

Teoría de operación del modulador balanceado 1496*

Como se observa en la Fig.1 la topología incluye tres amplificadores diferenciales. Las conexiones internas están hechas de tal forma que a la salida se obtiene el producto de cada una de las señales de entrada V_C y V_S . Para llevar esto a cabo el par diferencial compuesto por Q1-Q2 y Q3-Q4, con sus colectores conectados en forma cruzada son llevados a la saturación por el cruce por cero de la señal portadora V_C . Con señales débiles, V_S maneja al tercer amplificador diferencial Q5-Q6, el voltaje de salida será la multiplicación completa de las ondas V_C y V_S . De esta forma para señales senoidales, la tensión de salida V_O es:

$$V_{\text{SAL}} = E_x \cdot E_y \cdot [\cos(\omega X + \omega Y)t + \cos(\omega X - \omega Y)t] \quad (1)$$

Como se observa en la ecuación (1) el voltaje de salida contendrá la suma y la diferencia de las dos señales originales. Además, con el puerto de entrada siendo llevado a la saturación, la salida contendrá las componentes impares de la señal portadora. (Ver Fig. 4)

Internamente provisto con el dispositivo hay dos fuentes de corriente manejadas por una red de polarización compensada en temperatura. Puesto que la geometría de los transistores es la misma y que el apareamiento en el dispositivo es excelente, las corrientes a través de Q7 y Q6 serán las mismas que la corriente ajustada en el pin 5. Las figuras 2 y 3 ilustran las disposiciones típicas de la polarización tanto para una fuente partida como para una simple respectivamente

Los transistores están conectados en configuración cascode. Por lo tanto debe ser aplicada una tensión de colector suficiente como para prevenir la saturación si se quiere lograr una operación lineal. Tensiones mayores a los 2V son suficientes en la mayoría de las aplicaciones.

La polarización es llevada a cabo con una red resistiva simple de polarización como se muestra en la Fig. 3. Esta configuración asume la presencia de alimentación simétrica. La explicación de la técnica de polarización en DC es explicada mejor con un ejemplo. Por lo tanto, las suposiciones y criterios de dan a continuación:

1. Amplitud de salida mayor a 4Vpp.
2. Se dispone de una fuente de alimentación de $\pm 6V$.
3. La corriente de colector es de 2mA. Es de hacer notar aquí que la corriente de salida de colector es igual a la corriente ajustada en las fuentes corriente

Por comodidad, la entrada de señal portadora está referida a masa. Si se decide la entrada de señal modulante puede ser referenciada a masa con pequeñas modificaciones en la disposición de la polarización. Con la entrada de portadora conectada a masa, el punto de polarización estático de la salida debe ser de la mitad de la tensión positiva total o 3V para este caso. Por lo tanto se selecciona un resistor de carga entre colectores de tal forma que caigan 3V a 2 mA o 1,5K Ω . Un vistazo en este punto revela que con esa carga y esos niveles de corriente la amplitud pico a pico de salida puede ser mayor a 4Vpp. Esto da resto para fijar el nivel de la fuente de corriente y la polarización propia de los puertos de señal.

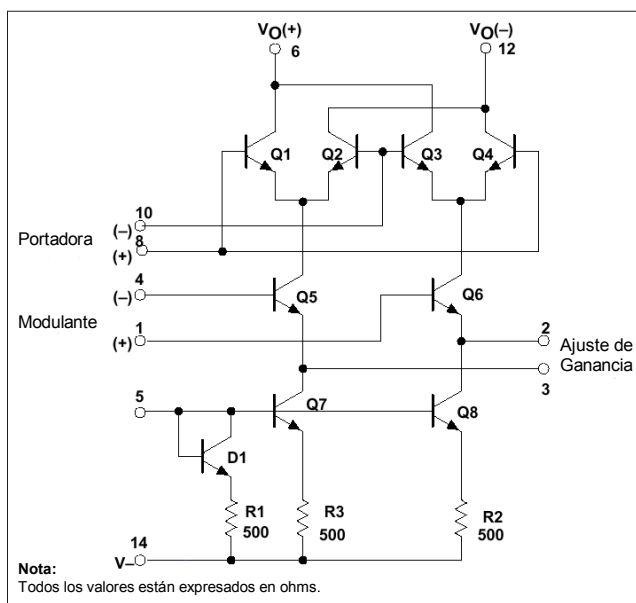


Fig. 1: Circuito del modulador balanceado

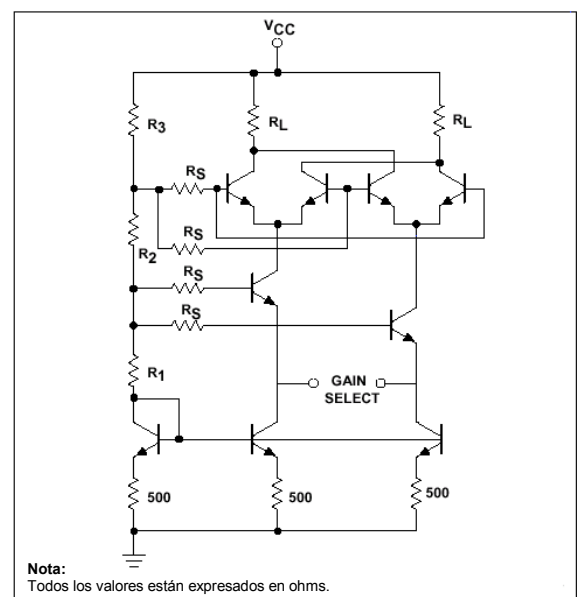


Fig. 2: Polarización con fuente simple

La tensión en el pin 5 esta expresada por

$$V_{pol} = V_{BE} = 500.I_S$$

Donde I_S es la corriente fijada en la fuente de corriente.

Polarización

Puesto que el MC1496 fue proyectado para una multitud de diferentes funciones así como para miles de tensiones de alimentación, las técnicas de polarización son específicas a cada aplicación. Esto permite al usuario una completa libertad para elegir la ganancia, niveles de corriente y tensiones de alimentación. El dispositivo puede ser operado con fuente simple o partida.

Por ejemplo la V_{BE} es de 700mV a temperatura ambiente y el voltaje de polarización en el pin 5 es de 1,7V. Debido a que en la configuración cascode ambos colectores de la fuente de corriente y los colectores de los transistores de señal deben tener algo de tensión para operar apropiadamente. Ahora el voltaje restante de la alimentación negativa (-6V+1,7V=-4,3V) se divide entre esos transistores polarizando la base del transistor de señal a -2,15V. Otras incontables disposiciones de polarización pueden ser usadas con otros voltajes de alimentación. Una cosa importante que recordar es que aquel suficiente nivel de tensión continua es aplicado a cada punto de polarización para prevenir la saturación del colector sobre la amplitud de señal esperada.

Modulador balanceado

En su aplicación primaria como modulador balanceado, se lleva a cabo la generación de doble banda lateral con portadora suprimida. Debido al balance de las entradas de modulación y portadora, la salida, como se mencionó, contiene las frecuencias suma y diferencia mientras que atenúa la fundamental. Las bandas laterales inferior y superior son las señales fuertes presentes con bandas laterales armónicas con amplitudes decrecientes como se caracterizan en la Fig. 4.

La ganancia es fijada con la inclusión de una resistencia de degeneración de emisor localizada como R_E en la Fig. 5. La degeneración también permite incrementar el máximo nivel de modulación. En general la respuesta lineal define al máximo nivel de entrada como:

$$V_S \leq 15 \cdot R_E \text{ (pico)}$$

Y la ganancia está dada por

$$A_{vs} = \frac{R_L}{R_E + 2r_e}$$

Esta aproximación es buena para altos niveles de la señal de portadora. La tabla 1 resume la ganancia para distintas amplitudes de portadora.

SEÑAL PORTADORA (V_C)	GANANCIA DE TENSIÓN APROX.	FREC: DE SALIDA(S)
Señal débil DC	$\frac{R_L V_C}{2(R_E + 2r_e) \frac{KT}{q}}$	f_M
señal fuerte DC	$\frac{R_L}{R + 2r_e}$	f_M
Señal débil AC	$\frac{R_L V_C \text{ (rms)}}{2 \sqrt{2} \frac{KT}{q} (R_E + 2r_e)}$	$f_C + f_M$
señal fuerte AC	$\frac{0.637R_L}{R_E + 2r_e}$	$f_C + f_M, 3f_C + f_M, 5f_C + f_M \dots$

Tabla 1: Ganancia de tensión y salida en función de la señal de entrada

Como se ve en la Tabla 1 el espectro de salida sufre un incremento de amplitud de las bandas laterales no deseadas cuando la tanto la señal modulante o portadora son elevadas. De hecho el nivel de modulación puede incrementarse sin mayores consecuencias si R_E es incrementada.. Sin embargo, señales fuertes de portadora

causan que las bandas laterales armónicas impares se incrementen (Fig. 4). Al mismo tiempo, debido a imperfecciones de la forma de onda de la portadora y pequeños desbalances en el dispositivo, puede verse seriamente degradado el rechazo de la segunda armónica. El filtrado a la salida es frecuentemente cuando se usan altos niveles de señal portadora para remover todas menos las bandas laterales de interés. El filtro remueve las componentes no deseadas mientras que los altos niveles de portadora previenen variaciones de amplitud y maximiza la ganancia. Los moduladores de banda ancha, sin el beneficio de los filtros, son implementados usando señal débil en la portadoras y en la modulante para maximizar la linealidad y minimizar las bandas laterales espúreas.

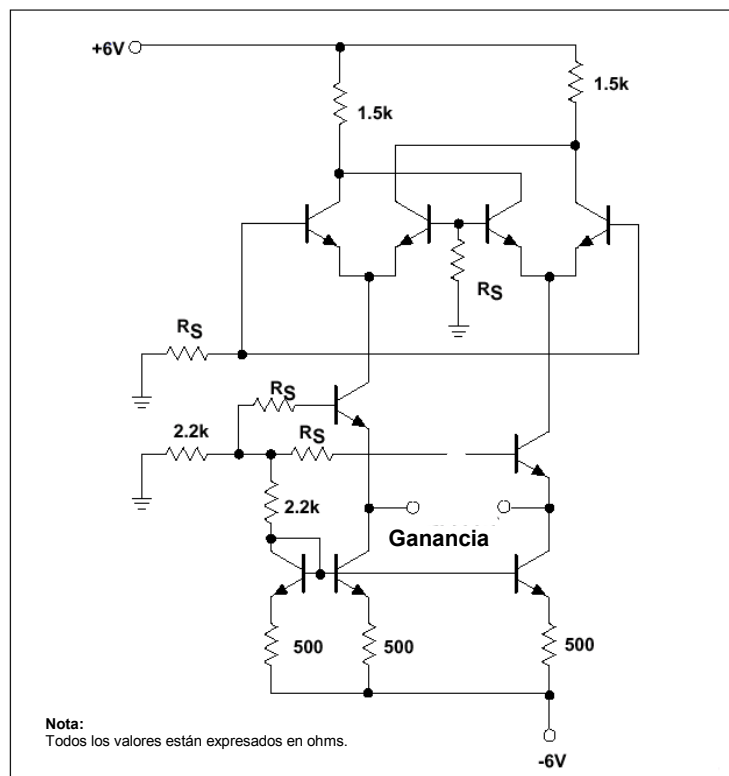


Fig. 3: Polarización con fuente partida

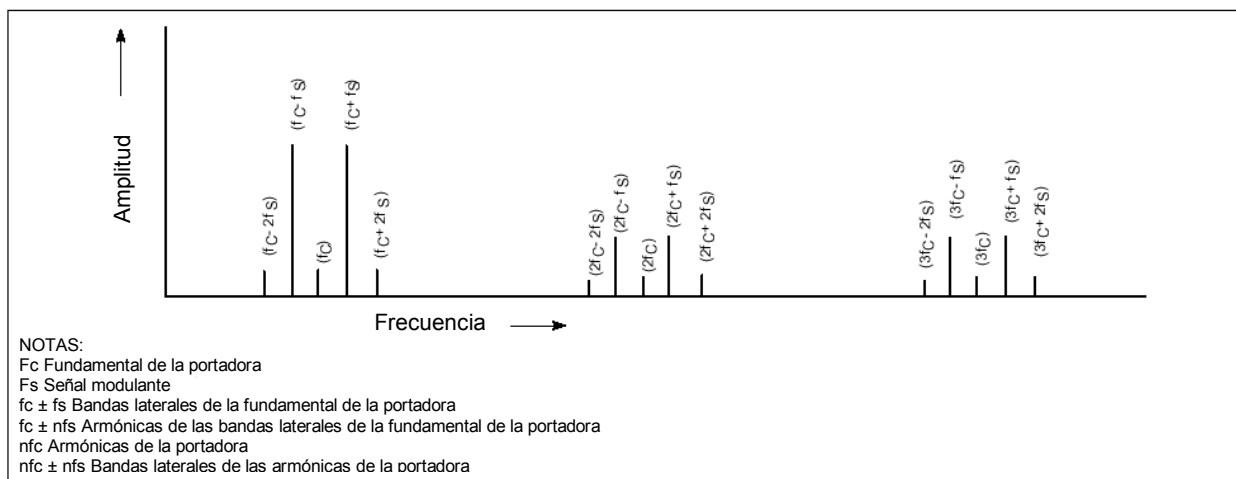


Fig. 4: Espectro en frecuencia del modulador

* Extraído y traducido de notas de aplicación AN189 de Philips Semiconductors, por David A. Valdez.