

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL BUENOS AIRES

ELECTRÓNICA APLICADA II

TRABAJO PRÁCTICO DE LABORATORIO

Práctica Anual de

Circuitos Amplificadores Realimentados y de Potencia



INDICE

Introducción	4
Objetivos de la Práctica Anual	4
Desarrollo	4
Descripción del Amplificador de Potencia	5
Pautas Generales del Trabajo Práctico	6
Confección de los Informes	6
Entrega del Informe	6
<i>Diseño de un Amplificador Cuasi-Operacional</i>	7
Introducción	7
Objetivos	7
Conocimientos mínimos necesarios	7
Elementos utilizados	7
Esquema Utilizado en la Práctica	8
Desarrollo	9
Fase de Diseño	9
Diseño del Amplificador a lazo abierto	9
Obtención de la red β	10
Corrección del Offset de salida	10
Esquema final tras la práctica	10
Simulación	11
Medición y Verificación	11
Compensación de Oscilaciones	11
Presentación del Informe	11
<i>Optimización del Amplificador Cuasi Operacional</i>	12
<i>Ensayo de Amplificadores Realimentados</i>	12
Introducción	12
Objetivos	12
Conocimientos mínimos necesarios	12
Elementos utilizados	12
Desarrollo	13
1. Dependencia de la des-sensibilización con la ganancia	13
2. Chequeo de la Des-sensibilización del amplificador realimentado	13
3. Disminución del Offset de salida	13
4. Influencia de los valores de las resistencias en el Offset de salida	13
5. Aumento del rechazo al ruido de la alimentación	14
Importante	14



Respuesta en Frecuencia del Amplificador	15
Introducción	15
Objetivos	15
Conocimientos mínimos necesarios	15
Elementos utilizados	15
Desarrollo	16
1- Diseño de un Amplificador Monoetapa	16
2- Mejora en el ancho de Banda	16
Aplicaciones del Amplificador Operacional	17
Amplificadores con Respuesta Dependiente de la frecuencia	17
Introducción	17
Objetivos	17
Conocimientos mínimos necesarios	17
Elementos utilizados	17
Desarrollo	18
Medición del Slew Rate del Amplificador Cuasi-Operacional	18
Amplificador Derivador	18
Amplificador Integrador	18
Diseño del Amplificador de Potencia	19
Introducción	19
Objetivos	19
Conocimientos mínimos necesarios	19
Elementos utilizados	19
Desarrollo	20
Simulación final	20
Ensayo del prototipo	21
Ensayo final	21
Optimización y Protección del Amplificador de Potencia	22
Introducción	22
Objetivos	22
Conocimientos mínimos necesarios	22
Elementos utilizados	23
Desarrollo	23
Diseño del amplificador HQ	23
Mejora de la THD mediante un Cascode	23
Mejora del brillo del sonido mediante J-Fets en la entrada	23
Uso de Transistores Mos-Fets en la salida	23
Agregado de un circuito de Protección	24
Determinación de la Distorsión Armónica Total	24
Comparación de los amplificadores	24



Práctica Anual de

Circuitos Amplificadores Realimentados y gde Potencia

Introducción

La presente guía de Trabajos Prácticos pretende conjugar todas las herramientas disponibles por el estudiantado promedio para el diseño de amplificadores, utilizando la teoría clásica, los conocimientos adquiridos mediante la ejercitación, las herramientas de simulación y por supuesto el ensayo en Laboratorio de los circuitos diseñados.

Objetivos de la Práctica Anual

- Diseñar y construir un Amplificador de Potencia de Audio Frecuencia en diferentes etapas a lo largo de todo el año lectivo, que sea comparable en prestaciones y calidad a los comerciales.
- Utilizar componentes discretos para permitir que el alumno experimente y ensaye circuitos analógicos complejos y reales.

Desarrollo

Para darle un mejor aprovechamiento a los conocimientos adquiridos en las clases teóricas la práctica se dividirá en 6 partes ó TPs parciales, cada uno de las cuales integrará los avances logrados en los TPs previos.

Las prácticas junto a sus objetivos aparecen debajo:

- TP1 – Diseño de un Amplificador Cuasi Operacional
 - § Diseño y Ensayo de un Amplificador Cuasi-Operacional con componentes discretos.
 - § Verificación de los parámetros realimentados y de lazo abierto del diseño.
 - § Corrección de inestabilidades
- TP2 – Optimización del Diseño – Ensayo de Amplificadores Realimentados
 - § Re-diseño para lograr un amplio rango de tensión de Alimentación
 - § Verificación de la des-sensibilización del circuito realimentado:
 - ü mediante el reemplazo de uno o varios de los componentes activos
 - ü mediante el cambio en el valor en la *Diferencia de Retorno*
 - § Chequeo, corrección y mejora del Offset de salida
 - § Medición y optimización del PSRR
- TP3 - Respuesta en Frecuencia del Amplificador
 - § Respuesta en frecuencia del Amplificador
- TP4 - Aplicaciones del Amplificador Operacional - Amplificadores con Respuesta Dependiente de la frecuencia
 - § Ensayo de las configuraciones: Derivador e Integrador



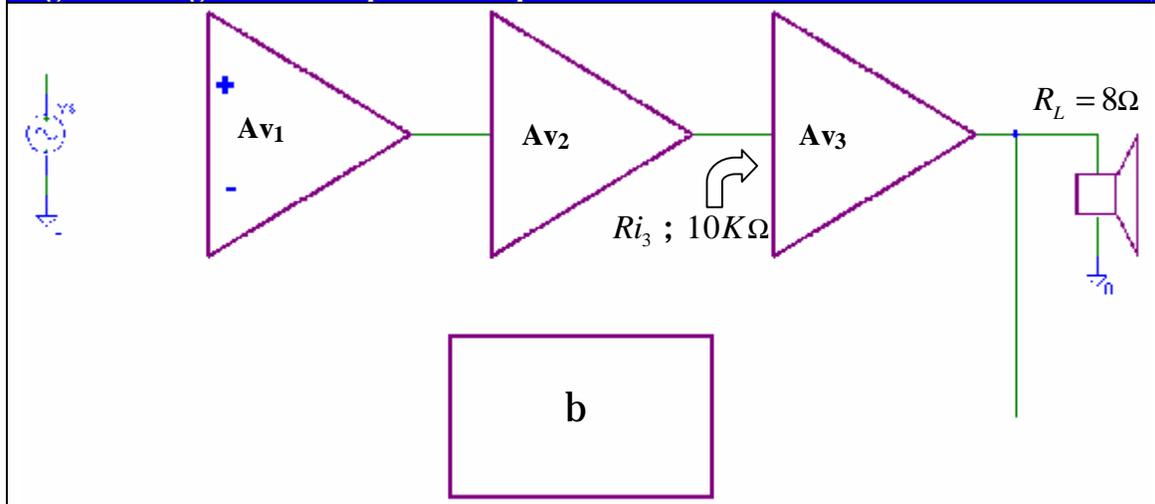
- § Determinación del Slew Rate del circuito.
- TP5 - Diseño del Amplificador de Potencia
 - § Diseño y ensayo de un Amplificador de Potencia de Audio Frecuencia con etapa de salida D'Arlington
- TP6 - Optimización y Protección del Amplificador de Potencia
 - § Diseño y ensayo de un segundo Amplificador de Potencia de Audio Frecuencia con etapa de salida MosFet, J-Fets de entrada y Cascode.
 - § Medición y comparación de las THD de los amplificadores.
 - § Implementación del circuito de protección de los amplificadores.

Descripción del Amplificador de Potencia

El fin último de las prácticas es diseñar un amplificador de audio frecuencia de potencia,

Para comenzar el diseño podemos utilizar el siguiente diagrama en bloques como guía:

Figura 1. Diagrama en bloques del Amplificador de Potencia



Un Amplificador Operacional ó uno de Potencia está básicamente formado por tres etapas:

§ Primera Etapa:

Es un amplificador de alta impedancia en el caso de un operacional y media en uno de potencia. Es capaz de mezclar las señales provenientes del generador y de la red de realimentación proveyendo así la realimentación negativa del circuito. Es importante que ésta etapa tenga una ganancia relativamente grande.

§ Segunda etapa:

Provee ganancia adicional para el amplificador. Se caracteriza por tener una muy alta excursión y por proveer desplazamiento de tensión estática (posibilidad de tener 0V en la salida en el caso de usar fuente partida o $V_{cc}/2$ si la fuente es simple).

§ Tercera Etapa:

Es de media potencia en el caso de un AO, mientras que es alta para los amplificadores de potencia. Se trata de un seguidor de tensión (ganancia unitaria) con capacidad de proveer corrientes medio elevadas cuando las exija la carga, siendo grandes corrientes para el caso de un amplificador de potencia. Generalmente está asociado a un par de colectores comunes.



Pautas Generales del Trabajo Práctico

Confección de los Informes

Debido a que la práctica anual engloba a 5 TPs parciales, se deberá tener presente que cada informe de TP se adjuntaran para formar el informe de la práctica anual.

Entrega del Informe

El informe de Trabajo Práctico debe contar con los siguientes ítems:

- Carátula, donde debe aparecer al menos la siguiente información:
 - § el número de grupo
 - § sus integrantes
 - § fecha de realización de los ensayos, ya sea simulaciones o de laboratorio
 - § fecha de entrega.
- Introducción: Una breve explicación de lo realizado.
- Material e instrumentos utilizados.
- Circuito esquemático con los detalles de los cálculos realizados para la obtención de cada uno de los componentes del amplificador.
- Circuito esquemático utilizado en la simulación, así como las gráficas obtenidas con el software. Debe indicarse claramente en el circuito y en las gráficas cuales fueron los nodos o terminales donde se realizaron mediciones.
- Métodos y condiciones bajo las cuales se midió cada parámetro del circuito (resistencia de entrada, de salida, ganancia, etc.)
- Cuadro resumen con los valores calculados, simulados y medidos de los parámetros más importantes del amplificador. Debe indicarse inclusive los errores relativos tomando como patrón el valor medido.
- Conclusiones.

NOTA:

El informe de trabajo práctico debe ser presentado en las fechas acordadas, en forma prolija y encarpetao. No serán recibidos de no cumplimentar éstas reglas básicas.



TP de Laboratorio - 1ra Parte

Diseño de un Amplificador Cuasi-Operacional

Introducción

Los amplificadores multietapa utilizados en la práctica, salvo raras excepciones, suelen poseer acoplamiento directo entre etapas, ganancias elevadísimas y excelentes características como amplificadores de tensión; éstos son los comercialmente conocidos como *Amplificadores Operacionales*.

Éstos utilizados como amplificadores siempre funcionan realimentados, no solo con señal, sino que también en continua, dándoles así buena estabilidad respecto de las fluctuaciones de temperatura, tensión de alimentación, etc.

En la presente práctica pretendemos que el alumno diseñe un amplificador con características cercanas a la de un amplificador operacional, utilizándolo luego, en las siguientes prácticas, para el diseño de un amplificador de audio de potencia completo.

Objetivos

- Utilizar los conocimientos vistos en teoría acerca del diseño de amplificadores multietapa y diferenciales.
- Verificar y comparar el comportamiento de los amplificadores de alta ganancia a lazo abierto y a lazo cerrado con lo buscado en la fase de diseño y lo visto y ensayado en la simulación.
- Corroborar que los parámetros característicos del amplificador mejoran notablemente en forma proporcional a la cantidad de realimentación utilizada.

Conocimientos mínimos necesarios

Para comenzar con el diseño el alumno debe poseer conocimientos mínimos de:

- Amplificadores multietapa y diferenciales.
- Teoría de circuitos realimentados.
- Conocimientos básicos de simuladores.

Elementos utilizados

- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Set de capacitores de valores comprendidos entre 10pF y 100µF.
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).

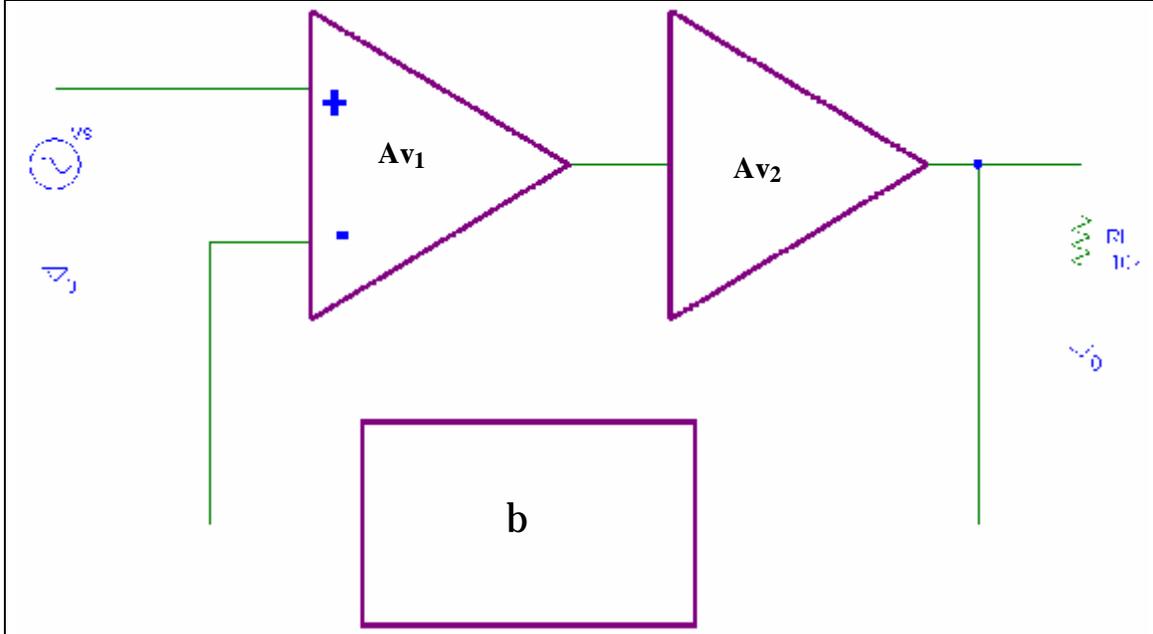


Esquema Utilizado en la Práctica

Dado que la resistencia de entrada de la tercera etapa promedia los $10\text{K}\Omega$, y que la ganancia de ésta es aproximadamente 1, en ésta etapa de la práctica anual podemos simplificar el circuito del amplificador de potencia eliminando en forma temporal la última etapa, cargando con su impedancia de entrada en el segundo amplificador y muestreando tensión desde la salida de éste.

En función de estos cambios nos queda el siguiente diagrama:

Figura 2. Diagrama en bloques del Amplificador



Éste nuevo amplificador no es capaz de proveer potencia alguna, ya que falta la última etapa que cumple dicha función. Tampoco funciona exactamente igual al amplificador completo, pero nos permite comenzar el diseño aún sin tener conocimientos de cómo será la etapa de potencia.

Finalmente, luego de que este pequeño amplificador esté funcionando a pleno, se podrá convertirlo en uno de potencia simplemente agregando la tercera etapa y haciendo unos ajustes menores.



Desarrollo

Fase de Diseño

Diseño del Amplificador a lazo abierto

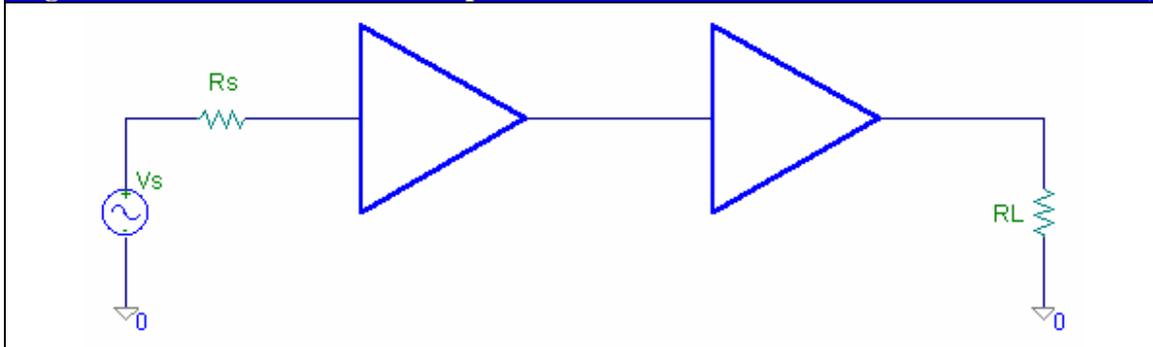
Proyecte un multietapa que se corresponda con las dos primeras etapas del diagrama en bloques previamente descrito en la Figura 1.

Algunas de las características buscadas son las siguientes:

- Dos entradas perfectamente definidas, si es posible con alta impedancia. Una es inversora y la otra no inversora.
- La ganancia total del multietapa debe ser alta. Valores entre 10.000 y 100.000 son los más comunes.
- La etapa que excita a la de salida, comúnmente denominado driver, debe tener excelentes características de excursión.
- Debe ser capaz de proveer una tensión estática en su salida del orden de $V_{cc} / 2$ si se utiliza una fuente simple de alimentación, o 0V si la alimentación es mediante fuente partida.
- La ganancia de ésta debe ser alta, similar a la de un emisor común, y de ser posible no debe cargar a la etapa que la excita.
- Como ya se ha mencionado, los acoplamientos entre etapas serán directos (de continua). Solo deberá incorporar un capacitor de bloqueo de continua en la entrada del amplificador (primera etapa), de modo de evitar cualquier componente estática proveniente del generador.
- Deberá asegurarse de cumplir con los puntos previos antes de seguir con el segundo paso.

El circuito tras éstos pasos se puede representar mediante el siguiente diagrama en bloques:

Figura 3. Estado del Diseño tras el paso 1



Tenga en cuenta que:

- La carga de la segunda etapa se puede estimar en éste momento en $10K\Omega$ como valor típico y $1K\Omega$ como mínimo (es una estimación, partiendo de la suposición de que la carga de la tercer Etapa es un parlante de 8Ω).
- La tensión del generador de entrada en éste momento del diseño no es de importancia. Solo basta con saber que casi con seguridad estará comprendida entre 100mV y 2V. En cuanto a la resistencia interna de éste, lo más probable es que sea del orden del ohm o inferior en el caso de la salida de un amplificador real.
- A ésta altura la potencia de salida del amplificador de potencia no es un dato relevante, ya que, si logra un buen diseño para estas 2 etapas solo bastará hacer algunas correcciones a la hora de pasar de éste amplificador al de potencia.



- La topología de realimentación es tensión-serie en el amplificador de potencia, pero en algunos ensayos (en los del TP4) también puede ser tensión-paralelo.

Obtención de la red b

Una vez que el amplificador multietapa se halla bosquejado, solo resta encontrar una red de realimentación adecuada para las necesidades planteadas. Las características más importantes de ésta son:

- La ganancia del amplificador determinada por la red debe estar acorde a los niveles de señal que van a estar presentes en la entrada y en la salida.
- β debe ayudar a no empeorar el offset de salida (desde el punto de vista de las corrientes de entrada del amplificador).

Una vez que se dispone del circuito multietapa realimentado es posible empezar a realizar simulaciones para la verificación del comportamiento del circuito.

En las simulaciones deberá verificar cada uno de los puntos pedidos anteriormente, comenzando como siempre por el análisis estático del circuito.

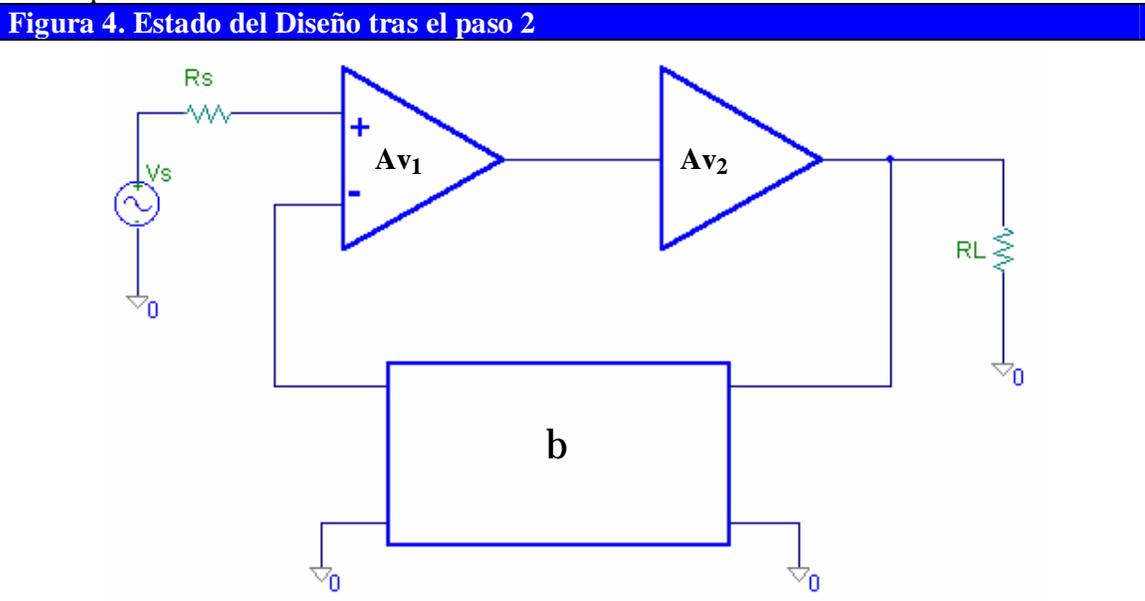
Corrección del Offset de salida

Hay que tener presente la posibilidad de poder hacer ajustes de offset, principalmente cuando el amplificador es de potencia elevada y el acoplamiento de salida es directo.

Es posible también que esto no sea necesario, pero queda condicionado al nivel de continua real obtenido en la salida.

Esquema final tras la práctica

Siguiendo las indicaciones logrará llegar al amplificador representado en el siguiente esquema:





Simulación

Mediante el uso de un software de simulación de circuitos ensaye el amplificador propuesto y verifique que funciona según lo previsto, teniendo en cuenta las siguientes pautas:

- § Verifique el estado de funcionamiento del amplificador cuando se halla sin realimentación. Luego proceda a realimentarlo y vuelva a chequearlo. En ambos casos usará como pauta los valores de las corrientes y tensiones de polarización de los transistores, los cuales deben coincidir dentro de lo razonable con los valores calculados.

En caso de ser correctas las características Estáticas principales, proceda entonces con los Ítems de *Continua* y luego con los de *Alterna* que aparecen debajo:

- § Mida el nivel de tensión continua de la salida del circuito con y sin realimentación. Luego, con el amplificador ya realimentado corrija de ser necesario el nivel de salida intentando llevarlo a 0V (recuerde que debía prever la necesidad de utilizar un preset de ajuste de Offset en caso de que éste tuviese un nivel apreciable). Recuerde que el nivel máximo aceptable está en orden de las decenas de miliVolt.
- § Mida y certifique que los parámetros característicos de alterna son similares a los buscados en el diseño. Tome nota de todos ellos. Entre las características destacadas encontramos:
 - a. Ganancia de Tensión, Resistencia de entrada y de Salida
 - b. Excursión
 - c. Ancho de Banda

Recuerde que la mayoría de éstos parámetros difieren en valor al medirlos a lazo abierto o lazo cerrado, por lo tanto, donde sea posible mida ambos (no siempre resulta simple medir las características de lazo abierto). Tenga en cuenta que, casi con seguridad las características de lazo abierto deberán ser medidas en forma indirecta con el amplificador realimentado.

Medición y Verificación

Una vez que la simulación indique que el diseño funciona satisfactoriamente proceda a armar el circuito en un protoboard. Al finalizar ésta tarea deberá repetir los ensayos y mediciones realizados en la parte de Simulación.

Compensación de Oscilaciones

Es muy probable que a ésta altura el multietapa realimentado oscile, es decir, que aún sin señal en la entrada haya un senoidal o cuasi senoidal en la salida.

Para solucionar éste problema se recurre a insertar un capacitor de muy bajo valor entre el colector y la base del transistor de la segunda etapa. Usualmente el valor de dicho capacitor ronda los 33pF, y puede llegar a ser bastante mayor.

Presentación del Informe

Como es habitual, deberá confeccionar un informe detallando al menos:

- § Pasos seguidos para lograr el diseño
- § Características finales de la implementación
- § Una tabla comparativa de valores donde aparezcan los calculados y los obtenidos mediante simulación y medición.



TP de Laboratorio - 2da Parte

Optimización del Amplificador Cuasi Operacional

Ensayo de Amplificadores Realimentados

Introducción

El amplificador realimentado diseñado en la primera parte de la práctica anual dista mucho de ser lo estándar en audio frecuencia.

Debido a ello en ésta parte de la práctica en particular se pretende encarar el diseño previamente ensayado, de forma de optimizarlo al punto tal de que se asemeje e inclusive supere en prestaciones a los amplificadores discretos que se vendían hace tan solo 10 años atrás (o los integrados que se venden hoy en día).

En éste caso en particular afrontaremos los problemas de Offset de salida y rechazo a las variaciones de la fuente de alimentación.

También aprovecharemos para corroborar una de las características más destacables de un amplificador realimentado: la des-sensibilización.

Objetivos

En la presente práctica se pretende:

- Verificar la des-sensibilización del circuito realimentado y la dependencia de ésta respecto de la Ganancia del amplificador.
- Optimizar el amplificador minimizando su offset de salida.
- Mejorar el rechazo a las variaciones de la fuente de alimentación (PSRR)

Conocimientos mínimos necesarios

- Amplificadores Multietapa Realimentados y Operacionales.
- Orígenes de la tensión residual continua en la salida y métodos para corregirla.
- Influencia del ruido en amplificadores multietapa realimentados.

Elementos utilizados

- Circuito amplificador cuasi-operacional previamente diseñado
- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).



Desarrollo

1. Dependencia de la des-sensibilización con la ganancia

Es bien sabido que casi todas las características de un amplificador mejoran al realimentarlo, y también que éstas mejoras son más acentuadas cuando la diferencia de retorno D es un número mucho mayor que 1.

Ahora, debido a que la diferencia de retorno depende del nivel de realimentación (impuesto por la red beta) y de la ganancia del amplificador, se pide:

- Prevea 2 circuitos similares del amplificador, uno de ellos con muy alta ganancia, y el segundo con ganancia moderada (se sugiere utilizar para el segundo amplificador cargas resistivas, mientras que para el primero cargas activas)
- Ensaye ambos circuitos con las mismas condiciones de señal de entrada, carga y red de realimentación, tomando nota de todas las características destacadas en un amplificador de éste tipo.
- Compare los resultados obtenidos, indicando en sus conclusiones finales cual de los amplificadores se asemeja más al ideal.

2. Chequeo de la Des-sensibilización del amplificador realimentado

Utilizando como referencia las mediciones realizadas en el ítem anterior con el amplificador de alta ganancia, se pide:

- Reemplace todos los transistores del amplificador discreto por otros diferentes (por ejemplo puede reemplazar los BC547A por BC547C, los cuales son superiores en valor de hfe).
- Repita las mediciones de las características realimentadas del amplificador, de modo de poder compararlas con las del ítem 1.
- Tome nota y saque conclusiones

3. Disminución del Offset de salida

Dado que el amplificador solo tiene respuesta plana en un rango de frecuencias que no incluye la continua, es posible entonces utilizar ésta característica para hacer una red que sea diferente en continua que en frecuencias medias, por lo tanto:

- Analice el comportamiento de la red beta clásica del amplificador de tensión diseñado.
- Proponga una red derivada de la anterior que mantenga sus características en frecuencias medias, pero que mejore el comportamiento en continua del circuito (siempre desde el punto de vista del offset)
- Ensaye ambos circuitos y tome nota de los resultados obtenidos.

4. Influencia de los valores de las resistencias en el Offset de salida

Como ya habrá visto en las clases teóricas, una forma de disminuir el offset debido a las corrientes de polarización de base de un diferencial es apareando las resistencias estáticas que se ven desde ambas entradas. Sin embargo, ¿qué efecto tiene el uso de valores grandes para éstas resistencias?

Para contestar ésta pregunta (o corroborar sus conocimientos) se propone:

- Ensaye 2 circuitos con valores bien diferentes (por ejemplo 10K Ω y 330K Ω) de las resistencias estáticas apareadas en las entradas del diferencial.



- Repita la experiencia reemplazando los transistores del diferencial (sería deseable que mida los h_{FE} de los transistores con un multímetro, de manera de ver que pares están apareados y cuales no)
- Tome nota de los resultados, arme un cuadro comparativo y saque conclusiones.

5. Aumento del rechazo al ruido de la alimentación

Como casi con seguridad el amplificador de potencia requerirá una fuente de alimentación que provea varios amperes, y sabiendo que diseñar y armar una fuente regulada de tales características puede resultar tan laborioso y costoso como el mismo amplificador de la práctica, es deseable en la mayoría de los casos evitar tal tarea (con el consiguiente ahorro en los costos del proyecto, lo cual es aún más importante).

Por ello y tal como es habitual en los casos comerciales procederemos a mejorar nuestro diseño de manera tal que sea inmune a los ruidos del Ripple de alimentación. Con ello en mente:

- Ensaye al amplificador con el generador de entrada pasivado, intercalando en cada una de las ramas que cuelgan de las alimentación Vcc (y Vee en el caso de usar fuente partida) un generador de señal, simulando los pasos del método de superposición. En cada paso deberá determinar la influencia del ruido (señal del generador en éste caso) que entra por cada rama, simplemente midiendo la atenuación de dicha señal en la salida del amplificador.
- Una vez que encuentre los puntos débiles (ramas más susceptibles al ruido de alimentación) del circuito, deberá destacar aquellos que afecten significativamente a la señal, proponiendo para ellos alguna alternativa que tienda a minimizar el ruido por dicha en la salida.

Dado que, el subcircuito de la fuente de corriente constante puede comportarse también como un amplificador, y casi con seguridad es una zona sensible al ruido de la alimentación, se propone:

- Si está utilizando una fuente espejo (o espejo con resistencias de emisor), realice las mediciones de la atenuación del ruido desde ésta zona.
- Luego analice y proponga un circuito alternativo para la referencia de la fuente de corriente constante del amplificador, y vuelva a realizar las mediciones, tendiendo a comparar los resultados obtenidos.
- En el caso de que no utilice fuente espejo y su fuente sea ya inmune al ruido de alimentación, intencionalmente reemplace su fuente por una espejo (o espejo con resistencia de emisor) y realice los pasos anteriores.

Importante

Tenga en cuenta que poner en serie el generador de señal con la fuente de alimentación no es buena idea en un amplificador de potencia, ya que éste puede requerirle bastante corriente al generador, por lo tanto:

Solo realizaremos los ensayos mencionados con las 2 primeras etapas del amplificador, las cuales en su conjunto por lo general no consumen más de 15mA en continua.



TP de Laboratorio - 3ra Parte

Respuesta en Frecuencia del Amplificador

Introducción

Dado que en todos los componentes de un circuito amplificador de audio frecuencia real existen reactancias parásitas distribuidas, que junto a las capacidades necesarias para el desacople de continua, provocan inevitablemente la aparición de efectos indeseados en el comportamiento a diferentes frecuencias.

A altas frecuencias son fundamentalmente las capacidades intrínsecas de los transistores las que perturban el comportamiento del amplificador.

En cambio, en baja frecuencia los capacitores electrolíticos utilizados para desacople de continua y los de *by pass* son los que modifican el comportamiento del amplificador.

Objetivos

En la presente práctica se pretende:

- Verificar el funcionamiento de los amplificadores en el rango de frecuencias bajas, medias y altas.
- Comprobar que es posible, bajo ciertas circunstancias, determinar la frecuencia de corte mediante el estudio de la respuesta temporal del circuito.
- Corroborar la existencia de implementaciones que proveen un incremento en el ancho de banda.
- Comparar los resultados con lo visto en teoría y lo obtenido mediante simulación.

Conocimientos mínimos necesarios

- Amplificadores Monoetapa, Multietapas, Cascote y Diferenciales.
- Amplificadores Operacionales.
- Respuesta en frecuencia de los amplificadores a lazo abierto y lazo cerrado.
- Métodos de estimación y medición de la frecuencia de corte superior e inferior.

Elementos utilizados

- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).



Desarrollo

1- Diseño de un Amplificador Monoetapa

- Diseñe un amplificador monoetapa tipo emisor común, teniendo en cuenta que la carga es de $5K\Omega$ y la resistencia interna del generador es de unos 500Ω . Calcule para éste las frecuencias de corte inferior y superior
- Mida las características dinámicas del amplificador en un rango de frecuencias de 10Hz hasta 10MHz. Determine la frecuencia de corte superior así como la frecuencia a la que cae al 70% la impedancia de entrada del amplificador.
Para ello utilice los métodos necesarios (por ejemplo, el de medición del Rise Time) para determinar la frecuencia de corte superior.
- Mediante el método de medición de la flecha halle la frecuencia de corte inferior
- Realice una tabla comparativa con los resultados teóricos, los de la simulación y los de medición, enunciando sus conclusiones.

2- Mejora en el ancho de Banda

- En base al amplificador previamente diseñado, mejore su ancho de banda con el agregado de un segundo transistor, transformando al circuito al denominado Cascode.
- Reitere los pasos anteriores de medición de las características en frecuencia del nuevo amplificador.
- Realice una nueva tabla y enuncie sus conclusiones.

Nota

Tenga presente que en las mediciones el osciloscopio no se comporta resistivamente en todo el rango de frecuencias utilizado, ya que la capacidad de la punta (usualmente de 30pF) influye notablemente en las mediciones a alta frecuencia.



TP de Laboratorio – 4ta Parte

Aplicaciones del Amplificador Operacional

Amplificadores con Respuesta Dependiente de la frecuencia

Introducción

El uso de elementos reactivos en la realimentación de un amplificador operacional provee a éste de características diferentes en los distintos rangos de frecuencia, haciéndolo muy útil a la hora de obtener efectos de deformación (ó formación) de una forma de onda concreta.

En función de ello vamos a ensayar 2 configuraciones habituales con respuesta no plana en función de la frecuencia: El *Derivador* y el *Integrador*.

En segundo lugar, aprovecharemos para verificar la característica del amplificador de responder rápidamente a señales de variación rápida y gran amplitud, conocida bajo el nombre de *Slew Rate*.

Objetivos

- Verificar la estabilidad en el amplificador realimentado, y compensar ésta si resulta necesario.
- Verificar el comportamiento en frecuencia del Amplificador cuasi-Operacional ensayándolo como amplificador Derivador e Integrador.
- Comparar los resultados con lo visto en teoría

Conocimientos mínimos necesarios

- Amplificadores Operacionales.
- Respuesta en frecuencia de los amplificadores a lazo abierto y lazo cerrado.
- Cálculo de transferencia a lazo cerrado en Amplificadores Operacionales con redes de realimentación reactivas.
- Criterios de Estabilidad en amplificadores realimentados.
- Métodos de corrección de la Estabilidad y Compensación en amplificadores realimentados.

Elementos utilizados

- Circuito amplificador cuasi-operacional previamente diseñado
- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Set de capacitores de valores comprendidos entre 10pF y 1nF.
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).



Desarrollo

Utilizando como base el amplificador cuasi-operacional diseñado en la práctica 1, y considerando a éste como a un AO casi ideal:

Medición del Slew Rate del Amplificador Cuasi-Operacional

Arme el amplificador y compénselo de ser necesario. La ganancia total puede ser por ejemplo de 10 veces. Entonces:

- Proceda a excitarlo con una señal senoidal de baja frecuencia (1KHz por ejemplo) y cuya amplitud haga excursionar al máximo al amplificador.
- Empiece lentamente a aumentar la frecuencia de la señal, chequeando que la forma de onda de la señal de salida se mantenga.

A determinada frecuencia deberá notar una deformación en los flancos de la senoidal de salida. Tome nota de la pendiente en esos flancos y calcule el *Slew Rate*.

- Verifique la forma de onda ahora con una cuadrada con la misma amplitud y frecuencia.
- Reemplace el capacitor de compensación del amplificador por otros dos, uno del valor mitad y luego por otro del doble del valor del utilizado, y repita el ensayo par ambos casos. En ésta oportunidad deberá determinar si existe una relación entre dicha capacidad y el *Slew Rate*.
- Construya la tabla comparativa, y comente sus conclusiones.

Amplificador Derivador

- Calcule y arme un amplificador derivador, utilizando la red beta ideal de dicho circuito. Tenga presente que el derivador es un amplificador inversor, mientras que el de potencia no, por lo tanto, deberá entrar con la señal por la entrada inversora (a través de una de las impedancias de la red beta), poniendo convenientemente la entrada no inversora a tierra.
- Compruebe si es estable o no el diseño. En caso de no serlo, tome nota de la frecuencia de oscilación, así como de la forma de onda y de la amplitud.
- Modifique y recalculé la red beta de manera de convertir al derivador en un circuito estable. Luego ensaye otra vez al amplificador y tome nota de lo acontecido (comparando siempre con el circuito derivador original).
- Pruebe al diseño con señales cuadradas y triangulares de diferentes frecuencias (puede usar por ejemplo 100Hz, 300Hz, 1KHz, 3KHz, etc.), tomando nota de las formas de ondas y amplitudes.
- Enuncie sus conclusiones

Amplificador Integrador

- Calcule y arme un amplificador Integrador, utilizando la red beta ideal de dicho circuito.
- Compruebe si es estable o no el diseño.
- Verifique la tensión continua de salida. En función de lo medido, explique las razones de lo acontecido.
- Modifique y recalculé la red beta de manera corregir el problema visto en el punto anterior. Luego ensaye de nuevo al amplificador y tome nota de los resultados.
- Pruebe al diseño con señales cuadradas y triangulares de diferentes frecuencias y tome nota de las formas de ondas y amplitudes observadas.
- Enuncie sus conclusiones



TP de Laboratorio - 5ta Parte

Diseño del Amplificador de Potencia

Introducción

Hace varios años atrás aparecieron los amplificadores de audio integrados conocidos comúnmente bajo las siglas *STKxxx*. Hoy en día éstos amplificadores y otros similares están ampliamente difundidos en el mercado electrónico, y suelen aparecer en casi cualquier equipo comercial que requiera un poco de potencia de audio. Sin embargo, antes de que ello ocurriera, los amplificadores de potencia eran totalmente discretos.

Ahora, si nos ponemos a analizar ambos circuitos con algo de detalle encontraremos que son funcionalmente idénticos. Es más, las discrepancias entre estos dos tipos de amplificadores y un amplificador operacional también son mínimas.

Todo lo mencionado hace que sea realmente fácil construir un amplificador de audio discreto de potencia con muy buenas prestaciones y características, comparables inclusive a los que actualmente se encuentran en plaza. Solo necesitaremos ver que soluciones encontraron los fabricantes de Amplificadores Operacionales para poder implementarlas en nuestros diseños.

Objetivos

- Utilizar los conocimientos vistos en teoría acerca del diseño de amplificadores multietapa a lazo abierto.
- Comparar el funcionamiento del amplificador a lazo cerrado con lo esperado y visto en la fase de diseño y simulación.
- Abordar el problema de compensación de inestabilidades.
- Utilizar criterios prácticos de corrección de offset.
- Adquirir conocimientos (*Known How*) sobre el uso de transistores Mos-Fets de potencia en la etapa de salida.

Conocimientos mínimos necesarios

- Amplificadores multietapa y diferenciales.
- Teoría de circuitos realimentados.
- Teoría básica sobre amplificadores clase B y A-B de potencia con transistores bipolares y D'Arlington.

Elementos utilizados

- Circuito amplificador cuasi-operacional previamente diseñado
- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).



Desarrollo

Agregue la última etapa al amplificador previamente diseñado. El bloque de salida debe cumplir los siguientes requerimientos:

- ü La última etapa debe ser capaz de proveer toda la energía requerida por los parlantes, sin comprometer por sobre exigencias a los componentes más involucrados.
- ü Deberá tener presente que en ésta ocasión se emplearán transistores Mos-Fets en la salida.
- ü Evalúe si es necesario el uso de un preset para el ajuste de la corriente de los transistores de salida.
- ü Escoja un disipador para los transistores de potencia acorde a la potencia disipada por éstos y a las características de los encapsulados.
- ü La red beta debe permitir reducir la tensión de offset de salida sin afectar el comportamiento del amplificador a frecuencias medias.
- ü Compense al amplificador, de forma que no haya oscilaciones indeseadas.
- ü Adopte las características de su diseño, basado fundamentalmente en los costos involucrados. Para ello utilice como ejemplo los rangos de especificaciones mostradas en el siguiente listado, indicando los valores típicos y las tolerancias aceptadas.

Características Típicas	Valores Típicos	Valor adoptado + Tolerancia
Potencia de Salida	$10W \leq Pot \leq 200W$	
Carga	$4\Omega \leq RL \leq 8\Omega$	
Impedancia de entrada	$> 10K\Omega$	
Excursión de salida	$>V_{cc}-3V; V_{ee}+3V$	
Consumo sin señal	$<50mA$	
Sensibilidad (rango de tensiones de entrada)	$100mV < V_i < 5V$	
Ganancia a lazo abierto	$10^4 < A_v < 10^5$	

Simulación final

Cuando posea el circuito esquemático del amplificador es conveniente hacer una serie de simulaciones con software específico para tal fin.

Los ítems más importantes a corroborar son:

- ü Verificación de los niveles de continua de cada etapa, así como el correcto funcionamiento de éstas con señal.
- ü Corrección de la tensión de offset de salida.
- ü Ajuste de la corriente de polarización de la etapa de potencia.
- ü Verificación de la estabilidad del circuito y compensación en caso que sea necesaria.
- ü Corrección de la distorsión por cruce – ajuste de la corriente de polarización de salida.



Ensayo del prototipo

Si la simulación arrojó resultados satisfactorios, ahora sí es conveniente armar el circuito en una plaqueta para prototipos. En ésta fase hay que realizar los mismos pasos que en el punto anterior, solo que ésta vez se hace con el circuito real.

Algo muy importante a tener en cuenta es que aún **no deben conectar los parlantes**. Las pruebas de verificación se realizarán en vacío y luego con una carga fantasma.

Ensayo final

Tras realizar todas las verificaciones y ajustes sin la carga real, y solo sí los resultados son satisfactorios podrá entonces finalmente probar el amplificador con los parlantes.

Las mediciones a realizar son las de chequeo y verificación de todas las características del amplificador de potencia.



TP de Laboratorio - 6ta Parte

Optimización y Protección del Amplificador de Potencia

Introducción

Los amplificadores de potencia de alta calidad (*HQ*) están modificados circuitalmente para alcanzar ganancias elevadas en rangos de frecuencias mayores al de los amplificadores convencionales.

Para ello, las cargas activas y la clásica configuración *Cascode* son empleadas a menudo en éstos desarrollos. De ésta manera, la diferencia de retorno se mantiene alta en todo el rango de trabajo del amplificador, mejorando así la no distorsión y el rechazo al ruido (en las etapas intermedias) del amplificador.

En algunas ocasiones también se utiliza en la etapa de entrada J-Fets, ya que éstos poseen una respuesta algo más lineal que los transistores Bipolares, y debido ello la no distorsión y el brillo del sonido en teoría mejoran (ya que quizás la disminución de la ganancia global del amplificador por la baja transconductancia del Fet empeore la respuesta del amplificador).

Otro aspecto a tener en cuenta en los amplificadores de potencia es que todos ellos son propensos a fallas internas y externas, como sobrecargas o cortocircuitos accidentales. Debido a ello y a que usualmente la etapa de potencia suele ser la más encarecida y a la vez la más afectada por las fallas, es de suma importancia proveerle aunque sea una mínima protección.

Objetivos

- Diseñar un amplificador de alta calidad (baja distorsión).
- Determinar la relación entre la linealidad del amplificador, la diferencia de retorno y la distorsión armónica total (THD).
- Mejorar el THD utilizando un circuito *Cascode* dentro del amplificador de potencia
- Adquirir conocimientos (*Known How*) sobre el uso de transistores J-Fets en la etapa de entrada, así como variantes que utilicen *Cascode* y transistores MosFets en la salida.
- Diseñar las etapas de protección contra sobrecarga y cortocircuito.

Conocimientos mínimos necesarios

Para realizar ésta práctica el alumno debe poseer conocimientos mínimos de:

- Amplificadores multietapa y diferenciales.
- Teoría de circuitos realimentados.
- Teoría básica sobre amplificadores clase B o AB aplicada a transistores MosFets.
- Uso y características de los transistores Fets de juntura.
- Amplificadores cascode utilizados en circuitos multietapa.
- Circuitos de protección contra sobrecarga y corto circuito en amplificadores de audio.
- Teoría básica sobre la THD y la forma de medirla.
- Simuladores.



Elementos utilizados

- Circuito amplificador cuasi-operacional previamente diseñado
- Transistores de uso común (BC547, BC337, etc.)
- Set de resistencias de uso cotidiano.
- Transistores J-Fets monolíticos duales (U406 o similares) o simples como el 2N3819, transistores MosFets de potencia (IRF530 – IRF9530 o similares).
- Protoboard.
- Fuente de alimentación (según el diseño será partida o no), generador de funciones, multímetro y osciloscopio.
- Software de simulación (Pspice de Microsim o similar).

Desarrollo

Diseño del amplificador HQ

Diseño, tal como lo hizo en la práctica anterior, un segundo circuito amplificador que presente características excepcionales en cuanto a distorsión, pero que mantenga las características generales del circuito amplificador anterior (tensión de alimentación, potencia de salida, sensibilidad, etc.).

Para ello tenga en cuenta lo mencionado en las siguientes líneas:

Mejora de la THD mediante un Cascode

Tal como se mencionó antes en la introducción, el uso de un Cascode en la primera o segunda etapa puede ampliar el ancho de banda del amplificador a lazo abierto, mejorando el D de frecuencias medias y disminuyendo la THD.

Debido a ello deberá prever modificaciones al circuito de forma tal de que éste incluya un *Cascode* en el segundo diseño, y entonces repetir la medición de la THD para éste circuito.

Mejora del brillo del sonido mediante J-Fets en la entrada

Otras de las modificaciones a ensayar es el recambio de los transistores bipolares de entrada por J-Fets.

En éste caso vuelva a realizar las mediciones y concentre su atención en los armónicos producidos, así como el brillo del sonido de salida.

Uso de Transistores Mos-Fets en la salida

Como una alternativa a los D'Arlingtons en la salida se pide en éste caso en particular que utilice transistores MOS-FETs de alta corriente y potencia.

Se pide además que mencione en el informe las mejoras introducidas, así como las desventajas debidas al uso de éstos transistores.



Agregado de un circuito de Protección

El hecho de utilizar elementos de potencia en la salida hace siempre necesario incluir un circuito de protección, por lo tanto:

- Busque y diseñe un sistema óptimo que cumpla tal fin.
- La protección deberá incluir sobrecarga y corto circuito, así como una respuesta símil *FoldBack*.
- El ensayo del sistema de protección deberá hacerse en principio vía simulador, y luego con el circuito real, pero bajo condiciones bien controladas (sobrecarga o corto en la salida de corta duración, con niveles máximos controlados, etc.).

Determinación de la Distorsión Armónica Total

Una vez que el amplificador esté funcionando a pleno, deberá medir en éste la Distorsión que introduce en la señal.

Para ello deberá utilizar un medidor de THD (Distorsión Armónica Total) junto a un generador senoidal de bajo ruido y de buenas prestaciones (los generadores de funciones convencionales proveen una señal senoidal poco pura, de muy baja calidad para éste tipo de ensayo).

Al menos tendrá que hacer las mediciones para dos niveles de potencia de salida (por ejemplo 20% y 80%).

Comparación de los amplificadores

Dado que a ésta altura poseemos 2 amplificadores similares en prestaciones, pero con filosofías de diseño diferentes, realice los ensayos de medición de THD de modo que podamos establecer las diferencias en calidad que pueden existir entre ambos. Emita en el informe final las conclusiones sobre éste tema en particular.

Ing. Gabriel Esquivel
Ayte. de Electrónica Aplicada II
24 de abril de 2007