

# Amplificadores de Potência tipo *push-pull*

Bianca Yoshie Itiroko - 164923, Luiz Eduardo Cartolano - 183012, Seong Eun Kim - 177143  
EE534 - Turma Y - Grupo 2

Outubro de 2018

## Resumo

Esse experimento teve como objetivo construir um estágio de potência com a topologia *push-pull* e estudar sua eficiência, comparando com o estágio de acoplamento montado no experimento anterior. Através dele, pudemos obter a potência de 1,9KW o seguidor de emissor, de 0W para o *push-pull* simples com alimentação assimétrica e 8W para o *push-pull* com polarização e alimentação assimétrica. Assim, podemos concluir que o primeiro tem uma potência maior em relação aos demais.

## 1 Introdução

O transistor de junção bipolar, *BJT*, é o tipo de transistor mais comum presente no mercado, devido a sua facilidade de polarização e durabilidade. Seu nome se dá fruto do seu processo de condução, que é realizado por dois tipos de carga - positiva (lacunas) e negativa (elétrons). São normalmente compostos de três terminais, sendo os eles, a Base, o Emissor (*Emitter*) e o Coletor (*Collector*). Existem essencialmente dois tipos de *BJT*, o do tipo NPN e PNP. Os transistores *BJT* tem uma série de aplicações práticas no nosso dia a dia, sendo especialmente usados como amplificadores de corrente(ou tensão) e como controle *ON-OFF*(chaves do tipo liga-desliga).

Um dos circuitos mais usados com a aplicação de transistores *BJT* são os circuitos *push-pull*. Um amplificador como este é um tipo de circuito eletrônico que usa um par de dispositivos ativos que, alternadamente, fornecem corrente ou absorvem corrente de uma carga conectada. Um amplificador desse tipo é mais eficiente que um amplificador "classe A" de terminação única, por isso seu uso é menos custoso e de grande interesse para quem precisa utilizá-lo.

Neste experimento será estudado o comportamento do circuito *push-pull*, desde sua configuração mais simples (vide Figura 2) até implementações bem mais complexas, como a da Figura 4. Também estudaremos seu uso em conjunto com circuitos pré-amplificadores e junto a caixas alto-falante e microfones de eletreto.

## 2 Procedimentos

Para a realização dos experimentos propostos, foram utilizados os seguintes componentes e ferramentas: Osciloscópio digital de dois canais, gerador de ondas/funções, fonte de tensão contínua, cabos com plugs banana e coaxial, multímetro digital, placa de contatos, transistores *BSS100*, *2N2222* e *2N2907*, um resistor de potência de  $56\Omega$ (5W), capacitores de  $220nF$ ,  $680nF$  e  $1\mu F$  resistores de  $82\Omega$ ,  $2,2k\Omega$  e  $6,8k\Omega$ , e diodos *1N4004*. Além de um alto-falante e um microfone de eletreto.

A primeira parte consiste na familiarização dos alunos com o novo circuito estudado, para isso montou-se o circuito que pode ser observado na Figura 2, com  $C1 = 680nF$  e  $C2 = 220\mu F$ . Nesta etapa buscou-se analisar o funcionamento básico dos transistores e a saída encontrada. Um detalhe importante para essa etapa é, além do cuidado especial com a polarização do transistor é limitar a corrente emitida pela fonte de tensão contínua em  $200mA$ .

Na segunda etapa do laboratório, buscou-se estudar configurações mais complexas do circuito *push-pull*. Primeiro, substituímos a alimentação que antes era simétrica por uma alimentação assimétrica, como podemos ver na Figura 3, para o circuito também foram adicionados dois resistores de  $2,2k\Omega$ . Por fim, montou-se um circuito ainda mais complexo, que pode ser visto na Figura 4. Este, recebe um

acréscimo de dois diodos do tipo 1N4004, cujas funções serão melhor discutidas na Seção 3. Novamente, devemos ressaltar a importância de se atentar a polarização dos transistores (especialmente agora que transistores *NPN* e *PNP* serão usados em conjunto). Além disso, deve-se manter o limitador de corrente na fonte de tensão contínua, a fim de garantir a segurança do circuito.

Por fim, vale ressaltar que as análises mencionadas para o circuito simplificado serão refeitas nos demais circuitos. É interessante notar também que o resistor de carga destes circuitos ( $R_L$ ) será a caixa alto-falante.

### 3 Discussão

Para o circuito seguidor de emissor, aterrou-se a entrada do circuito e mediu-se a ddp em  $R_E$ , que foi de 11,15V. Como  $R_E$  tem resistência de  $82\Omega$ , a corrente era de 136mA. Calculou-se a tensão em  $V_{BE}$ , de 0,7V, o que foi acima do esperado (0,6V), o que indica que a tensão alta em  $R_E$  se deve a corrente alta.

Para o estágio *push-pull*, com a entrada e saída desconectadas, mediu-se  $V_B = 1mV$  e  $V_E = 8,6mV$  (ou seja, tensão desprezível). Isso está dentro do esperado pois a ddp nos transistores é menor do que o limiar, de forma que eles não conduzem.

Ao aplicar-se na entrada uma onda triangular de tensão de  $200mV_{pp}$  e frequência de 1kHz, observou-se que na saída houve deformação da onda de entrada, como pode ser visto na Figura 7. Aumentando-se gradualmente a tensão de entrada, observou-se que a deformação e a amplitude diminuiu. Com  $400mV_{pp}$ , a onda observada está na Figura 8.

Depois, ligou-se uma carga na saída (caixa de som) e repetiu-se o procedimento anterior. Observou-se bastante distorção na onda de saída, como pode ser visto na Figura 6. Isso se é esperado pois a caixa de saída tende a deformar a onda de saída vista no osciloscópio já que há conversão das ondas elétricas em sonoras que são por ela transmitidas.

Em seguida, montou-se o circuito da Figura 2. Os resistores desse circuito são responsáveis pela polarização dos transistores, garantindo uma menor distorção do sinal de saída. A polarização acontece pois a corrente ao passar pelo resistor gera uma queda de tensão. O circuito no entanto ainda não é perfeito, se os ruídos não existissem na Figura 9 seria possível observar uma região na qual os dois transistores estão desligados, este problema será corrigido com a inserção dos diodos, como veremos a seguir.

Aterrou-se a entrada e mediu-se a tensão sobre a carga  $R_L$ . Obteve-se aproximadamente 0V. Pela fórmula 1, pode-se concluir que a potência dissipada é nula. Adicionando uma onda triangular ao circuito foi possível observar que começa a existir circulação de corrente nele. A partir de uma entrada de  $700mV_{pp}$  os transistores são ativados, como observado na Figura 9, além disso, com uma caixa de som conectada, é possível ouvir sons a partir desse valor. Um problema encontrado no sinal de saída observado é a distorção deste e os "bicos" presentes, provavelmente eles são fruto de interferência causada pelo capacitor nos seus ciclos de carga e descarga.

Em seguida, aplicou-se uma forma de onda triangular de  $200mV_{pp}$  e frequência de 1KHz. Nessa configuração, não houve ruído na caixa de som. Então, aumentou-se gradativamente o sinal de entrada e, com aproximadamente  $720mV_{pp}$ , começou-se a ouvir ruídos. Pode-se observar a onda de saída na Figura 9. Vê-se que a onda de saída, que deveria ser triangular, possui bastante deformação, tanto na subida, como na descida. Também é possível notar uma grande quantidade de ruído, causada pelo mau contato dos componentes do circuito.

Para a próxima parte do experimento, adicionou-se dois diodos ao circuito do push-pull. Os mesmos tem como função polarizar ambos os transistores no corte, garantindo uma tensão entre a base e o emissor entre 0,6 e 0,7V de forma que a distorção no cruzamento se sobreponha e o efeito pode ser minimizado.

Com a entrada aterrada, foi então possível medir  $V_{BE} = 0,608V$ ,  $V_{R1} = 4,18V$  e  $V_{R2} = 3,6V$ , de modo que foi possível calcular  $I_{R1} = 1,9mA$ ,  $I_{R2} = 1,63mA$ ,  $I_{B1} = I_{B2} = 0,13mA$  e  $I_C = 0,54mA$ . Então, com o auxílio de um amperímetro ligado em série no circuito, calculou-se a potência total dissipada no circuito com o diodo, que foi cerca de 8W. Voltando aos circuitos vistos no início da atividade, é possível perceber um ganho considerável quando comparado ao seguidor de emissor, que gastava uma potência em torno de 1,9KW, justificando o uso do circuito *push-pull*. A potência para o circuito *push-pull* sem o diodo foi, para nós, de 0W, pois infelizmente não calculamos a corrente sobre os resistores, a fim de ter valores mais precisos. A análise dessas potências nos mostra o motivo pelo qual o circuito com diodos deve

ser adotado, já que, além de gastar pouquíssima energia, ele não deforma a onda de saída e nem tem momentos no qual ambos os transistores estão em corte.

Aplicando uma forma de onda triangular de  $200mV_{PP}$  e  $1KHz$ . Ainda sem carga, mediu-se o ganho de tensão correspondente e observou-se a distorção no circuito pela 10. Assim, buscando avaliar o comportamento do mesmo, variou-se a frequência para  $4Hz$  e observou-se a Figura 11.

Ao comparar ambas, pode-se notar que a medida que aumentamos a frequência, pode-se notar que há uma diminuição na distorção gerada, de forma que com amplificação maior, a onda de saída começa a se assemelhar em forma à da entrada.

Acoplando uma carga a saída, pode-se observar a Figura 12 e ao tentar realizar uma avaliação acerca do aumento da frequência, obteve-se a Figura 13. Pode-se observar que ao aumentar-se a frequência, aumentou também os ruídos advindos da adição da carga, de forma que pode-se inferir que houve sim um ganho de tensão, mas de valor não confiável, devido a alta oscilação do mesmo.

A última parte do experimento não pode-se ser realizada pois não houve tempo hábil.

## 4 Conclusão

Neste experimento buscou-se analisar a eficiência dos estágios construídos para um amplificador de carga. Ao testar o circuito seguidor de emissor do experimento anterior, houve uma grande deformação da onda de entrada que, a medida que a tensão aumentava, a deformação e a amplitude diminuía.

Para o circuito *push-pull simples*, ouviu-se o sinal de entrada na caixa de som conectada a partir de  $720mV_{PP}$ , a uma frequência de  $1kHz$ . Porém, no sinal de saída houve uma grande distorção e "bicos" presentes, que representavam a interferência do capacitor em seus ciclos de carga e descarga e o mau funcionamento dos cabos.

Para a última parte do experimento, a medida que aumentou-se a frequência, a distorção diminuiu e então a onda de saída começa a se assemelhar a de entrada. Ao conectarmos a carga, como nos demais circuitos do experimento, as distorções aumentaram consideravelmente, assim como os ruídos. Pode-se inferir que houve ganho de tensão, apesar do valor não ser confiável devido a alta oscilação.

Dentre esses três circuitos, o que obteve maior potência foi o primeiro, com valor de  $1,9KW$ .

## Referências

- [1] MASIERO Bruno. Roteiro experimento 5. Disponível em: <https://tinyurl.com/yatzb2ot>, Acesso em: 21-10-2018.
- [2] Seong Kim, Bianca Itiroko, and Luiz Cartolano. Relatório experimento 4. Disponível em: <https://tinyurl.com/ybg5zgn2>, Acesso em: 21-10-2018.
- [3] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith. *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press, fifth edition, 2004.

## ANEXOS

$$P = I * R^2 \quad (1)$$

Equation 1: Fórmula da potência dissipada por uma carga.

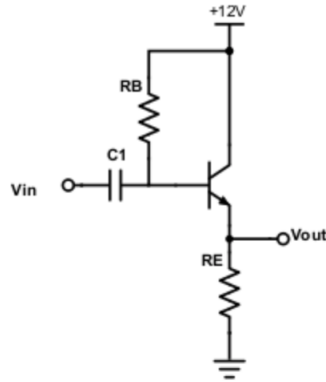


Figura 1: Circuito seguidor de emissor com transistor BJT.

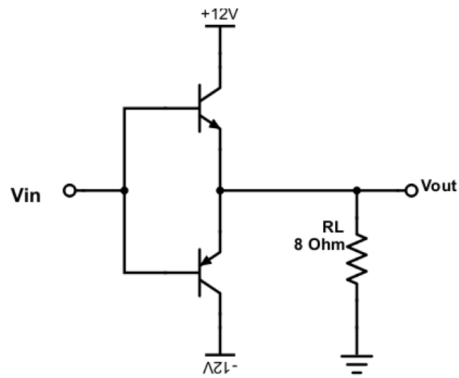


Figura 2: Circuito *push-pull* simples.

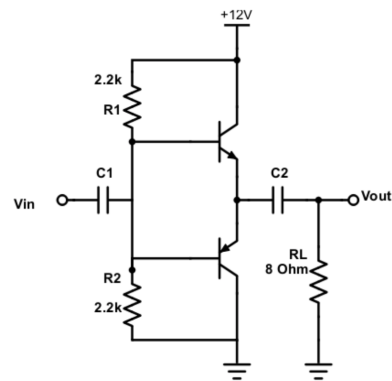


Figura 3: Circuito *push-pull* simples com alimentação assimétrica.

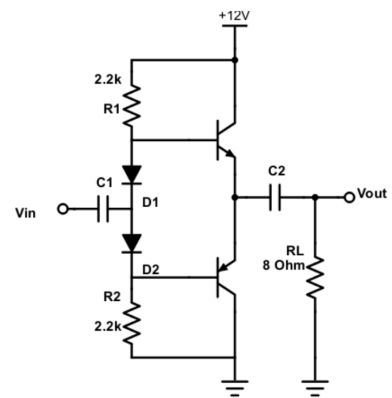


Figura 4: Circuito *push-pull* com polarização e alimentação assimétrica.

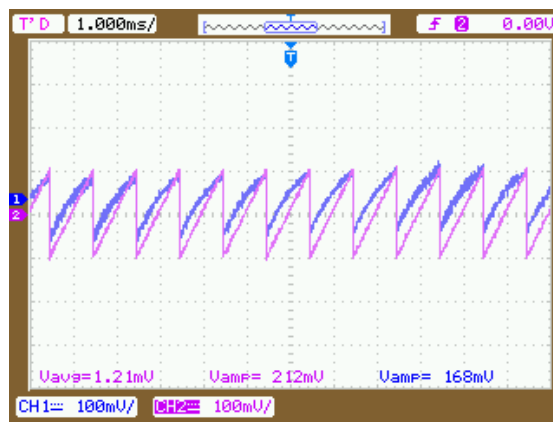


Figura 5: Sinal de saída do circuito *push-pull* com deformação.

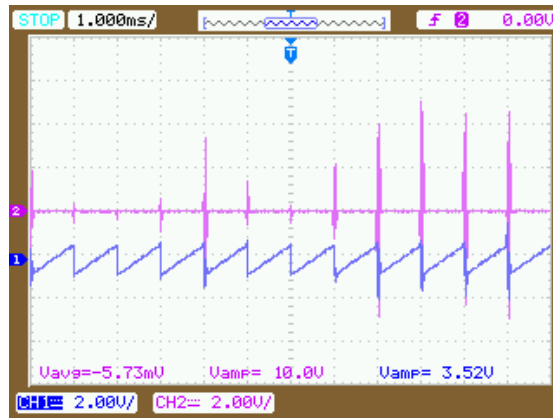


Figura 6: Sinal de saída com a carga (alto-falante) acoplada.

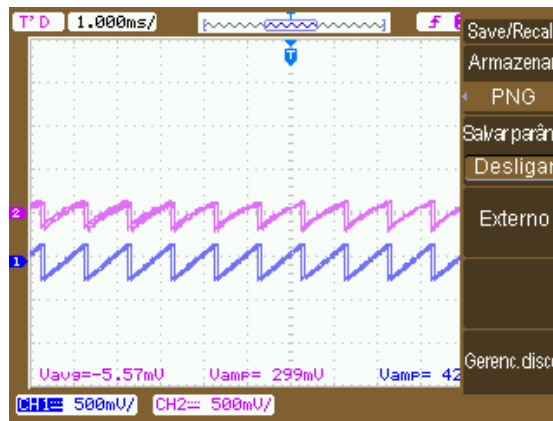


Figura 7: Sinal de saída para sinal de entrada de  $200mV_{PP}$ .

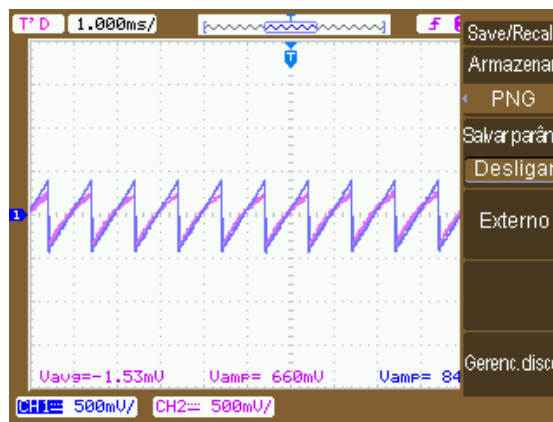


Figura 8: Sinal de saída para sinal de entrada de  $400mV_{PP}$ .

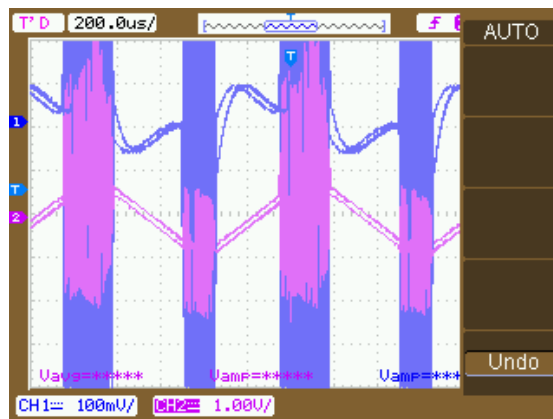


Figura 9: Sinal de saída para o circuito push-pull com entrada assimétrica.

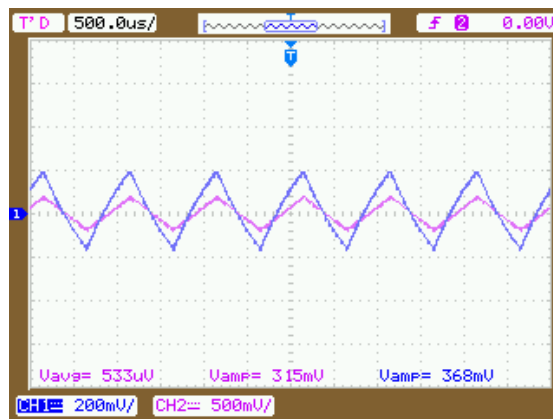


Figura 10: Sinal de saída para o circuito com diodos e entrada de 1KHz.

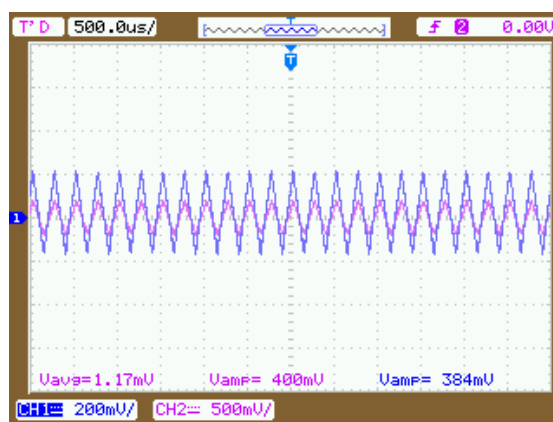


Figura 11: Sinal de saída para o circuito com diodos e entrada de 4KHz.

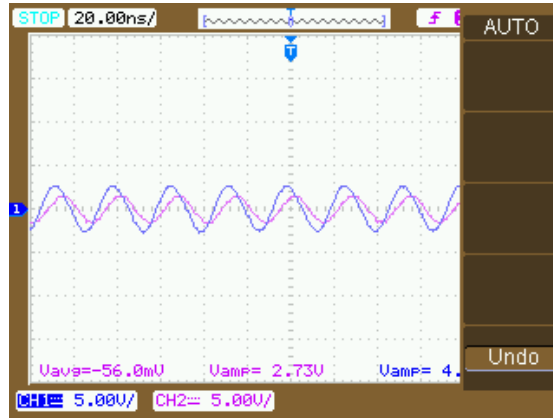


Figura 12: Sinal de saída para o circuito com diodos e entrada de 1KHz e carga (alto-falante acoplado).

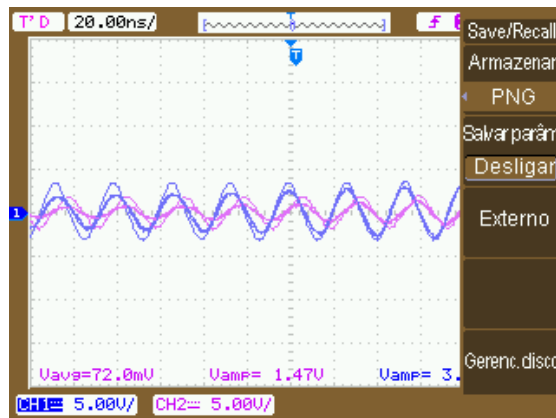


Figura 13: Sinal de saída para o circuito com diodos e entrada de 4KHz e carga (alto-falante acoplado).