

Projeto de um Amplificador de Potência Classe A para Instrumentos Musicais

Victor Matheus Lima* e Lucas Compassi-Severo†

Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Grupo de Arquitetura de Computadores e Microeletrônica (GAMA)
Alegrete, Brasil

E-mail: {victorlima.aluno;lucassevero}@unipampa.edu.br

Abstract—Instrumentos musicais elétricos ou eletrônicos em sua maioria não são projetados para entregar altos níveis sonoros, logo amplificadores de áudio são parte desses instrumentos, o presente artigo propõe uma topologia de amplificador de potência classe A simplificado com a potência de 10W.

Index Terms—Amplificador de áudio, Classe A, amplificador de potência, pré-amplificador

I. INTRODUÇÃO

Amplificadores de áudio são equipamentos que usam fontes de corrente contínua para amplificar sinais senoidais de baixa amplitude em sua essência. Os amplificadores para instrumentos musicais se confundem com a criação de instrumentos elétricos e compõem sua extensão sonora e resposta em frequência.

Para o projeto de amplificadores de áudio, em específico para instrumentos musicais, uma série de fatores deve ser levada em conta, o tipo de instrumento, a faixa de frequência em que este instrumento trabalha, impedância de saída e o nível de tensão gerada pelo instrumento.

A impedância dos auto-falantes de potência comerciais gira em torno de 4Ω a 16Ω , o que dá parâmetros de carga para a saída do amplificador. O projeto foi desenvolvido no software *LTS spice*, para realizar as simulações elétricas e plotar os gráficos.

II. PROJETO DO AMPLIFICADOR

A literatura convencional apresenta variados tipos de topologias para amplificadores transistorizados. Amplificadores de potência como Classe B ou Classe AB possuem como principal vantagem a baixa dissipação de energia estática e a eficiência geral de conversão de energia é alta, em contra partida a dissimilaridade intrínseca da resposta do par push-pull dos transistores complementares possuem uma distorção de cruzamento em sua saída, devido às características I_c/V_b [1].

Para mitigar tais problemas de distorção, simplificar o projeto aliada a uma simples construção, a implementação de amplificador de potência classe A é desejada, isso evita os problemas de assimetria em circuitos quase complementares, fuga térmica em sobrecarga transitória, distorção cruzada e variações dependentes do sinal na demanda de corrente da fonte de alimentação.

A figura 1 representa o diagrama de blocos do amplificador desenvolvido com base nos requisitos desejados por tais dispositivos.

O primeiro estágio do circuito possui como atributo principal uma entrada de alta impedância para que o sinal não seja atenuado em nenhuma frequência que venha possuir um menor nível de tensão, este estágio funciona como um buffer e controle de volume. No segundo estágio, o amplificador de potência é responsável por dar um alto ganho em decibéis no sinal de entrada, com baixa distorção harmônica, à uma carga de baixa impedância na saída, no caso o alto-falante, que é a saída do circuito.

Tendo esses valores como referência pode ser então projetado o amplificador uma vez que as especificações de impedância de entrada, resposta em frequência, potência e impedância de saída estejam determinadas.

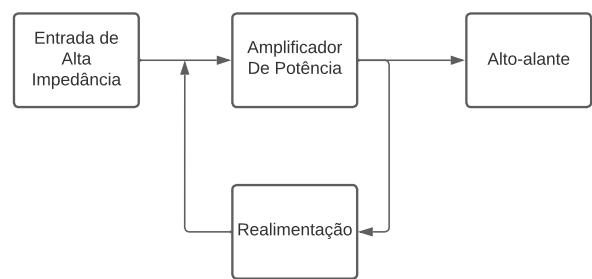


Fig. 1. Diagrama de Blocos Amplificador.
Fonte: Autor.

III. PRÉ-AMPLIFICADOR

O estágio de entrada do amplificador é baseado em um transistor JFET **BF245C**, as curvas características do transistor foram obtidas através do analisador de semicondutores B1500A. Através deste, foram feitos testes para plotar as curvas características de corrente de dreno (I_D) e tensão de dreno (V_D).

A corrente de dreno (I_D) em função da tensão de dreno (V_D) é representada pela figura 2, onde as curvas para diferentes tensões de gate/source (V_{GS}) são ilustradas a partir de $V_G = 0$ V até $V_{GS} = -6$ V, ordenadas de cima para baixo. Está destacado na figura a curva para a tensão $V_{GS} = -3V$,

ponto de operação a qual foi tomado como base o projeto do pré-amplificador.

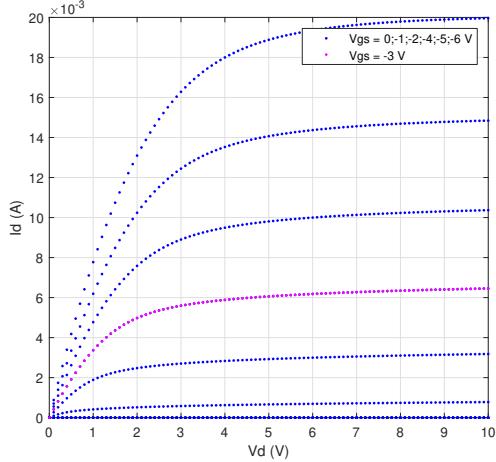


Fig. 2. Curva $ID \times VD$.

Fonte: Autor

O transistor *BF245C* JFET por possuir alta impedância de entrada como característica foi escolhido para o pré-amplificador, os dados do transistor são $I_{DSS} = 20.28mA$, $V_p = -5.7V$ conforme os dados extraídos no analisador de semicondutores em análise paramétrica conforme a figura 3.

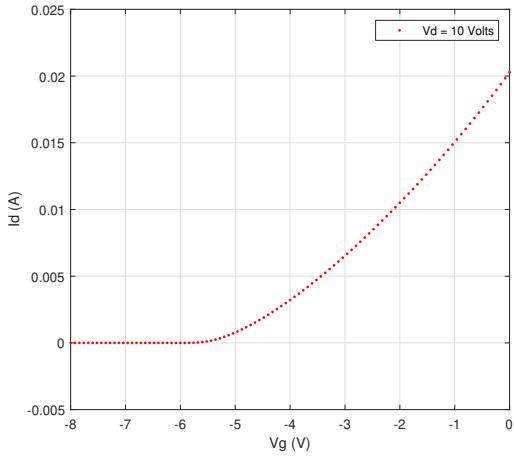


Fig. 3. Curva $ID \times VG$

Fonte: Autor

A topologia escolhida para configurar o pré-amplificador foi a auto-polarização sem capacitor de desvio, conforme a figura 4. A fonte de alimentação do circuito foi definida em $V_{DD} = 20V$, para obter máximo *Headroom* de resposta, juntamente com dados obtidos, os parâmetros e o ponto de operação para o transistor como suas características de impedância de entrada, de saída, ganho e resposta em frequência são:

- $Z_i = R_G = 1M\Omega$;

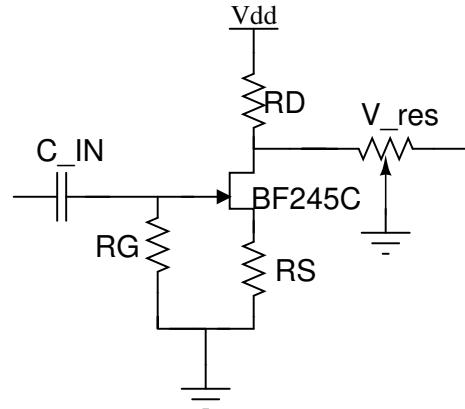


Fig. 4. Préd-amplificador
: Autor

- $Z_o = R_D = 6k\Omega$;
- $AV = \frac{(gm \times R_d)}{(1+gm \times R_s)} = 1.99 \frac{V}{V}$
- $f_l = \frac{1}{2 \times \pi \times Z_{in} \times C_{IN}} = 7.23Hz$

O capacitor de saída do pré-amplificador e o capacitor de acoplamento do estágio subsequente devem possuir qualquer valor na ordem de *micro Farads* para não interferir na resposta em frequência do amplificador de potência, pois por ser realimentado fica suscetível a tornar-se um oscilador.

A figura 5 apresenta a tensão de entrada e saída do pré-amplificador.

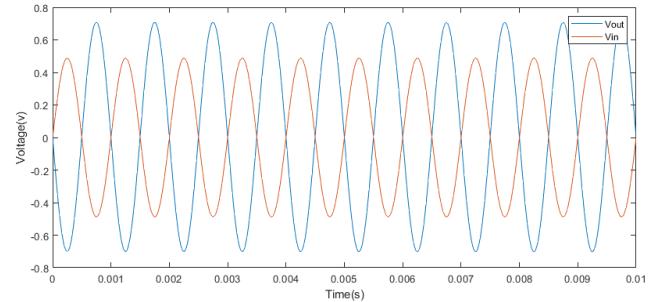


Fig. 5. Tensão de entrada e saída do préd-amplificador.

Fonte: Autor

Para o presente projeto, somente a resposta em baixa frequência é de interesse, pois como se trata de um amplificador de áudio a frequência máxima é $20kHz$. A resposta em frequência para o estágio do pré-amplificador está representada na figura 6, para um capacitor de desacoplamento de $1\mu F$.

IV. AMPLIFICADOR DE POTÊNCIA

A implementação clássica de um amplificador classe A baseia-se em um único transistor com uma carga de coletor adequada a polarização e a impedância de saída, porém o problema deste tipo de aplicação é que a eficiência média

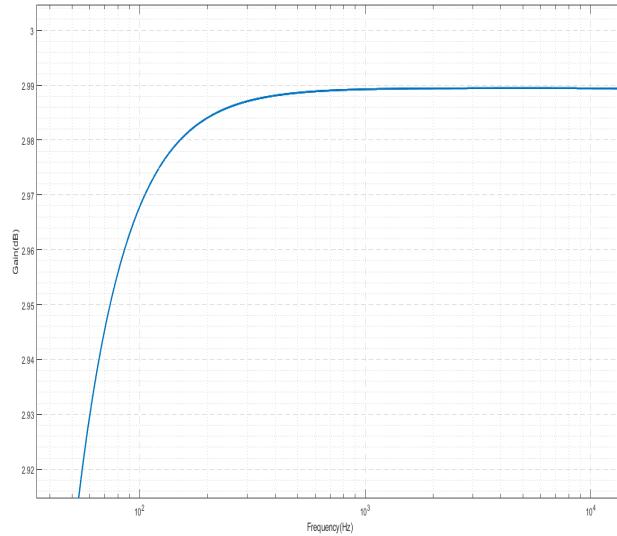


Fig. 6. Ganho pela Frequência.

gira em torno de 12% [1]. O uso de um transformador para o acoplamento de cargas daria uma maior eficiência ao circuito, mas elevaria o custo de projeto, além de aumentar a complexidade de projeto.

Uma maneira de elaborar um amplificador de potência classe A, onde se possa mitigar os problemas das topologias anteriores é usar um transistor como carga de coletor e outro como carga de emissor, a figura 7 [2] mostra o diagrama onde foi desenvolvido o núcleo do amplificador de potência, onde são usados três transistores NPN diretamente polarizados.

Isso permite que o sinal na base de Q2 e Q3 estejam em fase oposta.

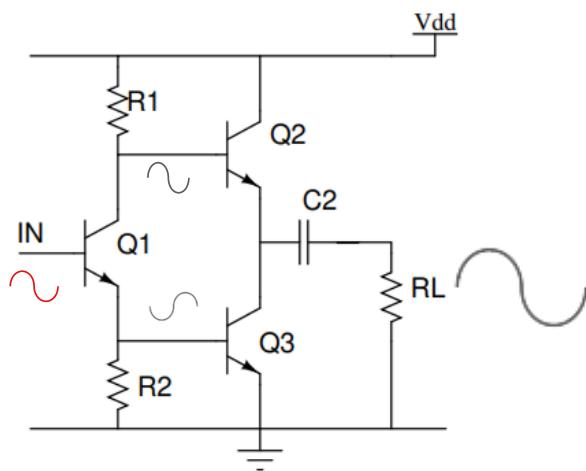


Fig. 7. Arranjo para acionamento push-pull do estágio classe A

Esse método atende aos requisitos de amplificadores de baixa distorção, a tendência da não linearidade de I_c/V_b , pois

quando um transistor está na região de corte o outro está totalmente ligado. Existe um feedback interno entre Q1, Q2 e Q3, que se deve ao fato da impedância da base de Q3 tem na corrente de Q1. O transistor Q1 deve ter máxima excursão na tensão de saída, este transistor opera em condições que favorecem baixa distorção harmônica, entre as quais destaca-se baixa impedância de saída e alta impedância de entrada.

A implementação prática do amplificador de potência está representada na figura 8, onde há a presença do transistor bipolar PNP Q4 que está realimentando o circuito.

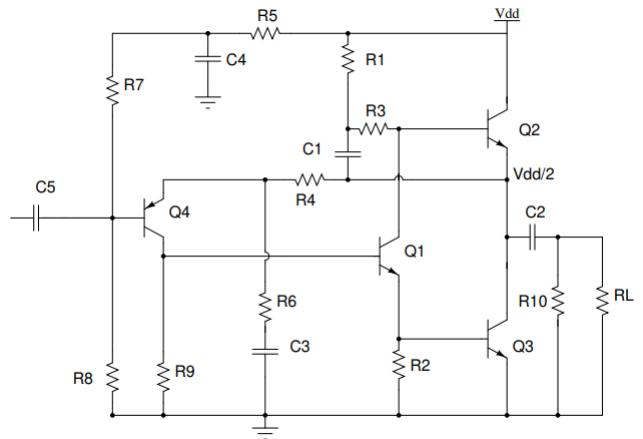


Fig. 8. Amplificador de Potência

Os efeitos desejados da realimentação em um amplificador são, aumento da largura de banda e o ganho mais estável, em contra partida o circuito pode oscilar se não for bem projetado. O ganho em malha fechada é determinado em frequências suficientemente altas para que a impedância de C3 seja pequena em relação a R6, pela razão $\frac{(R6+R4)}{R6}$.

Isso fornece um fator de feedback de cerca de 12dB e uma impedância de saída de cerca de $160m\Omega$.

A tensão de saída é mantida no mesmo potencial da base de Q4, mas o valor da tensão VBE desse mesmo transistor, como o transistor de saída Q3 fornecerá a corrente necessária para a tensão de saída para este valor, o resistor R3, que junto com R1 controla a corrente de coletor de Q2 e pode ser usado para definir a corrente quiescente dos estágios de saída do amplificador. O ponto onde o alto-falante é acoplado deve possuir a metade da tensão de alimentação, variar o valor do resistor R7 até chegar nesse valor pode ser necessário. O resistor R10 deve possuir qualquer valor entre $10k\Omega$ á $10k\Omega$, e serve para dissipar a energia do capacitor C2 quando desacoplado o auto-falante.

O diagrama de Bode do amplificador de potência, representado na figura 9, foi plotado para frequências de 30Hz a 20kHz, onde mostra o ganho em decibéis relacionado com a frequência, pode se observar que o ganho é basicamente linear em toda a faixa audível.

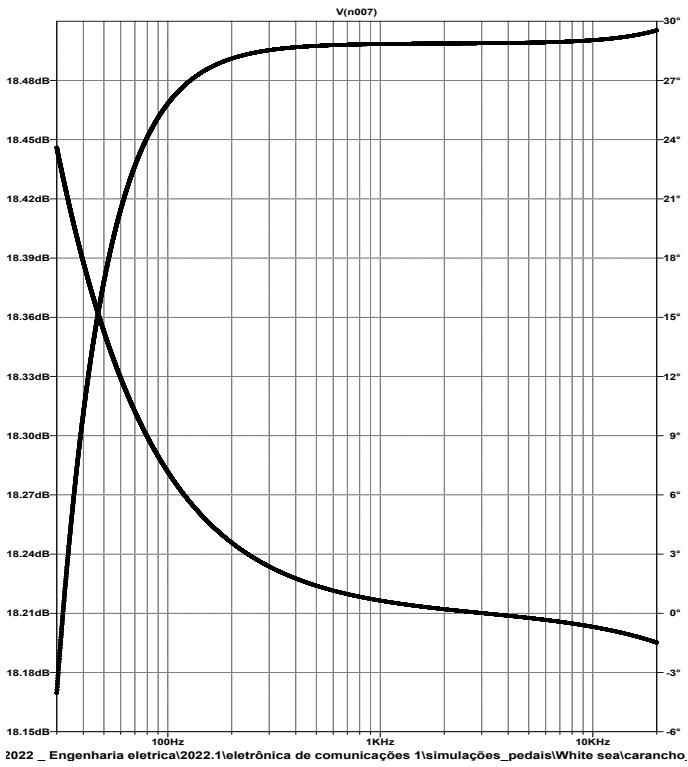


Fig. 9. Diagrama de Bode amplificador de potência.

V. RESULTADOS

O circuito foi desenvolvido via software *LTSpice*, após as simulações elétricas das figuras 5, 6 e 9 os componentes foram montados em *protoboard*, onde foi conectado o estágio do pré-amplificador ao estágio de potência e foram colhidos os dados em laboratório.

A figura 10 foi obtida através do osciloscópio, o gerador de sinais foi configurado, como pode se observar no gráfico, onde mostra a tensão de entrada (verde), para um sinal de 1kHz e tensão 500mV_{PP} de entrada, o sinal de saída em amarelo, está mostrando um ganho médio do amplificador em 3.37[V/V], o que corrobora com os valores calculados.

A potência entregue ao auto-falante de 4Ω, usado no amplificador está representada na figura 11 em uma simulação de 10ms.

VI. CONCLUSÃO

A tabela I apresenta os transistores usados para a implementação do amplificador onde estão relacionados os seus parâmetros de interesse no desenvolvimento do projeto como, corrente e potência dissipada [3], [4].

O amplificador foi projetado para uma fonte de alimentação de 20V, porém pode ser usadas tensões de alimentação maiores, para se obter maior potência de saída se os transistores que compõem o amplificador permitirem maiores tensões.

Um ponto crítico na construção do amplificador são os dissipadores de calor dos transistores de potência, o calor

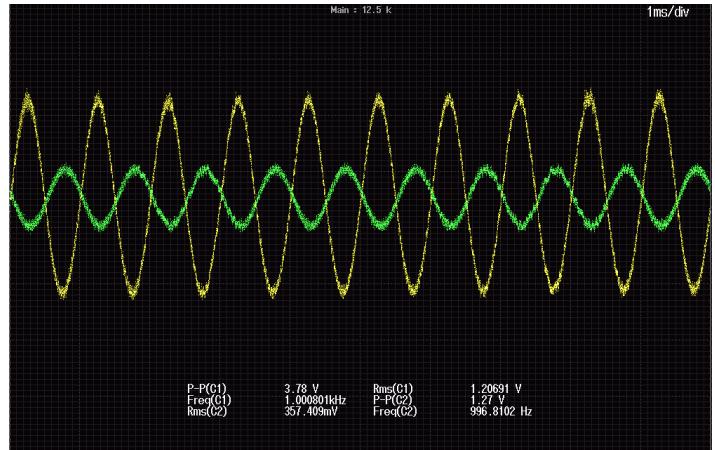


Fig. 10. Tensão de entrada e saída do amplificador

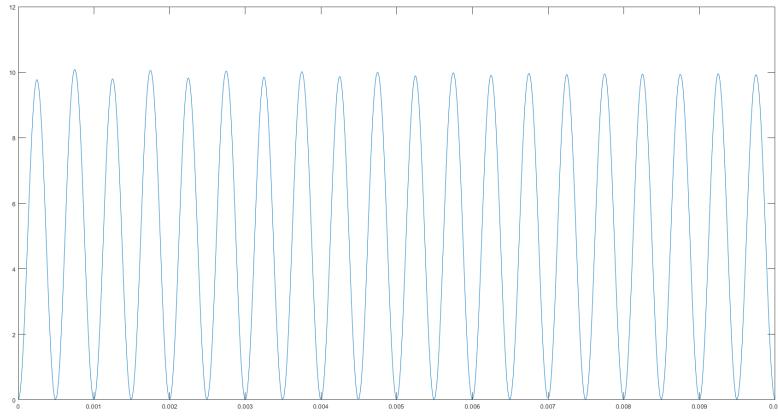


Fig. 11. Potência dissipada pelo auto-falante de 4Ω.
Fonte: Autor

TABLE I
RELAÇÃO DOS TRANSISTORES USADOS NO PROJETO.

Transistor	Tipo	I_{DSS}/I_C	Potência
BF245C	JFET	20,28mA	350mW
2n2905A	PNP	-600mA	600mW
BC337-40	NPN	800mA	625mW
TIP41C	NPN	6A	65W

Fonte: Autor

gerado pelo amplificador pode danificar componentes como capacitores e transistores, cada transistor de potência dissipá aproximadamente 10W em condições normais, então para a proteção térmica do circuito é requerido ventilação e dissipadores de calor de 2°C/W.

REFERENCES

- [1] R. L. Boylestad and L. Nashelsky, *Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos*. Prentice-Hall do Brasil, 1984, vol. 6.
- [2] J. L. L. Hood, "Simple class a amplifier," *Wireless World*, apr 1969.
- [3] BC546, BBC547, A, B, CBC548, A, B, C Amplifier Transistor, On Semiconductors, 3 2007.
- [4] TIP41A / TIP41B / TIP41C NPN Epitaxial Silicon Transistor, ONSEMI SEMICONDUCTOR, November 2017, rev. 2.