

## **Projeto de um amplificador de potência de saída de áudio**

PROFESSOR(A): Kétia Soares Moreira

ALUNOS:	Celso Oliveira Barcelos	MATRÍCULAS:	93736
	Hiago de Oliveira Braga Batista		96704
	Wérikson Frederiko de Oliveira Alves		96708
	Mateus Fonseca de Souza		93537

Relatório Final referente ao primeiro período de 2021, apresentado à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências da disciplina de Laboratório de Eletrônica 2 (ELTP-311).

# Índice

<b>1</b>	<b>Resumo</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introdução</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Objetivos e Metas</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>Principio de funcionamento</b>	<b>3</b>
4.1	Pré - Amplificador e Equalizador . . . . .	3
4.2	Amplificador de potência . . . . .	3
<b>5</b>	<b>Projeto</b>	<b>4</b>
5.1	Pré - Amplificador e Equalizador . . . . .	4
5.2	Amplificador de potência . . . . .	4
5.3	Formulário . . . . .	5
5.4	Eficiência . . . . .	5
5.5	Simulação . . . . .	5
<b>6</b>	<b>Resultados</b>	<b>6</b>
<b>7</b>	<b>Conclusão</b>	<b>8</b>
<b>8</b>	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>8</b>
	<b>Referências</b>	<b>8</b>

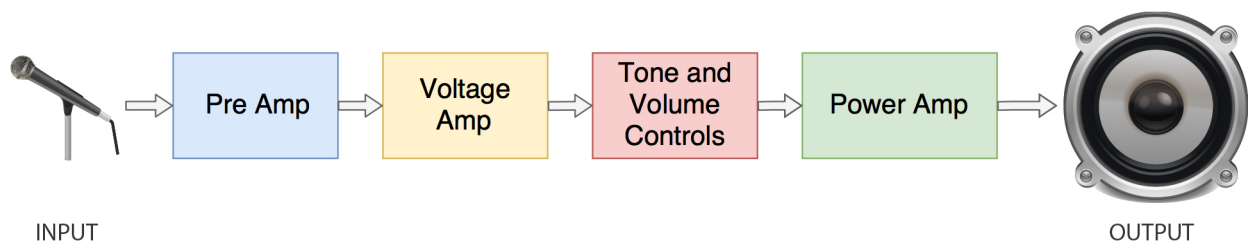
## 1 Resumo

Este documento concentra-se em desenvolver e analisar o projeto de um amplificador de áudio. Para tanto, as análises serão aplicadas de forma individual a fim de analisar as etapas de ganho de tensão e de ganho de corrente de forma separada. Os cálculos teóricos serão levantados para comparação com resultados experimentais e assim validar os resultados obtidos. Por fim será calculado a eficiência da relação entre as potências de entrada e saída do amplificador para comprovação prática efetiva do projeto realizado.

## 2 Introdução

Um amplificador de potência é um amplificador eletrônico projetado para aumentar a magnitude da potência de um determinado sinal de entrada. A potência do sinal de entrada é aumentada para um nível alto o suficiente para conduzir cargas de dispositivos de saída como alto-falantes, fones de ouvido, transmissores RF etc. Ao contrário dos amplificadores de tensão/corrente, um amplificador de potência foi projetado para conduzir cargas diretamente e é usado como um bloco final em uma cadeia de amplificador.

O sinal de entrada para um amplificador de potência precisa estar acima de um certo limiar. Assim, em vez de passar diretamente o sinal de áudio/RF bruto para o amplificador de potência, ele é primeiro pré-amplificado usando amplificadores de corrente/tensão e é enviado como entrada para o amplificador de energia após fazer modificações necessárias. Você pode observar o diagrama de bloco de um amplificador de áudio e o uso do amplificador de energia abaixo.



**Figura 1** – Estágios de amplificação

Para este trabalho será estudado o amplificador de potência de áudio. Este tipo de amplificador é usado para aumentar a magnitude da potência de um sinal de áudio mais fraco. Os amplificadores usados em circuitos de condução de alto-falantes de televisores, celulares são desta categoria.

A saída de um amplificador de potência de áudio varia de alguns miliwatts (como em amplificadores de fones de ouvido) a milhares de watts (como amplificadores de energia em sistemas de teatro Hi-Fi/Home).

## 3 Objetivos e Metas

Os objetivos deste trabalho são: Projetar um amplificador de potência de classe A/B para uma

saída de áudio que seja estável e eficiente, projetar a placa de circuito impresso (PCI), e apresentar o orçamento necessário para recriar o projeto na prática.

## 4 Princípio de funcionamento

Para uma melhor abordagem didática, optou-se por dividir o projeto em duas etapas. Inicialmente será apresentado o desenvolvimento do estágio de pré-amplificação e posteriormente será abordado o estágio de ganho de corrente que tem como foco proporcionar um ganho expressivo de corrente e assim fornecer uma maior potência ao alto-falante conectado à saída do circuito. A Figura 4 ilustra o circuito de referência deste documento.

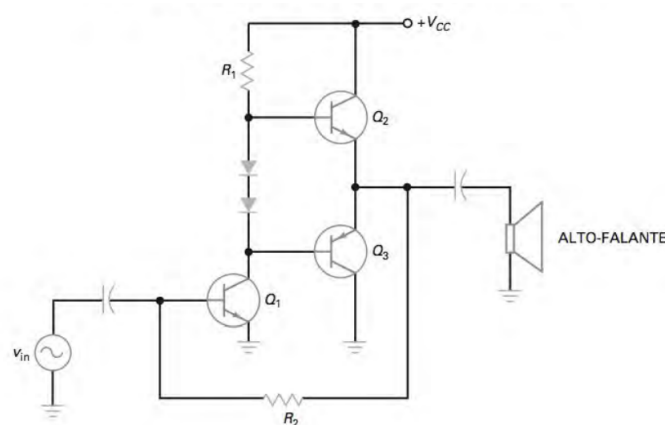


Figura 2 – Circuito base utilizado

### 4.1 Pré - Amplificador e Equalizador

Antes de tudo, é desejado que o amplificador forneça um ganho de tensão no sinal do dispositivo que é conectado aos terminais de entrada. Para tanto, realizou-se um projeto de um circuito amplificador de emissor comum. Segue a seguir é apresentado o circuito utilizado para o amplificador de potência trabalhado.

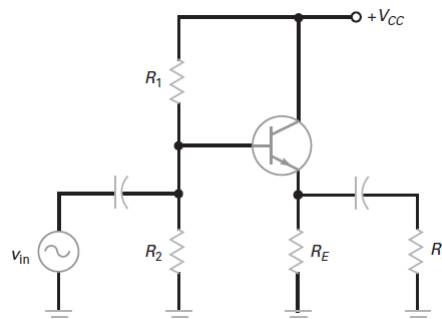
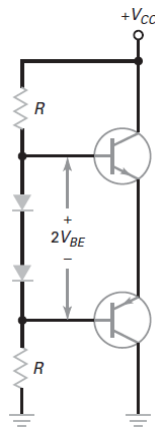


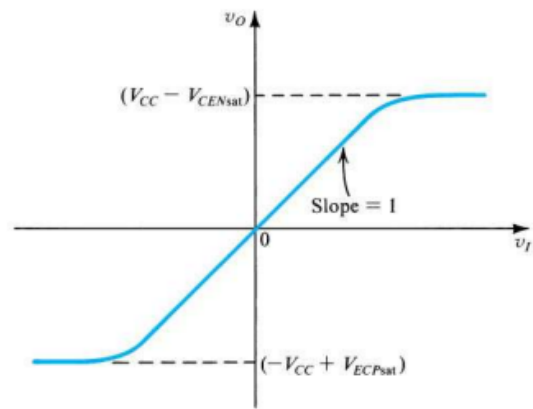
Figura 3 – Circuito base utilizado

### 4.2 Amplificador de potência

A seguir é apresentado o circuito utilizado para o amplificador de potência trabalhado.



**Figura 4** – Circuito base utilizado



**Figura 5** – Eliminação do Cross Over.

O amplificador da classe AB possui funcionamento semelhante ao de classe B, no qual quando o sinal de tensão estiver no semiciclo positivo o transistor Q2 conduz e o Q3 está em corte. Quando o sinal de tensão vai para o semiciclo negativo Q2 está em corte e Q3 conduz. Em ambos os casos, do circuito da figura 4, o circuito está funcionando como um seguidor de emissor. Portanto o circuito opera com Q2 fornecendo corrente à carga e Q1 recebendo corrente da carga, e para isto os transistores devem ser complementares.

Os amplificadores de potência da classe AB sendo a evolução da classe B no sentido de que o efeito do *cross over* não acontece mais, Figura 5. Para isto, é realizada a polarização dos transistores, por meio de dois diodos, garantindo que a tensão de polarização é suficiente para manter sempre um transistor na zona de atuação.

## 5 Projeto

### 5.1 Pré - Amplificador e Equalizador

O Pré Amplificador é o estágio do amplificador de áudio que é responsável por dar um *gain* na tensão de entrada, para que na saída deste estágio este sinal possa ser corretamente amplificado no estágio de potência.

O Equalizador, é o estágio responsável por eliminar o ruído que possa aparecer em nosso sinal de entrada. Neste caso, o equalizador será utilizado para criar o filtro passa faixa, onde a frequência de corte inferior  $f_1 = 54 \text{ Hz}$  e  $f_2 = 16 \text{ kHz}$ .

### 5.2 Amplificador de potência

Sem o efeito de *cross over* a potência entregue à carga é dada pela Equação 1. Como o circuito é alimentado por uma única fonte  $V_{CC}$ , a potência fornecida ao circuito é dada pela Equação 3 e seu valor máximo é alcançado quando  $V_p = V_{CC}$ . A eficiência do amplificador pode ser obtida a partir da Equação 5.

Com as potências definidas pode-se calcular a potência dissipada no circuito,  $P_D$ , Equação 6. Analisando o circuito, observa-se que cada transistor, Q2 e Q3, dissipa metade da potencia. Logo

para a execução do projeto, é necessário calcular a máxima potência para a operação deles ocorrendo quando  $V_p$  atinge certo valor, dada Equação 8.

### 5.3 Formulário

$$P_o = \frac{V_p^2}{2R_L} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{P_{o_rms}}{P_s} = \frac{\pi V_p}{4V_{CC}} \quad (5)$$

$$I_p = \frac{V_p}{R_L} \quad (2)$$

$$P_D = P_s - P_o = \frac{2V_p V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{V_p^2}{2R_L} \quad (6)$$

$$P_s = V_{CC} I_{Media} = \frac{2V_p V_{CC}}{\pi R_L} \quad (3)$$

$$V_p = \frac{2V_{CC}}{\pi} \quad (7)$$

$$P_{S_{max}} = \frac{2V_{CC}^2}{\pi R_L} \quad (4)$$

$$V_p = \frac{2V_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \quad (8)$$

### 5.4 Eficiência

A eficiência de um amplificador mede a relação entre a de potência CA entregue a partir da fonte de polarização CC. Ela é calculada utilizando-se

$$P_i(CC) = V(CC) I_{CQ} \quad (9)$$

Sendo que a potência de entrada fornecida pela fonte CC é dada por

$$\eta = \frac{P_o(CA)}{P_i(CC)} \times 100\% \quad (10)$$

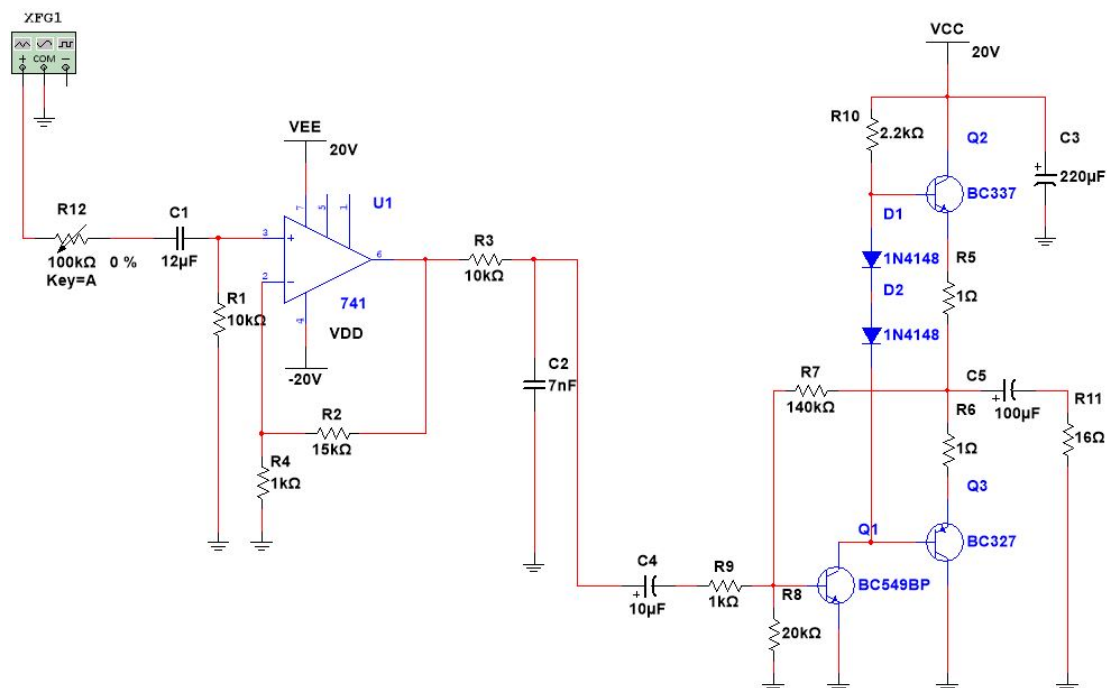
E a potência CA é calculada como

$$P_o(CA) = \frac{V_o(CC)^2}{8R_C} \times 100\% \quad (11)$$

### 5.5 Simulação

Para realizar esta simulação, foi utilizado o software *Multisim*, e veja na Figura 6 a topologia utilizada.

Pela Figura 6, veja que a primeira etapa, referente ao amplificador operacional está relacionada com a equalização/filtragem do sinal de entrada e posteriormente a pré amplificação e amplificação

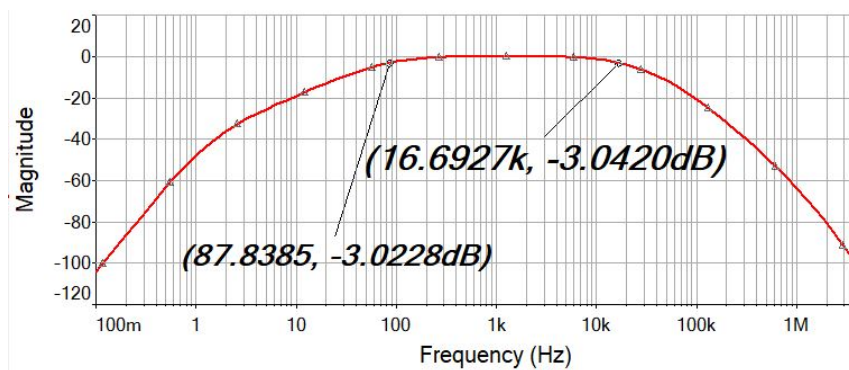


**Figura 6** – Amplificador de Áudio Para Pequenos Sinais.

de potência, sendo ambos transistorizados.

## 6 Resultados

Inicialmente, construiu-se o Diagrama de Bode normalizado para realizar uma análise gráfica e observar se as frequências de corte que foram previamente definidas na etapa de equalização foram atendidas na simulação. Para tanto, vide a Figura 7.

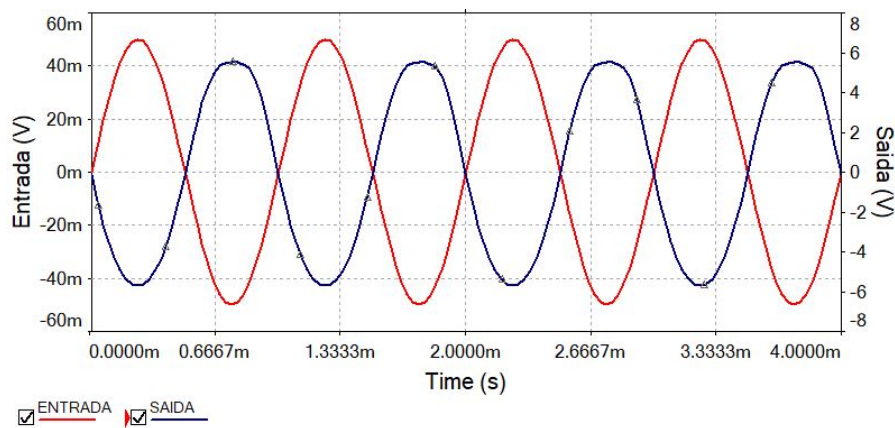


**Figura 7** – Diagrama de Bode.

Vale atentar-se ao fato de que é observado que os erros relativos das frequências de corte superior e inferior são de: 61,1 % para a inferior e 4,38 % para a superior. Esses valores de erros obtidos não comprometem o correto funcionamento do nosso amplificador e portanto podemos afirmar que a etapa de equalização segue corretamente projetada.

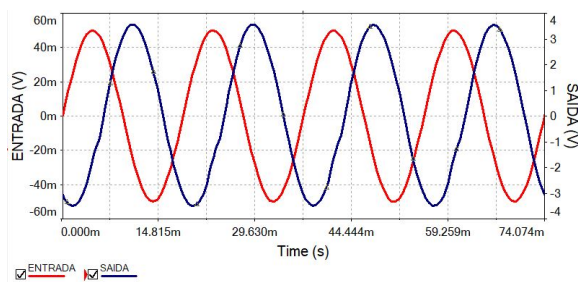
Para uma frequência média de 1 KHz, o gráfico da Figura 8 apresenta o comportamento da saída perante a um sinal de entrada de 100 mV<sub>pp</sub>, obtendo assim um ganho  $A_{V_{dB}} = 43$  dB. Vale pontuar que

apesar da inversão de polaridade encontrada, não é visualizado nenhuma distorção do sinal de saída o que garante que o sinal resultante apresenta as mesmas características da entrada.

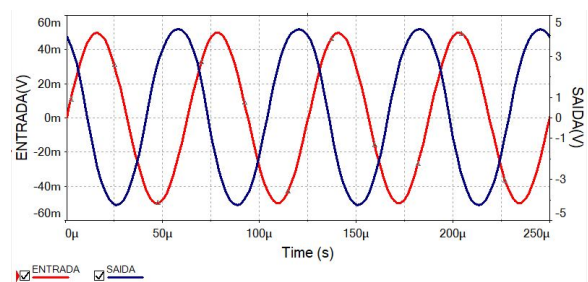


**Figura 8** – Entrada e Saída para frequência de 1 kHz.

Analogamente, os 2 gráficos seguintes, visualizados nas Figuras 9 e 10, servem para demonstrar a relação entre os sinais de entrada e saída na frequência de corte.

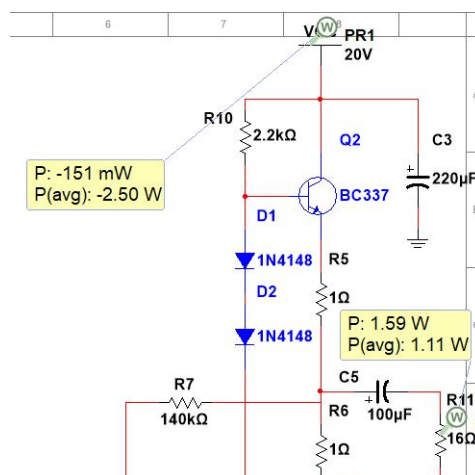


**Figura 9** – Entrada e Saída para frequência de 54 kHz.



**Figura 10** – Entrada e Saída para frequência de 16 kHz.

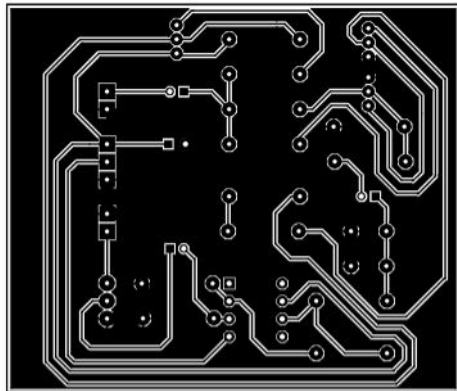
Também foi medido na simulação, que para uma frequência de 1 kHz de entrada e mantendo os 100 mV<sub>pp</sub> de entrada que  $P_{CC} = 1,11$  W e  $P_{CA} = -2,50$  W, conforme visto Figura 11. Assim, obtêm se que a eficiência do circuito amplificador de áudio é de  $\eta = \frac{1,11}{2,50} \times 100\% = 44,44\%$ , que é uma frequência já esperada para um amplificador da tipologia de classe AB.



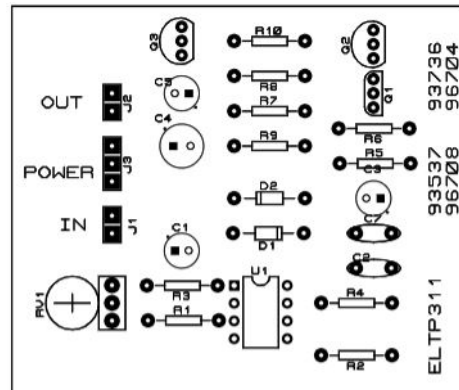
**Figura 11** – Potências CC e CA para frequência de 1 kHz.



Por fim, após definido o circuito do amplificador de áudio. Foi se desenvolvido o layout da placa de circuito impressa (PCI). Algumas imagens da mesma podem ser vistas a seguir pelas Figuras 12 e 13.



**Figura 12** – Circuito PCI da placa projetada.



**Figura 13** – Imagem da placa projetada.

## 7 Conclusão

Percebe-se, portanto, que os objetivos deste trabalho foram alcançados. Através das simulações apresentadas, em função das potências, foi obtido uma eficiência dentro dos ganhos de um amplificador de classe AB, sem contar que foi o ganho de tensão fornecido atingiu um valor expressivo e assim demonstra que o nosso projeto atende a demanda a qual motivou sua construção.

Outro fato importante é as frequência de corte foram bem próximas do esperado, logo é garantido que o amplificador de áudio projetado atenderá a faixa de frequência audível pelos ouvidos humanos que é de 20 Hz à 20 kHz.

## 8 Referências Bibliográficas

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L.; MIGUEL, E. A. *Electrônica: Teoría de circuitos*. [S.l.]: Prentice Hall, 1994.

MALVINO, A. P.; BATES, D. J. *Eletrônica - Vol 2*. [S.l.]: AMGH, 2011.

MOREIRA, K. S. *Relatorio Final de Eletrônica 02 - ELTP 311*. [S.l.: s.n.], Universidade Federal de Viçosa – MG. 2021.