

6.302 Sistemas de retroalimentación

Otoño 2002
Práctica 2

Fecha de distribución: 4 de noviembre de 2002
Fecha de entrega: jueves, 21 de noviembre de 2002

Introducción

El objetivo de esta práctica es proporcionarle cierta experiencia en la compensación de sistemas con una conocida dinámica. En los ejercicios de la pre-práctica, determinó de forma analítica tres estrategias adecuadas de compensación en serie: compensación de ganancia reducida, compensación de retardo y compensación de adelanto. Durante la práctica tendrá que verificar que funcionan tal como se predijo. El proceso es similar al discutido en clase y el material se trata en las páginas 177 a 191 del libro de Roberge “Operational Amplifiers” (*Amplificadores Operacionales*). Hemos modificado los números y los amplificadores utilizan una topología de inversión en lugar de una de no inversión, aunque las ideas son las mismas.

Herramientas

Asegúrese de recoger los siguientes elementos en el mostrador de herramientas: el kit de componente de la práctica 2, conductores EZ-hook, un condensador de décadas y algún cable de acoplamiento. Necesitará también recoger las partes que calculó en la pre-práctica para los distintos esquemas de compensación.

El pseudo amplificador operacional

Su sistema experimental será el siguiente “pseudo” amplificador operacional, que proporciona unas características similares al tan conocido y repetido amplificador operacional. En la figura 1 se muestra el circuito que ilustra el pseudo amplificador operacional.

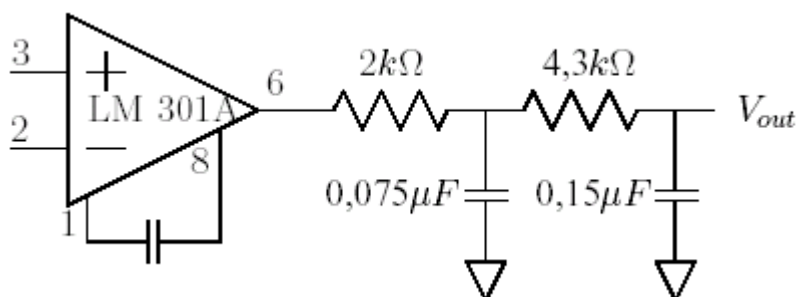


Figura 1: el pseudo amplificador operacional.

El primer paso que debe seguir es construir el circuito del pseudo amplificador operacional y asegurarse de utilizar un LM301A (y no un 741) para el amplificador operacional. El 301A tiene el mismo patillaje que el 741 (véanse los dibujos situados en las paredes del laboratorio). No olvide

alimentar el amplificador operacional con +15V en la patilla 7 y -15V en la 4. Para la red RC en la salida del 301A, utilice los componentes de precisión (resistencias del 1% y condensadores del 5%) que figuran en el kit de componentes. Utilice el condensador de décadas conectado por conectores cortos para el condensador que viene indicado con la letra C. Tendrá que ajustar el valor durante la parte de estandarización de la práctica. Utilice condensadores de disco ($0,01\mu F$) para desconectar los suministros de potencia de $\pm 15V$; ubíquelos **en la tabla** entre (1) +15V y tierra, y (2) -15V y tierra. Utilizaremos el símbolo que se muestra en la figura 2 para el pseudo amplificador operacional.

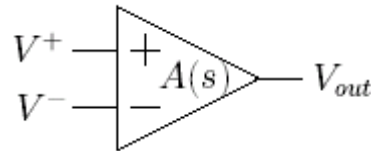


Figura 2: símbolo del pseudo amplificador operacional.

A lo largo de esta práctica, se le pedirá que utilice el pseudo amplificador operacional en una serie de circuitos. Es imprescindible que utilice UN ÚNICO circuito del pseudo amplificador operacional para todos los experimentos. Es decir, si se le pide que compense el pseudo amplificador operacional de dos formas distintas, no construya dos circuitos totalmente independientes de dicho amplificador. Asimismo, tenga precaución de no quemar el amplificador operacional “real” en el circuito. El 301A reacciona muy mal (generalmente parándose) si las patillas 1, 5, u 8 son cortocircuitadas a prácticamente cualquier potencial, incluyendo a tierra.

Si destruye un amplificador después de haberlo estandarizado, tendrá que empezar de nuevo toda la práctica.

Estandarización

El pseudo amplificador operacional se utilizará en todos los apartados de la práctica para formar un amplificador de inversión, tal y como se muestra en la Figura 3.

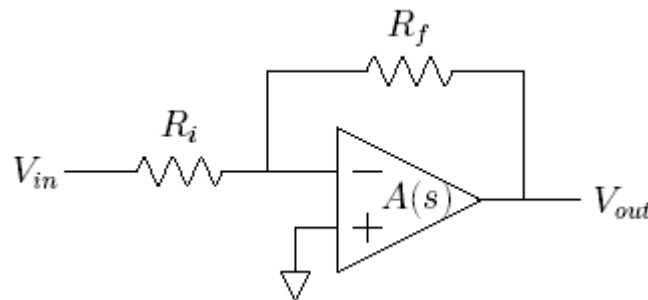


Figura 3: amplificador de inversión básico utilizando un pseudo amplificador operacional.

Si suponemos que el 301A tiene una función de transferencia dominada por un único polo de baja frecuencia a $s = \frac{1}{\tau}$, donde $\tau \gg 10^{-3}$ seg., la transferencia de bucle abierto tendrá la siguiente forma:

$$A(s)f(s) = \frac{a_0 f_0}{(\tau s + 1)(10^{-3}s + 1)(10^{-4} + 1)} \quad \text{donde, } f_0 = \frac{R_i}{R_i + R_f} \quad (4)$$

Los dos polos restantes a 10^3 y 10^4 rps se asocian con la red RC, incluyendo la impedancia de salida del 301A. Como era de esperar, vemos que la función de transferencia del bucle abierto depende de las características del amplificador operacional “real”, de su ganancia DC a_0 y de la ubicación del polo de baja frecuencia $\left(-\frac{1}{\tau}\right)$. Por lo tanto, la función de transferencia del bucle abierto variará algo, en general, dependiendo de las características del circuito concreto que usted construya.

Con el fin de obtener resultados experimentales que concuerden con los cálculos analíticos que se realizaron en la pre-práctica, será necesario *estandarizar* el circuito del amplificador operacional construido. Dado que en la práctica nos interesarán las cuestiones relacionadas con la compensación y el grado de estabilidad, la estandarización consistirá en hacer que el comportamiento del pseudo amplificador operacional cercano a la frecuencia anticipada de cruce sea una función conocida.

De entre los dos parámetros a_0 y τ , no tenemos control sobre a_0 pero si un control completo sobre el valor de τ si modificamos el condensador C de compensación (el condensador que se encuentra situado entre las patillas 1 y 8 del 301A) con la ayuda del condensador de décadas. Se puede utilizar el procedimiento siguiente para estandarizar el circuito del pseudo amplificador operacional:

1. Construya el circuito del amplificador de inversión de la Figura 3, ajustando $R_i = 62k\Omega$ y $R_f = 220k\Omega$ con la ayuda de resistencias de 1%.
2. En esta práctica, la impedancia de la fuente motriz debe ser baja. Se sugiere la utilización de un divisor resistivo que atenúe la salida de señal del generador y que se ubique cerca del pseudo amplificador operacional. En la figura 4 se sugiere un atenuador. Observe que la salida del atenuador (al circuito) proporciona la entrada al montaje de su amplificador (V_{in}).

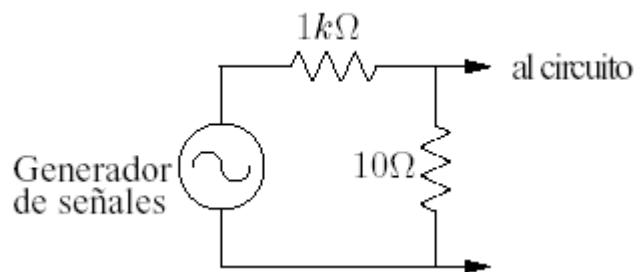


Figura 4: circuito de atenuación

3. Aplique una frecuencia baja y una onda cuadrada de pequeña amplitud al atenuador. Los supuestos necesarios para el análisis lineal se encuentran en grave peligro si la magnitud de pico a pico de V_{in} (la salida del atenuador) sobrepasa $\sim 50mV$. (En la mayoría de los casos, este tipo de error es debido a resultados erróneos en las prácticas).
4. Ajuste el valor del condensador C de compensación (el condensador de décadas) de tal forma que el circuito se encuentre al borde de la inestabilidad. Cuanto más prolongadas sean las “llamadas” de respuesta a escalón antes de extinguirse, más cerca estarán los polos del eje $j\omega$. El récord de tiempo de llamada es de aproximadamente 10 seg., aunque entre 0,2 y 0.5 seg. son suficientes. Un valor *ballpark* para C está en el orden de 5000 pF. Asegúrese de que el circuito *resuena*, no *oscila*. Observe que este proceso es el equivalente experimental al proceso por el que se determina τ de forma analítica en la pre-práctica con el objeto de conseguir un sistema con un margen de fase cero.

NO MODIFIQUE EL CONDENSADOR C DE COMPENSACIÓN PARA EL RESTO DE LA PRÁCTICA.

Mediciones iniciales

A continuación, conecte el circuito del pseudo amplificador operacional estandarizado como un amplificador inversor de ganancia 10 sustituyendo la resistencia de $62k\Omega$ con una de $22k\Omega$. De nuevo, sería conveniente que utilizase una resistencia de 1% de precisión. Este circuito comprenderá su sistema básico sin compensar, con las propiedades que calculó en la pre-práctica. En la figura 5 se muestra una ilustración de dicho circuito.

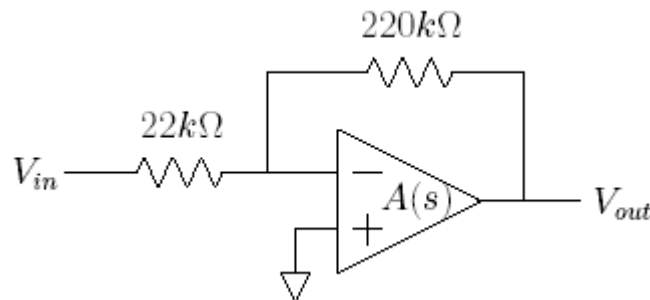


Figura 5: sistema sin compensar (amplificador inversor de ganancia 10).

Mida las respuestas de los dominios de tiempo y de frecuencia de su amplificador (frecuencia natural amortiguada ω_d , tiempo pico t_p y porcentaje de sobrecarga *P.O.*; magnitud de pico M_p y frecuencia de pico ω_p). Deduzca la relación de amortiguamiento equivalente y la frecuencia natural y compare los valores con los que predijo en la pre-práctica.

Compensación

En este momento ya está preparado para compensar el sistema con el objeto de mejorar el margen de fase como se indica a continuación:

1. Reduciendo la ganancia DC de bucle abierto.
2. Mediante compensación de retardo.
3. Mediante compensación de adelanto.

Puede dejar sin modificar el valor del condensador de compensación C o los elementos de la red RC del pseudo amplificador operacional, o cargar la red excesivamente para así implementar la compensación. En la pre-práctica se muestran los circuitos correspondientes a cada sistema compensado. Sería conveniente que utilizase los valores del componente que calculó en la pre-práctica para R' (ganancia reducida), $R_{retardo}$ y $C_{retardo}$ (compensador de retardo) y R' y $C_{adelanto}$ (compensador de adelanto).

Mida los dominios de tiempo y de frecuencia para cada sistema compensado y deduzca la relación de amortiguamiento, la frecuencia natural y el margen de fase. Sería recomendable que midiese también el ancho de banda para cada sistema. Convéznase de que la respuesta a escalón y la

respuesta en frecuencia que ha medido concuerdan de forma aceptable con los diseños que realizó en la pre-práctica.

Informe escrito

Deberá incluir los siguientes puntos en su informe escrito:

1. La pre-práctica, incluyendo los diagramas de bloques, los diagramas de Bode, los lugares de las raíces, las ubicaciones del polo / cero del bucle cerrado y las respuestas que se esperaban para los sistemas compensados y sin compensar.
2. Los valores de los componentes que ha utilizado para implementar cada uno de los compensadores.
3. Los parámetros del bucle cerrado medidos y calculados (ζ , ω_n , y ω_b) para cada compensador.
4. Una propuesta de las ventajas y desventajas de cada compensador (como por ejemplo la ganancia DC, el ancho de banda, el comportamiento del transiente, etc.).