



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

CIRCUITOS DE PULSOS - 66.19

Trabajo práctico final

---

**Diseño e implementación de un circuito digital discreto  
Repetidor de controles remotos infrarrojos**

---

*Alumnos:*

LUNA Diego

[diegorluna@gmail.com](mailto:diegorluna@gmail.com)

Padrón N° 75451

*Docentes:*

Ing. FUCHS Jorge H.

Ing. HENTSCHEL Ricardo Gabriel

22 de julio de 2019



# Índice

<b>Índice</b>	<b>I</b>
<b>1. Objetivos</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo y requerimientos de usuario . . . . .	1
1.2. Especificaciones . . . . .	1
1.2.1. Acerca de la máxima potencia . . . . .	1
1.2.2. Acerca de la máxima excursión . . . . .	2
1.2.3. Acerca del slew-rate . . . . .	2
<b>2. Diseño conceptual</b>	<b>3</b>
2.1. Realimentación global . . . . .	3
<b>3. Diseño circuital</b>	<b>4</b>
<b>4. Observaciones y conclusiones</b>	<b>5</b>
4.1. Grado de avance . . . . .	5
4.2. Dificultades encontradas . . . . .	5
4.3. Resumen de actividades a desarrollar . . . . .	5
4.4. Puntos por actualizar . . . . .	6
<b>5. Bibliografía</b>	<b>7</b>
<b>Apéndices</b>	<b>9</b>
<b>A. Hojas de datos</b>	<b>9</b>
A.1. MPSA42/MMBTA42 . . . . .	9
A.2. MPSA92/MMBTA92 . . . . .	9
A.3. MJE340 . . . . .	9
A.4. MJE350 . . . . .	9
A.5. MMPQ6700 . . . . .	10
A.6. 2SC5200 . . . . .	10
A.7. 2SA1943 . . . . .	10
A.8. NE5532 . . . . .	10
A.9. Metal film resistor . . . . .	10
A.10. Carbon film resistor . . . . .	11
A.11. Ceramic capacitor . . . . .	11
A.12. Electrolytic Aluminum capacitor . . . . .	11

## Índice de figuras

## Índice de cuadros



# 1. Objetivos

## 1.1. Objetivo y requerimientos de usuario

Nuestro objetivo es armar un circuito amplificador que amplifique una señal de audio que será reproducida en un Baffle (asumimos respuesta resistiva pura en todo el ancho de banda). Debe proveer al usuario con una buena calidad de sonido (algo subjetivo, no obstante acá solo se consideran medidas reales) con volumen alto, sin consumir mucha más energía de la necesaria, ni ser muy grande y pesado. Es decir, debe tener baja distorsión (THD), alta relación señal-ruido (SNR), eficiencia razonable y buena potencia máxima de salida.

## 1.2. Especificaciones

- Máxima Potencia de Salida:  $\geq 60WRMS@8\Omega$
- Salida clase **G**
- THD:  $< 0,01\%@1kHz$ ,  $< 0,02\%@10kHz$ , a  $60WRMS@8\Omega$  y  $1WRMS@8\Omega$
- Slew-Rate:  $> 15 \frac{V}{\mu S}$
- Impedancia de entrada:  $> 30k\Omega$
- Sensibilidad:  $1,1V_{pico} @8\Omega$
- Ancho de banda:  $10Hz \rightarrow 30kHz$
- Factor de amortiguamiento:  $> 200$
- Ancho de banda de potencia:  $> 30kHz$
- Alimentación:
  - Baja tensión:  $\pm 15V$  nominal (desde transformador de  $12V + 12V$ ), ripple máximo 10%
  - Alta tensión:  $\pm 49V$  nominal (desde transformador de  $36V + 36V$ ), ripple máximo 10%
- Máxima excursión: 31V

### 1.2.1. Acerca de la máxima potencia

Nuestro diseño es efectivamente el de un amplificador de  $100W_{RMS}$ , sin embargo no lo caracterizamos para esa potencia, ya que la fuente de alimentación diseñada no nos permite alcanzar esa potencia, sin embargo, sin modificar el circuito, con una fuente de alimentación adecuada, posiblemente switching (mejorando mucho la eficiencia global), se puede alcanzar esta potencia, seguramente sea necesario también agrandar el disipador de los transistores de potencia, el principal motivo de limitar la potencia es económico, ya que el precio de la fuente de alimentación termina dominando el precio total del diseño.

**1.2.2. Acerca de la máxima excursión**

Para una salida senoidal de 60W *RMS*, su potencia pico es  $\frac{V_{max}^2}{R_L} = 120W$  que, con carga  $R_L = 8\Omega$  da una tensión pico de  $V_{max} \cong 31V$ . A esta tensión se llega cuando la entrada es la sensibilidad especificada, 1,1V<sub>pico</sub>@8Ω. Estos 31V serán la máxima excursión, la tensión máxima en la que el amplificador garantiza que no haya recortes bajo cualquier condición de alimentación, ya que al no ser regulada la fuente de alimentación, se consideró el peor caso, con la tensión de línea a 80% de su valor nominal, esto se detalla en la sección sobre la fuente de alimentación.

**1.2.3. Acerca del slew-rate**

El slew rate especificado  $\left(15 \frac{V}{\mu s}\right)$  mas que duplica el valor mínimo para cumplir las otras especificaciones: el mayor ritmo de crecimiento para señales de ancho de banda 30kHz y máxima excursión 31V se da cuando la senoide cruza por cero, y su pendiente es  $2\pi \times 30kHz \times 31V \cong 5,8 \frac{V}{\mu s}$ .



## 2. Diseño conceptual

En esta sección se explican conceptualmente las decisiones de diseño de nuestro amplificador, se citan antecedentes investigados y se justifican cualitativamente algunas de las elecciones circuitales que se hicieron. El diseño de un amplificador de tensión como un solo bloque que cumpla con las especificaciones, es una tarea de muy alta complejidad, pero se simplifica enormemente con el uso de técnicas de realimentación, comunes en la teoría de control, que se implementaron en este amplificador.

### 2.1. Realimentación global

### 3. Diseño circuital

## 4. Observaciones y conclusiones

### 4.1. Grado de avance

Hasta el momento, hemos elegido las configuraciones de las distintas etapas, realizamos los cálculos para hallar los valores de realimentación, resistencias para el embalamiento térmico y los disipadores para los transistores; realizamos simulaciones del circuito.

### 4.2. Dificultades encontradas

Para el desarrollo del proyecto, nos encontramos con varios obstáculos. En el primer diseño que realizamos, nos encontramos con una disparidad en las corrientes del par diferencial, que resolvimos comprando transistores de más, midiendo sus parámetros  $\beta$ , y agrupándolos para poder trabajar con valores apareados. Otra solución que encontramos, y que aplicaremos en esta versión del circuito, es utilizar transistores integrados, que asegura que todos los transistores tengan las mismas propiedades, y estén apareados. Esto también equilibraría más las amplificaciones en modo diferencial de los comparadores NPN y PNP.

La simulación de distorsión se hacía con pocos períodos en el LTSpice y, por cuestiones numéricas, eso parece resultar en valores de distorsión mucho menores a los que devuelve simulando con más períodos. Por otra parte, para valores de distorsión pequeños, se requiere un parámetro de paso máximo bastante reducido o el LTSpice sobreestima la distorsión. Se pasó mucho tiempo creyendo que el diseño resultaba en valores satisfactorios o insatisfactorios de distorsión hasta que se descubrió esto.

En un principio, la primera etapa estaba diseñada con cargas activas. Esto simulaba a veces correctamente, pero la polarización de todo el circuito resultaba poco estable e implicó el rediseño de la etapa con resistores.

### 4.3. Resumen de actividades a desarrollar

Habiendo establecido todo lo anterior, queda ver cómo mejorar el circuito para lograr mejores valores de distorsión. También, implementaremos protecciones que por el momento fueron dejadas afuera porque dificultan llegar a los grados de distorsión deseados. Luego procederemos con el armado del circuito, verificando el correcto funcionamiento de las etapas, durante el armado de la placa, y luego tendremos que revisar que esté andando correctamente, y que cumpla con los parámetros que propusimos. Finalizado esto, procederemos a realizar las mediciones pertinentes.

Una vez hechas las mediciones tenemos pensado agregarle a nuestro amplificador las siguientes mejoras:

- Carcaza protectora
- Integración compatible con los 3 PCB diseñados
- Plug de entrada para audio con carcaza metálica contra ruidos

#### 4.4. Puntos por actualizar

El esquema de disipadores independientes para transistores montados con cables se descartó hace bastante, por un esquema mas confiable de transistores montados en línea sobre el borde del PCB y compartiendo un único disipador, sin embargo por falta de tiempo no se actualizó el cálculo del mismo, de ser necesario se actualizará en una versión posterior de este informe. También pueden haber quedado algunas referencias a iteraciones anteriores del circuito, se intentó constatar la coherencia de todo el informe, pero dada la extensión del mismo y la falta de tiempo algunas cosas pueden haberse pasado por alto.

## 5. Bibliografía

### Referencias

- [1] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (3<sup>rd</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 3<sup>rd</sup> Edition (January 15, 1993)  
Copyright: © 1993, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0471574953  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(3<sup>rd</sup> Edition\)](#)
- [2] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (4<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Paul J. Hurst  
Author: Stephen H. Lewis  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 4<sup>th</sup> Edition (2001)  
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0471321680  
ISBN 13: 9780471321682  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(4<sup>th</sup> Edition\)](#)
- [3] *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits (5<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Paul R. Gray  
Author: Paul J. Hurst  
Author: Stephen H. Lewis  
Author: Robert G. Meyer  
Publisher: John Wiley & Sons, Inc.; 5<sup>th</sup> Edition (2009)  
Copyright: © 2001, John Wiley & Sons, Inc.  
ISBN 10: 0470245999  
ISBN 13: 9780470245996  
Website: [Analysis and Design of Analog Integrated Circuits \(5<sup>th</sup> Edition\)](#)

- 
- [4] *Circuitos microelectrónicos (4<sup>ta</sup> Edición) español*  
Author: Adel. S. Sedra  
Author: Kenneth C. Smith  
Publisher: Oxford, University press; 4<sup>ta</sup> Edición (2001)  
Copyright: © 1999, Oxford, University press México.  
Original Copyright: © 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.  
ISBN 10: 01951166310  
Website: [Circuitos microelectrónicos \(4<sup>ta</sup> Edición\) español](#)
- [5] *Microelectronic circuits (5<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Adel. S. Sedra  
Author: Kenneth C. Smith  
Publisher: Oxford, University press; 5<sup>th</sup> Edition (2004)  
Copyright: © 2004, 1998, 1991, 1987, 1982, Oxford, University press Inc.  
ISBN 10: 0195142527  
Website: [Microelectronic circuits \(5<sup>th</sup> Edition\)](#)
- [6] *AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK (5<sup>th</sup> Edition)*  
Author: Douglas Self  
Publisher: Elsevier Ltd; 5<sup>th</sup> Edition (2009)  
Copyright: © 2009, Douglas Self. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.  
ISBN 13: 9780240521626  
Website: [AUDIO POWER AMPLIFIER DESIGN HANDBOOK \(5<sup>th</sup> Edition\)](#)

# Apéndices

## A. Hojas de datos

### A.1. MPSA42/MMBTA42

***MPSA42****NPN Bipolar Small Signal Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MPSA42>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MPSA42-D.PDF>

### A.2. MPSA92/MMBTA92

***MPSA92****PNP Bipolar Small Signal Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MPSA92>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MPSA92-D.PDF>

### A.3. MJE340

***MJE340****Medium Power NPN Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE340>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE340-D.PDF>

### A.4. MJE350

***MJE350****Medium Power PNP Bipolar Power Transistor*Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MJE350>Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MJE350-D.PDF>

## A.5. MMPQ6700

### *TIP41*

*Quad Complementary Pair Transistor*

Manufacturer page: <https://www.onsemi.com/PowerSolutions/product.do?id=MMPQ6700>

Manufacturer Datasheet: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MMPQ6700-D.PDF>

## A.6. 2SC5200

### *2SC5200*

*Power transistor for high-speed switching applications*

Manufacturer page: [2SC5200](#)

Manufacturer Datasheet: [2SC5200](#)

## A.7. 2SA1943

### *2SA1943*

*Power transistor for high-speed switching applications*

Manufacturer page: [2SA1943](#)

Manufacturer Datasheet: [2SA1943](#)

## A.8. NE5532

### *NE5532*

*Dual Low-Noise High-Speed Audio Operational Amplifier*

Manufacturer page: [NE5532](#)

Manufacturer Datasheet: <http://www.ti.com/lit/gpn/NE5532>

## A.9. Metal film resistor

### *Metal film resistor*

*Metal film resistor*



Manufacturer page: <https://www.vishay.com/resistors-fixed/metal-film/tab/doclibrary/>

## A.10. Carbon film resistor

### *Carbon film resistor*

*Carbon film resistor*

Manufacturer page: <http://www.vishay.com/resistors-fixed/carbon-film/tab/doclibrary/>

## A.11. Ceramic capacitor

### *Ceramic capacitor*

*Ceramic disk capacitor*

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/ceramic/disc/>

## A.12. Electrolytic Aluminum capacitor

### *Electrolytic capacitor*

*Electrolytic aluminum capacitor*

Manufacturer page: <https://www.vishay.com/capacitors/aluminum/>