

AO Reales - Parte 1

Manuel Toledo - INEL 5207

Febrero 2, 2009

Saturación

La salida máxima del amplificador es aproximadamente 80% – 90% del voltaje de las fuentes de potencia (más o menos $\pm 13V$ si las fuentes son $\pm 15V$) a menos que sean del tipo “rail-to-rail”. Estos últimos pueden alcanzar voltajes muy cercanos a los de la fuente de potencia. En cualquier caso, la salida sufrirá recorte una vez alcance el voltaje de saturación en el lado positivo o negativo.

Corriente de corto circuito

El AO tiene un circuito de protección que limita la corriente a un valor máximo, llamado la *corriente de corto circuito* (*short-circuit current*, SCC). Si la corriente de salida que el AO supe o absorbe alcanza este valor, la magnitud el voltaje de salida deja de aumentar, limitando así la corriente al valor de este parámetro.

Ejemplo: Determine las resistencias más pequeña que puede ser usada en un amplificador sin inversión sencillo con ganancia de $4V/V$ de tal modo que no se supere la corriente de corto circuito $I_{SCC} = 20mA$ cuando $v_O = 14V$. El amplificador tiene una carga $R_L = 1k\Omega$ conectada a la salida.

Disipación de potencia

La operación del AO requiere la extracción de una cantidad de corriente I_Q (llamada el *quiescent current* en ingles), aun cuando la salida se mantenga en cero. Si $v_O = 0V$, el AO disipa internamente una potencia igual a

$$P = (V_{CC} - V_{EE})I_Q$$

donde V_{CC} y V_{EE} representan los voltajes positivo y negativo de la fuente de potencia, respectivamente. Valores típicos son $V_{CC} = +15V$ y $V_{EE} = -15V$.

Si la salida no es cero, una corriente i_O debe ser provista a la carga y a la red de retroalimentación. La misma debe ser extraída de la fuente de potencia en adición a I_Q . Esta corriente entrará o saldrá del AO dependiendo de la polaridad de v_O .

Si $v_O > 0$, i_O sale del AO y la corriente de la fuente V_{CC} se convierte en $I_Q + i_O$. La potencia disipada internamente es

$$P = (V_{CC} - V_{EE})I_Q + (V_{CC} - v_O)i_O$$

Si $v_O < 0$, i_O entra al AO y la corriente de la fuente V_{EE} se convierte en $I_Q + i_O$. La potencia disipada internamente es

$$P = (V_{CC} + V_{EE})I_Q + (v_O - V_{EE})i_O$$

Ejemplo: Determine la potencia disipada por el AO usado en el ejemplo anterior si $v_O = 14V$ e $I_Q = 1mA$. Use $V_{CC} = -V_{EE} = 15V$.

Corrientes de polarización

El funcionamiento de AO que utilizan transistores bipolares requiere que exista corriente en los terminales de entrada del aparato. La corriente de polarización o *bias current* se define como el promedio de la corriente que entra o sale de los terminales

$$I_B = \frac{I_p + I_n}{2}$$

La diferencia entre las corrientes que entran a los terminales se llama corriente de *offset* y se define como

$$I_{OS} = |I_p - I_n|$$

Debido a que es causada por errores aleatorios en la fabricación del circuito integrado, no es posible conocer el signo de I_{OS} de antemano. Típicamente, I_{OS} es un orden de magnitud menor que I_B .

Table 1: Parametros de Varios AO

Modelo	tipo	I_B	I_{OS}
741C	bjt	80nA	20nA
OP-77	bjt	1.2nA	0.3nA
LM308	super-beta	1nA	
OP-07	cancelación	1nA	0.4nA
LF356	biFET	30pA	3pA
AD549	biFET	menor a 100fA	
OPA129	biFET	menor a 100fA	
TLC279	CMOS	0.7pA	0.1pA

La tabla 1 muestra valores¹ de I_B e I_{OS} para varios AO de uso común. Puede observarse la amplia de valores que pueden obtenerse de los distintos aparatos.

En adición al valor de I_B especificado en la tabla, es importante considerar las variaciones del parámetro con temperatura. La misma puede resumirse como sigue:

¹Además, se muestra la tecnología usada para reducir I_B , que puede describirse como sigue: *super-beta* usa una base muy delgada para producir transistores con una β muy grande; *cancelación* incluye un circuito interno adicional que provee la corriente de polarización, haciendo que desde afuera el aparato aparente tener $I_B = 0$; en este caso, I_{OS} e I_B acaban siendo del mismo orden de magnitud; *biFET* y *biMOS* utilizan JFETs y MOSFETs, respectivamente, en la entrada del circuito, y transistores bipolares en el resto; *CMOS* usa CMOS FETS en todo el circuito.

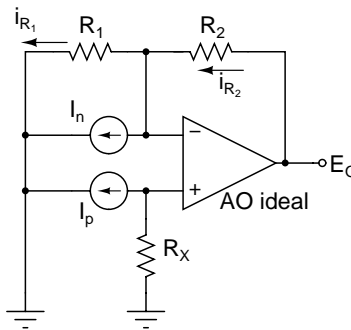
- en AO que utilizan transistores bipolares, la I_B disminuye a medida que la temperatura aumenta, debido a que la β de los transistores aumenta con T ;
- en AO contruidos con JFETs, I_B se duplica cada vez que la temperatura aumenta por $10^\circ C$, según la formula

$$I_B(T) = I_B(T_0) \times 2^{(T-T_0)/10}$$

- en circuitos basados en MOSFETs, la dependencia es similar a aquellos basados en JFETs debido a la presencia de diodos usados para protección contra descargas de electricidad estática.

Error debido a I_B

Considere el siguiente diagrama,



donde por conveniencia las corrientes de polarización se representan como fuentes externas a un AO ideal. Los terminales de entrada están virtualmente conectados, y

$$v_n = v_p = -I_p R_x$$

$$I_{R_1} = -\frac{R_x}{R_1} I_p$$

El error causado por las corrientes es

$$E_O = -I_p R_x + \left(I_n - \frac{R_x}{R_1} I_p \right) R_2$$

Para reducir este error, podemos (i) reducir el tamaño de R_2 (y consecuentemente el de R_1 para mantener la misma ganancia), o (ii) escoger

$$R_x = R_1 \parallel R_2$$

de tal modo que el error debido a I_B , que usualmente es el componente más importante, se cancele. En tal caso, el error restante es

$$E_O = \pm I_{OS} R_2$$

donde se a incluido la incertidumbre en el signo del error.

Ejemplo: Para el $\mu A741$, $I_B = 80nA$ e $I_{OS} = 20nA$. Determine el error en el voltaje de salida si $R_1 = 22k\Omega$, $R_2 = 2.2M\Omega$, y

(a) despreciamos I_{OS} y $R_x = 0$;

Respuesta:

$$E_O = (2.2 \times 10^6) (80 \times 10^{-9}) = 176mV$$

(b) $R_x = 22k\Omega || 2.2M\Omega = 21782\Omega$;

Respuesta:

$$E_O = \pm I_{OS} R_2 = \pm 20nA \times 2.2M\Omega = \pm 44mV$$

Nivel (*Offset*) en el voltaje de entrada, V_{OS}

Debido a imperfecciones en la construcción del AO, aun si conectamos ambas entradas a tierra $v_O = v_{og} \neq 0V$. Este error se representa como un voltaje de *offset* en la entrada,

$$V_{OS} = \frac{v_{og}}{a}$$

donde v_{og} representa el voltaje que se mide en la salida cuando las entradas están conectadas a tierra, y a es la ganancia de lazo abierto. El V_{OS} usualmente se representa como una fuente d.c. conectada a la entrada + del AO, y es amplificado igual que cualquier señal conectada a dicho punto.

El valor de V_{OS} no es constante, y cambia linealmente con temperatura. Coeficientes típicos son: $5mV/^\circ C$ (741) y $0.1mV/^\circ C$ (OP-77).

Además, la presencia de un voltaje común a las dos entradas (llamado *voltaje de modo común*, o v_{CM}) produce un cambio dado por

$$\frac{dV_{OS}}{dv_{CM}} = \frac{1}{CMRR}$$

donde el *common-mode rejection ratio* ($CMRR$) es un parámetro que se reduce a medida que la frecuencia de la señal común aumenta, haciendo que V_{OS} aumente con la frecuencia de v_{CM} .

También variaciones en el voltaje de la fuente de potencia afectan el valor de V_{OS} , de acuerdo a la fórmula

$$\frac{dV_{OS}}{dV_S} = \frac{1}{PSRR}$$

donde $PSRR$ representa un parámetro llamado el *power-supply rejection ratio*.

Por último, la señal de salida v_O producen cambios en la entrada diferencial del AO que afectan V_{OS} , $\Delta V_{OS} = \frac{\Delta v_O}{a}$.

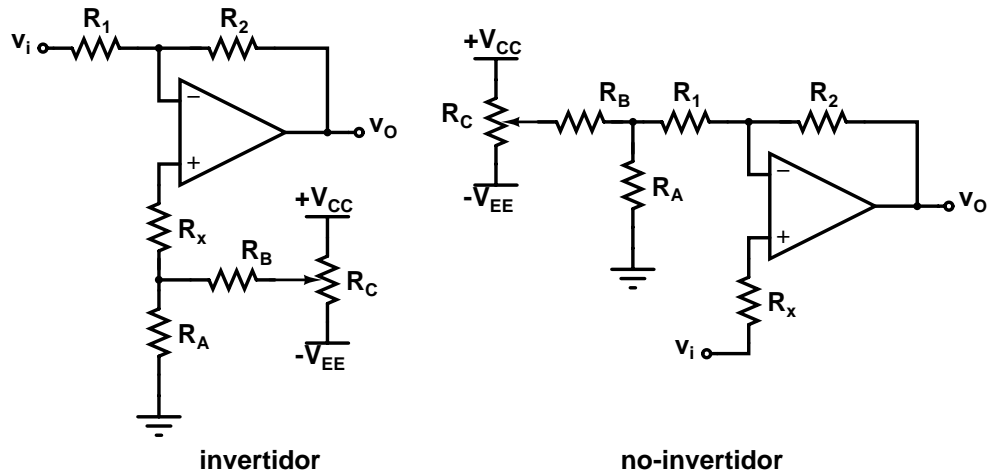
Todas estas variaciones pueden combinarse en la siguiente expresión²

$$V_{OS} = V_{OS_0} + TC \times \Delta T + \frac{\Delta v_p}{CMRR} + \frac{\Delta V_s}{PMRR} + \frac{\Delta v_{out}}{a}$$

²He usado v_p en el lugar de v_{CM} , pues ambos son aproximadamente iguales.

Cancelación del error debido a V_{OS} y a I_{OS}

Si el error producido por V_{OS} e I_{OS} excede los límites impuestos por la aplicación, es necesario corregirlo añadiendo un voltaje externo que cancela el error. Esto implica que cada circuito tiene que ser ajustado en el campo, pues solo se conocen los valores límites del error y no su valor o polaridad. Algunos AO tienen terminales especiales que permiten la corrección del error d.c producido por V_{OS} e I_{OS} , y en este caso las publicaciones asociadas deben presentar su uso correcto. Los siguientes diagramas muestran alternativas que pueden usarse cuando dichos terminales no están disponibles:



Circuitos para anular el error dc