

PRACTICA 1

AMPLIFICADORES RETROALIMENTADOS

RETROALIMENTACION. En su búsqueda de métodos para el diseño de amplificadores con ganancia estable para el uso de los repetidores telefónicos Harold Black, un ingeniero de electrónica de la compañía Western Electric inventó el amplificador retroalimentado en 1928.

Desde entonces esta técnica se ha ocupado tan ampliamente que es casi imposible pensar en los circuitos electrónicos sin alguna forma de retroalimentación, tanto implícita como explícita; la mayor parte de los sistemas físicos incluyen alguna forma de retroalimentación. Más aún el concepto de la retroalimentación y su teoría asociada es utilizado corrientemente en áreas diferentes de la Ingeniería, como el modelo de sistemas biológicos.

La retroalimentación puede ser tanto positiva como negativa (regenerativa,degenerativa). Es interesante notar, sin embargo, que los ingenieros en electrónica han desarrollado la teoría de la retroalimentación negativa.

En el diseño de los amplificadores la retroalimentación se aplica para el efecto de una o más de las propiedades siguientes:

- Desensibiliza la ganancia– esto es, hace el valor de la menos sensible a las variaciones en el valor de los componentes del circuito, tales como las variaciones que podrían provocar las variaciones en

la temperatura.

- Reduce la distorsión no lineal– es decir, hace la salida proporcional a la entrada (en otras palabras hace a la ganancia del valor de nivel de señal).

- Reduce el efecto del ruido– señales eléctricas indeseables generadas por los componentes del circuito y de la interferencia externa.

- Controla las impedancias de entrada y de salida– al seleccionar una topología de retroalimentación apropiada, puede hacerse que las impedancias de entrada y de salida aumenten o disminuyan según se desee.

- Extensión del ancho de banda del amplificador– Todas las propiedades deseables anteriores se obtienen a expensas de una reducción de ganancia, y al factor de reducción de ganancia se le llama magnitud de retroalimentación, es el factor por el cual el circuito se desensibiliza, mediante el cual el ancho de banda se extiende, la impedancia de entrada de un amplificador de voltaje se incrementa y así sucesivamente.

En síntesis, la idea básica de la retroalimentación negativa es cambiar ganancia por otras propiedades deseables.

Bajo ciertas condiciones la retroalimentación puede volverse positiva y de tal magnitud que cause oscilaciones.

Sin embargo, no debe implicarse que la retroalimentación positiva lleva a la inestabilidad, esta es útil en cierto número de aplicaciones tales como el diseño de los filtros activos.

Para hablar de amplificadores retroalimentados primero debemos citar todos las partes que componen un amplificador retroalimentado, así tenemos un amplificador básico, cualquier tipo de amplificador básico como

los vistos en electrónica 2, una red de retroalimentación, esta red puede estar formada por elementos activos o pasivos, una red para muestrear la variable de salida y una red mezcladora que se utiliza para sumar la variable de entrada con la variable de retroalimentación. Consideremos la configuración inversora en la cual la variable de retroalimentación está desfasada 180 grados respecto a la entrada, si está en fase se dice que tenemos retroalimentación positiva.

Hay cuatro distintas combinaciones de transferencia en los amplificadores retroalimentados.

$A_{vf} = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\text{voltaje de salida}}{\text{voltaje de entrada}}$

X_i voltaje de entrada AMPLIFICADOR DE VOLTAJE

$A_{if} = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\text{corriente de salida}}{\text{corriente de entrada}}$ AMPLIFICADOR DE VOLTAJE

X_i corriente de entrada

$G_{if} = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\text{corriente de salida}}{\text{voltaje de entrada}}$ AMPLIF. DE TRANSADMITANCIA

X_i voltaje de entrada

$R_{mf} = \frac{X_o}{X_i} = \frac{\text{voltaje de salida}}{\text{corriente de entrada}}$ AMPLIF. DE TRANSIMPEDANCIA

X_i corriente de entrada

TOPOLOGIAS BASICAS

Amplificadores de voltaje (retroalimentación en serie y derivación), se requiere impedancia de entrada alta e impedancia de salida baja. Muestrea voltaje y suma voltaje.

Amplificadores de corriente (retroalimentación en derivación y serie). Impedancia de entrada baja y de salida alta. Muestrea corriente y suma corriente.

Amplificadores de transconductancia (retroalimentación serie-serie). Muestrea corriente y suma voltaje.

Amplificadores de transimpedancia (retroalimentación derivación-derivación). Muestrea voltaje y suma corriente.

Si consideramos la realimentación negativa conectando la resistencia R_f entre la salida y la entrada. La comparación real de la salida y la entrada tiene lugar combinando las corrientes i_1 e i_2 en el nodo de entrada,

por lo que se le llama diferenciación de corriente. Para facilitar el análisis se puede sustituir la resistencia de realimentación por el circuito equivalente representado en la figura 1.1. Si se desea un circuito equivalente general se tiene el de la figura 1.2

Según el señor Schilling un amplificador diferenciador de corriente negativa comprende conceptualmente tres secciones.

- Un amplificador al que se le aplica la realimentación
- Una red de realimentación que puede contener desde una sola resistencia hasta un circuito con elementos no lineales.
- Un circuito diferenciador (o sumador) en que la salida se compara con la entrada.

DIFERENCIADOR DE TENSION

El circuito diferenciador de tensión difiere del circuito diferenciador de corriente en que la salida de la red de realimentación está en serie con la resistencia de entrada. Aquí la comparación de la salida y la entrada se realiza por medio de la adición de tensiones.

Para mayor claridad se muestra a continuación la figura de un circuito diferenciador de tensión.

La figura muestra la estructura básica al final de la página de un amplificador de retroalimentación. Más que mostrar voltajes y corrientes esta figura es un diagrama de flujo de señal en donde cada una de las señales puede representar tanto una señal de voltaje como una señal de corriente. El amplificador de lazo abierto tiene una ganancia A ; de esta manera su salida x se relaciona con la entrada x_o mediante:

$$A = X_o / X_i$$

La salida x se alimenta tanto a la salida del amplificador básico como a la entrada del circuito de retroalimentación el cual produce una muestra de salida. Esta muestra de salida x_o se relaciona con x mediante la relación con el factor de retroalimentación (Beta).

$$X_f = B X_o$$

La señal de retroalimentación se resta de la señal de la fuente X_s que es la entrada al amplificador de retroalimentación completo para producir una señal X_i que es la entrada del amplificador básico.

$$X_i = X_s - B X_o$$

Esta es la sustracción que hace negativa la retroalimentación. En esencia la retroalimentación negativa reduce la señal que aparece a la entrada del amplificador básico.

En la descripción anterior va implícito que la fuente, la carga y el circuito de retroalimentación no cargan al amplificador básico esto es, la ganancia A no depende de ninguno de estos circuitos. En la práctica éste no será el caso y se tendrá que encontrar un método para formar un circuito real de la estructura ideal.

Este nuevo diagrama permitirá observar que la transmisión directa ocurre enteramente a través del amplificador básico y la transmisión inversa sucede enteramente a través del circuito de retroalimentación. De las ecuaciones X_o y X_s podemos obtener la ganancia del amplificador retroalimentado así:

$$A = X_o / X_i = \frac{X_o}{X_s - B X_o} = \frac{X_o}{X_s} \cdot \frac{1}{1 - A B}$$

$$X_i = B X_o \quad 1 - B X_o / X_i = 1 - A B$$

A la cantidad $A B$ se le llama ganancia de lazo de bucle, y $1 + A B$ se llama cantidad o magnitud de retroalimentación.

Si, como en el caso de muchos circuitos, la ganancia de lazo $A B$ grande.

entonces se deduce

$$A B \gg 1$$

$$A = 1 / B$$

es decir, la ganancia del amplificador de retroalimentación se determina casi por completo por el circuito de retroalimentación. Ya que el circuito de retroalimentación usualmente consta de componentes pasivos tan precisos como se desee, la ventaja de la retroalimentación negativa al obtener ganancia precisa, predecible y estable resulta evidente. En otras palabras, la ganancia total tendrá muy poca dependencia de la ganancia del amplificador básico. Esta es una propiedad deseable ya que la ganancia A es usualmente una función de muchos parámetros, algunos de los cuales pueden tener amplias tolerancias.

Si se emplea una gran magnitud de retroalimentación negativa, la señal de retroalimentación X_f se vuelve una réplica casi exacta de la señal de entrada X_s . Un resultado de esta propiedad es el seguimiento de las dos terminales de entrada de un amplificador op. de diferencia entre X_s y X_f que es X_i se conoce a veces como la señal de error.

DESARROLLO

Proponiendo

$$V_{cc} = 12V$$

$$I_{CQ} = 10 \text{ mA}$$

$$R_s = 8.2 \text{ K}$$

$$R_L = 15 \text{ K}$$

$$R_f = 15 \text{ K}$$

Si analizamos el circuito utilizado para esta práctica tendremos que

$$R_e = 1/I_{CQ} = 1/10 \text{ mA} = 100 \text{ ohms}$$

$$R_c = 5V/10 \text{ mA} = 500 \text{ ohms}$$

$$R_1 = R_b / (1 - V_{bb}/V_{cc}) = 1K / (1 - 1.7/12) = 1.2K \text{ comercial}$$

$$R_2 = R_b (V_{cc}/V_{bb}) = 1K (12/1.7) = 6.8K$$

Modelando la red de retroalimentación con parámetros h , debido a que es un serie paralelo y si utilizamos la técnica de reflejos de impedancia como hemos venido haciendo para todo tipo de problemas de este tipo:

Para poder obtener nuestra relación V_o/V_s obtenemos las siguientes relaciones de nuestro cto. anterior.

$$i_{b1}/V_s = 10.025 \times 10^{-6}$$

$$i_{b2}/i_{b1} = -321.74(5.7 + Z_e)$$

si $I_o = -2.59 i_{b2}$ y $V_o = -I_o \times 15K$ entonces

$$V_o/i_{b2} = 44.25K$$

Realizando la multiplicación de los cocientes anteriores tenemos:

$$V_o/V_s = 142.72 / (5.7 + Z_e)$$

Como $Z_e = R_e / (sC_e R_e + 1)$

$S = ((5.7 + R_e) / (5.7 C_e R_e))$

Si $R_e = 100$ ohms, ahora calculamos el valor de C_e de la ecuación característica.

Para un polo a 15 KHz

$W_p = 1 / 5.4 C_e$

$C_e = 1.96 \mu F$

Con un valor comercial de $1.68 \mu F$ el polo del circuito se encontrará a 17.5 KHz

El cálculo de los demás capacitores de acoplamiento se realiza utilizando el método que nos dió el Ing. Yanga llamado método rápido

$W = 1 / C_x R_x$ donde C_x es el capacitor duscado

R_x es la resistencia vista por el capacitor

Obtenemos los siguientes valores de los capacitores

$C_1 = 0.22 \mu F$ $C_2 = 1 \mu F$ $C_3 = 0.1 \mu F$

Si hacemos que s tienda a infinito en nuestra ecuación de transferencia de voltaje, obtenemos nuestra ganancia en frecuencia media.

$A_v = (i_{b1} / V_s) (i_{b2} / i_{b1}) (v_o / i_{b2})$

Donde obtenemos la ganancia del básico que es $A_v = 24.98$

Para hallar el lazo hacemos cero la excitación y abrimos el lazo colocando una fuente auxiliar llamada V_o'

$L = (i_{b1} / V_o') (i_{b2} / i_{b1}) (v_o / i_{b2})$

Calculando para la frecuencia media haciendo s a infinito tenemos:

$L = 1.475$

Para calcular la ganancia del amplificador retroalimentado

$A_{vf} = A_v / (1 - L) = 10.092$

La impedancia de entrada del amplificador

$R_i = 9.126 K$

Y la impedancia de entrada del amplificador retroalimentado

$R_{if} = 9.126 K (1 + 1.475) = 22.58 K$ como notamos la impedancia de entrada se hizo más grande por ser un amplificador serie.

La resistencia del amplificador básico

$$R_o = 455.8 / 15000 = 442.35$$

Para la impedancia de salida del amplificador retroalimentado

$$R_{of} = 442.35 / (1 + 1.475) = 178.72 \text{ ohms}$$

De la ecuación característica podemos obtener la sensibilidad

$$S_{wL} C_e = 1$$

Para aterrizar todos estos conocimientos necesitamos llevarlos al laboratorio, he aquí los resultados en el laboratorio:

$$A_v = 24$$

$$A_{vf} = 9.55$$

$$\text{Lazo} = 1.5$$

$$R_o = 419.04 \text{ ohms}$$

$$R_{of} = 191.3 \text{ ohms}$$

$$\text{Frecuencia del polo} = 17.8 \text{ KHz}$$

$$\text{Sensitividad} = 1$$





