

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

JOÃO PESSOA - PB
15 DE OUTUBRO DE 2025

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
15 DE OUTUBRO DE 2025

SUMÁRIO

I	Preliminares	4
I.1	Amplificadores Operacionais	4
II	Resumo do projeto	5
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 no sentido que ela propõe criar um amplificador de áudio com baixa distorção¹ e de baixo custo, usando uma combinação de vários CIs NE5532. Cada um consiste dum amplificador operacional (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 impedância² de saída e à uma notável performance de ruído.

A fim de suplantar o desafio técnico de alimentar um alto-falante de 8Ω com uma potência aceitável, 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, que por sua vez é estipulado para evitar sua sobrecarga. Segundo o próprio autor do projeto, o NE5532 consegue acionar uma carga de 500Ω ³ 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 8Ω , caso o de 4Ω seja requerido, serão necessários duas vezes mais AmpOps, para fornecer o dobro de corrente demandada pela carga de 4Ω e, o mesmo se aplica ao modo de operação *Bridged*⁴.

O sistema foi desenvolvido de maneira modular, para abarcar os modos *Single-Ended*⁵ e *Bridged*. Ademais, devido à sua modularidade é possível construir um amplificador estéreo⁶ com apenas 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 um sinal DC intermitente ao alto-falante, precavendo

¹Embora intuitivo é necessário precisar tecnicamente o que é distorção em áudio.

²Outro conceito a ser precisado.

³Creio que este parâmetro é dependente do fabricante.

⁴Neste 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.

⁵A carga será conectada ao GND e a tensão de saída.

⁶Precipualemente, a configuração estéreo é constituída de dois canais um esquerdo (*Left*) e um direito (*Right*).

assim, a degeneração da bobina por aquecimento⁷ e do cone por deformação contínua.

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

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

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 nas próximas subseções—através de um jumper em JP1.

II.2.2 A ENTRADA BALANCEADA

Um estágio convencional é construído com quatro resistores de 10 k Ω e um único AmpOp 5532, ele tem uma performance de ruído pior que uma entrada desbalanceada simples. Além disso, o ruído é ainda pior que a maioria dos amplificadores de potência. O amplificador balanceado soluciona este problema parcialmente. Trata-se dum estágio amplificador balanceado duplo (*Dual Balanced Stage Amplifier*) compreendendo aos AmpOps IC5A e IC5B, que cancela parcialmente ruído não correlacionado—ruído aleatório sem relação aos dois AmpOps—dando uma redução de ruído de 3 dB, melhorando assim o CMRR⁸. Ele também usa resistores de valores muito menores, a saber, 802 Ω se comparado com os usados ordinariamente, *viz.* 10 k Ω , engendrando assim num ruído Jonhson⁹ (*Johnson Noise*) menor. Isso só é possível porque o amplificador é controlado pelos buffers, que permitem que a impedância de entrada sejam mais altas que o usual, evitando a sobrecarga dos equipamentos externos, melhorando ainda mais o CMRR. O ruído de saída é de menos de −112 dBu, uma melhora de 8 dB relativo à tecnologia convencional.

II.2.3 O ESTÁGIO DE GANHO

⁷Efeito Joule.

⁸Definir este conceito!

⁹É sabido que um resistor antigo apenas estando sobre uma mesa, gera uma tensão de ruído através de seus terminais conhecido como ruído Johnson. Ele tem um *spectrum* de frequência achatado dentro de uma banda de frequências. Ruídos com *spectra* achatados são comumente classificados como ruído branco (*White Noise*). O ruído Jonhson (Nyquist), é um ruído randômico inerente aos condutores elétricos em equilíbrio térmico, associado à agitação térmica dos portadores majoritários de carga (usualmente os elétrons) e indiferente à diferença de potencial no condutor. A tensão de ruído de circuito aberto gerado por uma resistência R em Ω à temperatura T em Kelvin [$T(t)$ K = $(t + 273)$ °C] é na realidade dada pela expressão:

$$v_J(\text{rms}) = \sqrt{4kBR T} \quad V(\text{rms})$$

Em que k é a constante de Boltzmann, B é o comprimento da banda em Hz.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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