeros armónicos, y anotar el nivel de armónicos con respecto de la fundamental.

3.2. Oscilador en puente de Wien

Este es un oscilador sencillo, que en su versión con amplificador operacional toma el aspecto mostrado en la Fig. 10.

Ejercicio 16. Simular el circuito con PSPICE, y dibujar la señal de oscilación tanto en tiempo como en frecuencia.

Ejercicio 17. Realizar el montaje del circuito en la placa de pruebas. Medir con un osciloscopio la señal de oscilación y dibujarla tanto en tiempo como en frecuencia. Anotar las frecuencias del fundamental y de los dos primeros armónicos, así como el nivel de los armónicos respecto al fundamental.

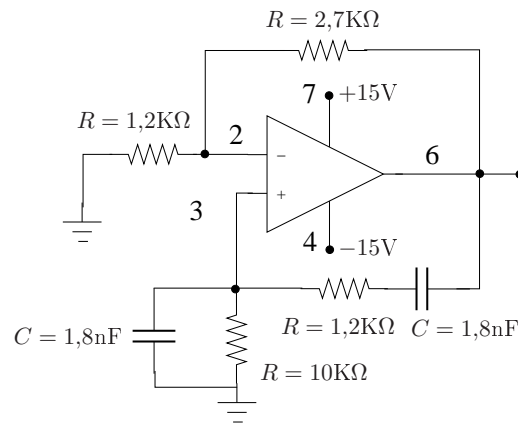


Figura 10: Oscilador en puente de Wien con amplificador operacional.

3.3. Oscilador con células RC

Otro modelo sencillo de oscilador es el mostrándolo en la Fig. 11, que contiene un lazo de realimentación basado en células RC . El circuito de realimentación RC forma un filtro paso alto, de forma que la frecuencia de oscilación queda determinada por la condición de fase cero del bucle abierto. Cerca de la frecuencia de corte, la fase varía muy rápidamente, de forma que la condición de fase cero se cumple a una frecuencia determinada.

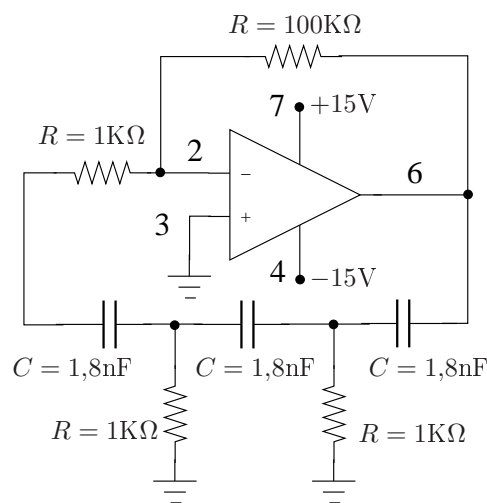


Figura 11: Oscilador basado en células RC con amplificador operacional.

Ejercicio 18. Simular el circuito con PSPICE, y dibujar la señal de oscilación tanto en tiempo como en frecuencia.

Ejercicio 19. Realizar el montaje del circuito en la placa de pruebas. Medir la señal de oscilación con el osciloscopio tanto en tiempo como en frecuencia, y dibujarla.

Ejercicio 20. Indicar las frecuencias de la fundamental y de los dos primeros armónicos. Indicar también los niveles de los armónicos respecto de la fundamental.

4. Implementación de un Modulador Balanceado de Amplitud

Para realizar esta parte de la práctica deberá compartir el generador de señales de su puesto, con el generador de señales del puesto contiguo. Un generador de señales servirá como señal portadora en la modulación, mientras que el generador de señales contiguo servirá como señal moduladora. El montaje se deberá realizar en cada grupo, mientras que durante las medidas se deberá compartir, como ya hemos dicho, el generador de señales.

Para realizar un modulador balanceado de amplitud, vamos a utilizar el circuito integrado MC1496, cuyo diagrama interno puede verse en la Fig. 12 (junto con la numeración de las patas del circuito integrado).

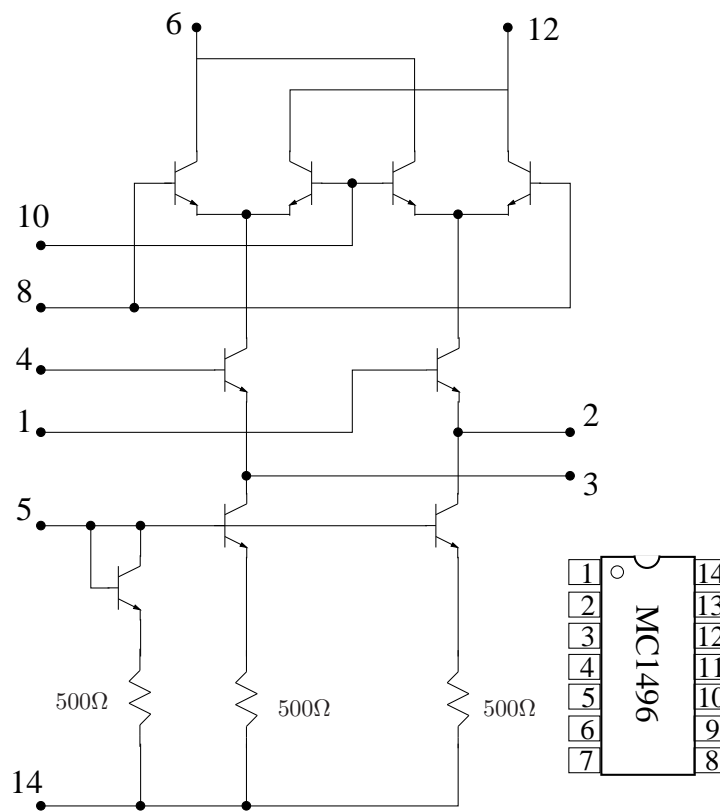


Figura 12: Diagrama interno del circuito integrado MC1496, y conexiones externas.

Ejercicio 21. Con la estructura interna del circuito integrado, dibujar el diagrama de conexiones que necesita para implementar el modulador balanceado de la Fig. 8. Entregar el esquema para su corrección.

Ejercicio 22. Realizar el montaje del circuito en el laboratorio, teniendo especial cuidado en conectar correctamente la alimentación del circuito. Realizar las resistencias R_{14} , R_{15} mediante un potenciómetro de valor 50KΩ. Este potenciómetro se utiliza para ajustar el nivel de portadora al mínimo (supresión de portadora para el caso de modulación DBL).

Ejercicio 23. Conectar a la entrada de portadora el generador de funciones con una frecuencia de

500 KHz, y una amplitud de 60mV_{eff} . Conectar el generador del puesto contiguo que actúa como señal moduladora entre los terminales 1 y 4 del circuito integrado (entrada de señal moduladora). Ajustar el generador de señales para obtener una señal moduladora desde 100mV_{eff} hasta 600mV_{eff} en cinco pasos, y de frecuencia 50 KHz. Tomar los niveles de la portadora ajustando en cada caso el potenciómetro de supresión de portadora con el fin de que ésta sea lo menor posible. Anotar igualmente los niveles de las bandas laterales. Obtener el nivel de supresión de portadora como la relación entre el nivel de bandas laterales a nivel de portadora (realizar la gráfica en dB). Rellenar También la Tabla 2.

Amplitud Moduladora (mV_{eff})	Amplitud Bandas Laterales (dB)	Amplitud Portadora (dB)	Supresión (dB)
100			
200			
300			
400			
500			
600			

Tabla 2: Relación entre portadora y bandas laterales, en función de la amplitud de la moduladora.

Ejercicio 24. Repetir el ejercicio anterior pero en función del nivel de señal de portadora. Para ello variar dicho nivel entre 50 y 300mV_{eff} , tomando 5 pasos. Realizar la gráfica correspondiente en dB. Rellenar la Tabla 3.

Amplitud Portadora (mV_{eff})	Amplitud Bandas Laterales (dB)	Amplitud Portadora (dB)	Supresión (dB)
50			
100			
150			
200			
250			
300			

Tabla 3: Relación entre portadora y bandas laterales, en función de la amplitud de la portadora.

Ejercicio 25. La señal obtenida con el modulador no es pura, sino que presenta productos de intermodulación a la salida, sobre todo cuando los niveles de las señales portadora y moduladora son altos. Para la frecuencia de 500KHz , medir los niveles de las componentes en el segundo armónico respecto del fundamental, en función del nivel de portadora. Para ello variar el nivel de portadora entre 25mV_{eff} y 150mV_{eff} , tomando 5 puntos (obtener la gráfica en dB). Rellenar la Tabla 4.

Ejercicio 26. Repetir el ejercicio anterior en función del nivel de señal moduladora. Para ello variar la amplitud de salida del oscilador entre 100mV_{eff} y 600mV_{eff} , tomando 5 puntos (obtener la gráfica en dB). Rellenar la Tabla 5.

Amplitud Portadora (mV_{eff})	Amplitud Fundamental (dB)	Amplitud Armónico (dB)	Relación (dB)
25			
50			
75			
100			
125			
150			

Tabla 4: Relación entre la fundamental y el primer armónico, en función del nivel de portadora.

Amplitud Moduladora (mV_{eff})	Amplitud Fundamental (dB)	Amplitud Armónico (dB)	Relación (dB)
100			
200			
300			
400			
500			
600			

Tabla 5: Relación entre la fundamental y el primer armónico, en función del nivel de moduladora.

4.1. Montaje de un modulador AM

El circuito tal y como está montado, es capaz de eliminar la portadora muy bien, por lo que no puede usarse como modulador AM. Para este caso se plantea substituir las resistencias $R_{16} = R_{17} = 10K\Omega$ (Fig. 8), por otras de valor: $R_{16} = R_{17} = 750\Omega$. Además ahora podremos desbalancear el potenciómetro (R_{14}, R_{15}) para ajustar el valor de portadora al deseado.

Ejercicio 27. Realizar el nuevo montaje que sirve para realizar un modulador AM. Usar el generador de funciones como señal portadora, ajustándolo a la frecuencia de 500 KHz y amplitud $300mV_{eff}$. Utilice el generador de funciones del puesto contiguo como señal moduladora, ajustando la frecuencia a 50 KHz. Ajustar la amplitud de la señal moduladora, tratando de obtener una señal AM con índice de modulación de: $m = 50\%$. Representar la señal obtenida en tiempo y en frecuencia utilizando el osciloscopio.

4.2. Doblador de frecuencia

El circuito estudiado también puede servir de doblador de frecuencia si se introduce una señal de igual frecuencia a la entrada de portadora y a la entrada de moduladora. El circuito debe sufrir una pequeña modificación como se muestra en la Fig. 13.

Ejercicio 28. Dibujar el diagrama de conexiones que implementa el circuito de la Fig. 13. En ese

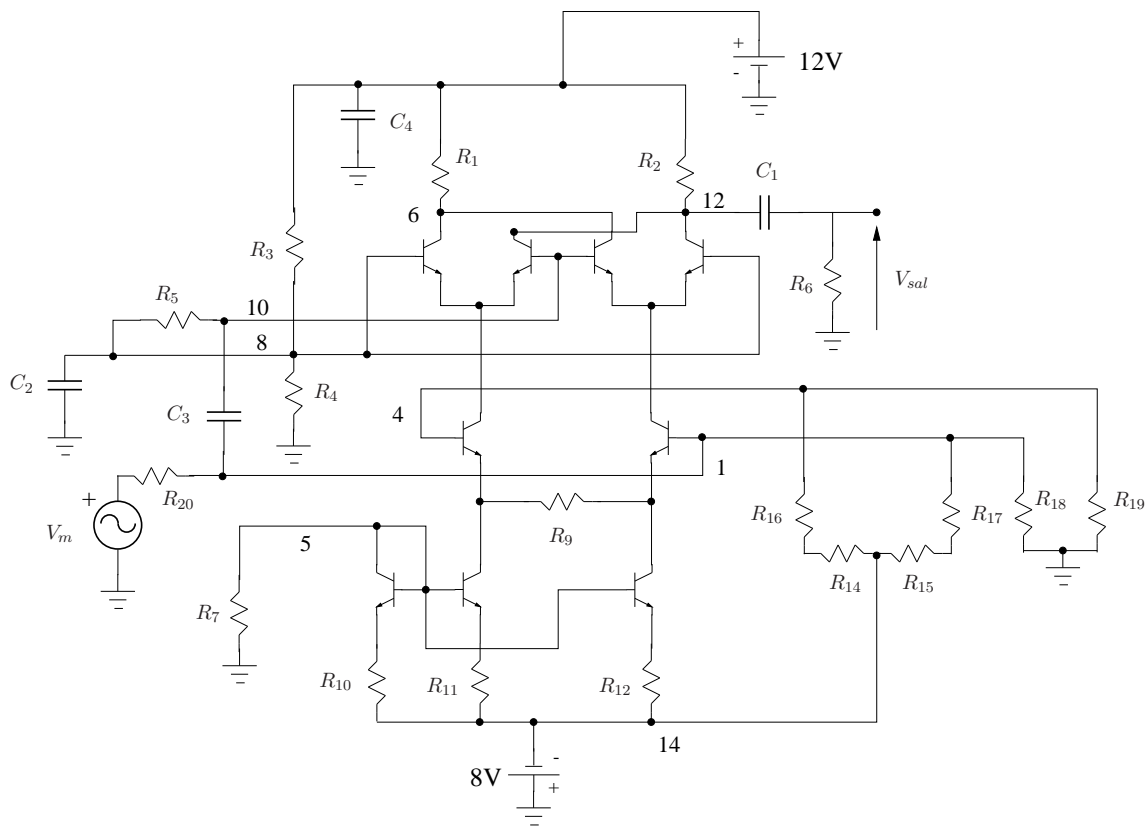


Figura 13: Doblador de frecuencia.

circuito, además, cambiamos las resistencias: $R_5 = R_{18} = R_{19} = 100\Omega$, y los condensadores $C_2 = C_3 = C_4 = 100\mu F$, $25V$.

Ejercicio 29. Simular el circuito con PSPICE y comprobar el funcionamiento del doblador cuando la frecuencia del generador es de 100 KHz. Representar la señal de salida tanto en tiempo como en frecuencia.

Ejercicio 30. Realizar el montaje del doblador de frecuencia en la placa de circuitos. Usando el generador de señales, introducir en la entrada una señal de 100 KHz de amplitud $100mV_{eff}$. Representar la señal de salida en tiempo y frecuencia usando el osciloscopio. Medir la relación entre la señal a frecuencia doble y la señal fundamental (eficiencia del doblador de frecuencia). Rellenar la Tabla 6.

Ajuste Señal Entrada	Señal Frecuencia Doble (dB)	Señal Fundamental (dB)	Eficiencia (dB)
100KHz; $100mV_{eff}$			

Tabla 6: Relación entre la señal a frecuencia doble y la señal a frecuencia fundamental (eficiencia del doblador).