

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM ELETRÔNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

## P R O J E T O

*por*

HARLEN ARAÚJO DE SENA

*e*

HENRIQUE CIRILO COSTA

*orientado pelo*

PROF. DR. CÍCERO ALISSON DOS SANTOS

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA  
CURSO TÉCNICO SUBSEQUENTE EM ELETRÔNICA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

## PROJETO

*por*

HARLLEN ARAÚJO DE SENA

*e*

HENRIQUE CIRILO COSTA

*orientado pelo*

PROF. DR. CÍCERO ALISSON DOS SANTOS

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
ao IFPB.

JOÃO PESSOA - PB  
14 DE OUTUBRO DE 2025

# SUMÁRIO

<b>I</b>	<b>Preliminares</b>	<b>4</b>
I.1	Amplificadores Operacionais . . . . .	4
<b>II</b>	<b>Resumo do projeto</b>	<b>5</b>
II.1	Sobre o projeto . . . . .	5
II.2	Um tour pelos estágios . . . . .	6
II.2.1	A entrada desbalanceada . . . . .	6
II.2.2	A entrada balanceada . . . . .	6
II.2.3	O estágio de ganho . . . . .	6

# INTRODUÇÃO

## CAPÍTULO I

# PRELIMINARES

### I.1 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

## CAPÍTULO II

# RESUMO DO PROJETO

### II.1 SOBRE O PROJETO

A proposta do projeto é inovadora. Seu objetivo é criar um amplificador de áudio com baixa distorção<sup>1</sup> e de baixo custo, dispondo de uma tecnologia já bem consolidada na eletrônica, a saber, O amplificador operacional (AmpOp). Para este fim, usou-se vários NE5532. Cada um consiste dum AmpOp dual, precisamente, um *dual in-line package* (DIP) com dois amplificadores operacionais embutidos. O autor do projeto justifica a escolha deste CI devido à sua baixa distorção, à sua baixa impedância<sup>2</sup> de saída e à uma notável performance de ruído. A fim de suplantarmos o desafio técnico de alimentar um alto-falante de  $8\Omega$  com uma boa potência, faz-se o uso duma ponte (*bridge*). Conectam-se dois amplificadores em cascata (série), resultando num aumento de duas vezes a tensão e, consequentemente quadruplicando a potência do sinal, sobrepujando o limiar de potência dum único amplificador. Um outro fator preponderante é o limite da corrente de saída de cada AmpOp, estipulado para evitar sua sobrecarga interna. Segundo o próprio autor do projeto, o NE5532 consegue acionar uma carga de  $500\Omega$ <sup>3</sup> até o limiar da tensão de saída do AmpOp. Entretanto, é recomendável usar cargas mais “leves”, isto é, cargas com resistências maiores. O projeto foi dimensionado para alimentar um alto-falante de  $8\Omega$ , caso o de  $4\Omega$  seja requerido, serão necessários duas vezes mais AmpOps, para fornecer o dobro de corrente demandada pela carga de  $4\Omega$  e, o mesmo se aplica ao modo de operação *bridged*<sup>4</sup>. O sistema foi desenvolvido de maneira modular, para abarcar os modos *single-ended*<sup>5</sup> e *bridged*. Ademais, devido à sua modularidade é possível construir um amplificador estéreo<sup>6</sup> com apenas com três PCIs. É sabido que inerentemente os AmpOps possuem proteção contra sobrecarga. Não obstante, relés de saída são usados para evitar o *on-off muting* causador dos efeitos indesejados ao se ligar um sistema de áudio, e.g. os estalos (*pops*), e para evitar falhas DC, i.e., evitar que o sistema forneça DC ao alto-falante evitando assim, sua sobrecarga e consequentemente sua degeneração.

---

<sup>1</sup>Embora intuitivo é necessário precisar tecnicamente o que é distorção em áudio.

<sup>2</sup>Outro conceito a ser precisado.

<sup>3</sup>Creio que este parâmetro é dependente do fabricante.

<sup>4</sup>Neste modo, a carga, a saber, o alto-falante, receberá duas tensões invertidas em fase, isto por sua vez resultará na duplicação da tensão de saída e *a fortiori* na quadruplicação da potência.

<sup>5</sup>A carga será conectada ao GND e a tensão de saída.

<sup>6</sup>Precipualemente, a configuração estéreo é constituída de dois canais um esquerdo (**L**eft) e um direito (**R**ight).

## II.2 UM TOUR PELOS ESTÁGIOS

### II.2.1 A ENTRADA DESBALANCEADA

Este estágio consiste de um filtro RF, neste caso um filtro passa-baixas, pois a tensão de saída é

$$(II.1) \quad \left| \frac{R_2 \| C_1}{R_1 + R_2 \| C_1} \right| \cdot V_{in}$$

em que  $V_{in}$  é a tensão de entrada. Esta entrada é chamada de desbalanceada, pois está mais suscetível à interferência eletromagnética *radio frequency* (RF), por exemplo proveniente do uso cabos longos. Ela pode ser conectada diretamente ao estágio de ganho—tratado na próxima subseção—através de um jumper em JP1.

### II.2.2 A ENTRADA BALANCEADA

Aqui está a novidade, o design é constituído de vários AmpOps. Em comparação, um estágio convencional construído com quatro resistores de  $10\text{ k}\Omega$  e um único AmpOp 5532 tem um ruído ainda maior que uma entrada desbalanceada simples, além disso, o ruído é ainda pior que a maioria dos amplificadores de potência. O amplificador em questão soluciona este problema parcialmente, usando um amplificador estágio balanceado duplo (*dual balanced stage amplifier*) compreendendo aos AmpOps IC5A e IC5B, que cancela parcialmente ruído não correlacionado—ruído aleatório sem relação à defasagem dos dois—, dando uma redução de ruído de 3 dB, melhorando assim o CMRR<sup>7</sup>. Ele também usa resistores de valores muito menores, a saber,  $8\ \Omega$  se comparado com os usados ordinariamente, *viz.*  $10\text{ k}\Omega$ , engendrando assim um ruído Jonhson<sup>8</sup> (*Johnson noise*) menor. Isso só é possível porque o amplificador é controlado pelos buffers, que permitem que a impedância de entrada serem mais altas que o usual, evitando a sobrecarga aos equipamentos externos, melhorando ainda mais o CMRR. O ruído de saída é de menos de  $-112\text{ dBu}$ , uma melhora de 8 dB sobre a tecnologia convencional.

### II.2.3 O ESTÁGIO DE GANHO

---

<sup>7</sup>Definir este conceito!

<sup>8</sup>O ruído Jonhson, é um ruído inerente aos condutores elétricos em equilíbrio térmico, associado a agitação térmica dos elétrons e indiferente à diferença de potencial no condutor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**: Volume 1. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: McGraw-Hill Education, 1987.