

Exp. VI — Amplificador Operacional e Circuito Realimentado

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

Novembro de 2018

Resumo

Esse experimento teve como objetivo reduzir a distorção de um circuito push-pull, através da realimentação por um amplificador operacional. Pode-se verificar o funcionamento do potenciômetro e dos demais elementos individualmente no circuito, entretanto, devida a queima do transistor NPN, não foi possível avaliar o quão menos distorcido tivemos na saída.

1 Introdução

Nos últimos laboratórios, estudou-se a importância dos transistores *BJT* e sua aplicação nos circuitos *push-pull*, neste experimento será estudada uma variação deste circuito que faz uso de outro componente super importante no mundo da eletrônica, os *amplificadores operacionais*.

Os amplificadores operacionais (ou *amp ops*, como são comumente conhecidos), é um amplificador com ganho muito alto, impedância de entrada alta e impedância de saída baixa. Como podemos ver na Figura 1, ele possui duas entradas (um terminal *inversor*(-) e um *não-inversor*(+)) além de um terminal de saída. A tensão de saída é dada pela diferença entre os terminais multiplicada pelo ganho em malha aberta, como descrito pela Equação 1.

Suas principais aplicações, como o próprio nome diz, são realizar operações matemáticas (integração, diferenciação, soma, multiplicação/amplificação, etc.), quando operando na *região linear* (região ativa). Na *região de saturação*, este dispositivo pode ser utilizado como comparador, gerador de onda quadrada, dente de serra, filtros, osciladores, etc.

Neste experimento será estudado o comportamento de circuitos amplificadores operacionais, desde uma configuração simples, como a da Figura 3 até uma aplicação mais complexa (acoplada ao *push-pull*) como visto na Figura 5.

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, transístores *BSS100*, *2N2222* e *2N2907*, capacitores de $220nF$ e $680nF$, resistores de $10k\Omega$ e $100k\Omega$, diodos *1N4004*, um amplificador operacional *LM324* e dois potenciômetros um linear de $10k\Omega$ e um logarítmico de $50k\Omega$. Além de um alto-falante e um microfone.

Na primeira parte buscou-se observar a linearidade do circuito da Figura 2 e mediu-se a distorção harmônica do sinal de saída, como será melhor explicado na Seção 3.

Em um segundo momento, o foco foi dado no estudo de implementações básicas do amplificador operacional. Primeiro, montou-se o circuito da Figura 3, para tal usou-se o potenciômetro linear de $10k\Omega$. O objetivo desta etapa foi entender o funcionamento do potenciômetro e também observar as saturações do amplificador. Depois de familiarizado com esse circuito, montou-se o observado na Figura 4, que é um pouco mais complexo, e que introduz o conceito da *realimentação* (ou *feedback*). Neste momento, o principal foco foi encontrar o ponto de máxima excursão do amplificador montado, como explicaremos na Seção 3. Um detalhe importante neste momento do laboratório é entender a estrutura do amplificador operacional, como pode ser visto na Figura 7, existem quatro *amp ops* no componente usado,

logo, é importante se atentar as portas usadas. Além disso, o mais importante, é que o componente usado necessita estar polarizado para funcionar, por isso é essencial conectar uma fonte de tensão constante na porta 4 e uma tensão (oposta ou conectar ao *ground*) na porta 11.

Uma vez acostumado com o *amp op* acoplou-se o amplificador do parágrafo anterior ao *push pull*, obtendo o circuito da Figura 5. Com o circuito montado, buscou-se, primeiro, obter o ponto no qual o sinal de saída não estivesse distorcido. E então, variou-se a frequência da tensão de entrada, desde 1Hz até 1MHz, visando observar o comportamento do sinal de saída.

Por fim, acoplou-se ao circuito um estágio de ganho, obtendo o circuito da Figura 6, para este, conectou-se um microfone e "brincou-se" com o som obtido a partir de diferentes entradas sonoras.

3 Discussão

Em um primeiro momento buscou-se analisar a linearidade do *push pull* da Figura 2. Aplicando um sinal de entrada triangular de 500mV com uma frequência de 1KHz, Foi possível perceber, como visto na Figura 10, que tal relação não existe, já que efeitos secundários tais como efeitos de saturação, temperatura, etc não são desprezados. Após estudar a linearidade do circuito, buscou-se obter a distorção harmônica do mesmo. Como explicado em [5], o conceito da *transformada de Laplace*, permite que se escreva qualquer onda como uma soma de ondas senoidais. Para a atividade do laboratório aplicou-se uma onda senoidal de 500mV e 1KHz, uma vez que o sinal de entrada foi uma senoide, o espectro da onda é representado por apenas um pico, com amplitude fundamental, como observado na 11, foi de 480mV. Desse modo, aplicando a Equação 2, a distorção foi de 480mV.

Para o circuito da Figura 3 dois novos componentes foram introduzidos, o amplificador operacional e o potenciômetro. O primeiro é internamente descrito como na Figura 1, por isso é importante alimentá-lo com uma tensão de entrada contínua a fim de polarizá-lo, já o segundo, é um tipo especial de resistor de três terminais cuja resistência pode ser ajustada por meio mecânico, girando ou deslizando um eixo móvel, formando assim um divisor de tensão ajustável. Uma vez entendido o funcionamento dos componentes, foi possível analisar o circuito. É interessante notar que este funciona adicionando uma espécie de *offset* de nível DC ao sinal de entrada(V_{in}), como podemos ver na 12. O *offset* adicionado é provido pelo sinal de saída do divisor de tensão do potêniometro e, uma vez que este é ajustável, o *offset* também será. Essa mudança na tensão do potêniometro permite que se observe um comportamento interessante do *amp op* que é o *range* de tensões de saída que ele suporta, isto é, uma vez que o mesmo estava polarizado com $V_{CC} = 12V$ e $V_{EE} = 0V$, nenhum sinal menor que 0V ou maior que 12V será emitido na saída, portanto, para se obter um melhor aproveitamento do circuito é preciso encontrar uma tensão no potêniometro que acrescente um *offset* que seja totalmente aproveitado, isto é, que não seja limitado em nenhum dos limites.

Após entender o comportamento do *amp op* com entrada no *inversor*, acoplamos o circuito da Figura 3 a um amplificador com realimentação, montando o circuito da Figura 4, neste momento, obtém-se uma montagem que irá aplicar um *offset* ao sinal de entrada e depois amplificá-lo. Um detalhe interessante é que, visto que o ganho do amplificador operacional é muito alto, usa-se a técnica da realimentação (que consiste em fazer com que o sinal de saída passe por um divisor de tensão e então se torne um sinal de entrada) para amenizar a amplificação total do circuito. Assim como no tópico anterior, o amplificador em questão também possui o sinal de saída limitado (vide Figura 14), portanto, é preciso encontrar o ponto de excursão máxima do amplificador (observado na Figura 13, para que se aproveite, ao máximo, o sinal de entrada, sem distorções ou perda de partes do sinal. Outra característica interessante dos amplificadores operacionais é que eles podem funcionar como um filtro (assim como os estudados com mais detalhe no primeiro experimento, que pode ser visto em [2]). A fim de entender esse comportamento variou-se a frequência do sinal de entrada em um *range* que foi de 500Hz até 2MHz, nessa situação foi possível concluir que o *amp op* funciona como um filtro *Passa-Baixa*, como o da Figura 8, tal comportamento acontece pois existe um atraso interno, ou seja, um tempo pequeno até a entrada sair pelo terminal de saída do *amp op*, logo, se a onda é muito rápida (frequência muito alta), esse processamento não ocorre há tempo, e então o *feedback* não existe e o amplificador operacional deixa de funcionar. Tal comportamento pode ser também observado nas Figuras 15 e 16.

Ao decorrer do experimento deveriam ser montados e estudados os circuitos mostrados pelas Figuras 5 e 6, no entanto, ao tentar acoplar o circuito *push pull* ao circuito da Figura 4 esqueceu-se de conectar a fonte de alimentação constante ao *push pull*, nesse momento também aumentou-se consideravelmente a

fonte variável V_{in} o que provavelmente ocasionou a queima do transistor *NPN* e, por conseguinte, o não funcionamento do circuito, por essa razão não foi possível realizar o experimento. A fim de conseguir entender e estudar as discussões relacionadas o grupo simulou o comportamento do circuito em um *software* online, como pode ser visto em [4]. Para o circuito em questão seria necessário observar que o sinal de saída sofre a ação de um filtro *Passa-Alta* e deveria mostrar um comportamento como o da Figura 9.

4 Conclusão

Neste experimento, buscou-se analisar e entender como utilizar o estágio de potência tipo push-pull como componente de nosso circuito, mas sem comprometer o sinal com grades distorções. Ao adicionar um amplificador operacional e um potenciômetro ao circuito push pull montado na aula anterior, verificou-se que o circuito pode ser melhor aproveitado, uma vez que é possível encontrar uma tensão no potenciômetro que acrescente um offset que seja totalmente aproveitado. Devido aos problemas técnicos enfrentados por conta da queima do transistor *NPN*, não foi possível avaliar o quanto mais preciso e com menos distorções a adição dos novos elementos proporcionou ao circuito.

Referências

- [1] MASIERO Bruno. Roteiro experimento 6. Disponível em: <https://tinyurl.com/y8f8ogz2>, Acesso em: 09-11-2018.
- [2] Seong Kim, Bianca Itiroko, and Luiz Cartolano. Relatório experimento 1. Disponível em: <https://tinyurl.com/y8cprwjx>, Acesso em: 11-11-2018.
- [3] Seong Kim, Bianca Itiroko, and Luiz Cartolano. Relatório experimento 5. Disponível em: <https://tinyurl.com/yceppzja>, Acesso em: 10-11-2018.
- [4] Seong Kim, Bianca Itiroko, and Luiz Cartolano. Simulação do circuito da figura 5. Disponível em: <http://tinyurl.com/y7qt3gbv>, Acesso em: 09-11-2018.
- [5] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith. *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press, fifth edition, 2004.

ANEXOS

$$V_{out} = \mu \cdot (V_+ - V_-) \quad (1)$$

Equation 1: Fórmula para o ganho de tensão de um Amplificador Operacional.

$$DHT = \frac{\sqrt{(A_2)^2 + (A_3)^2 + \dots + (A_4)^2}}{A_1} \quad (2)$$

Equation 2: Fórmula para a distorção harmônica total.

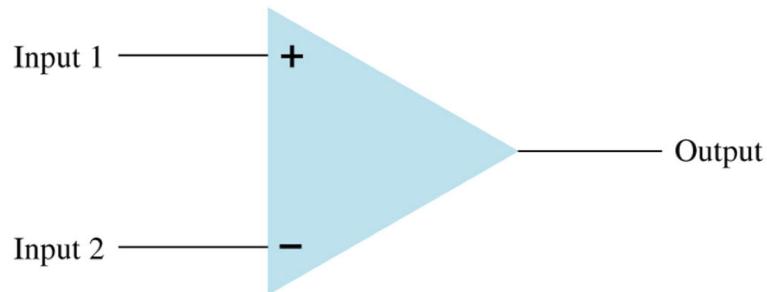


Figura 1: Amp op simples.

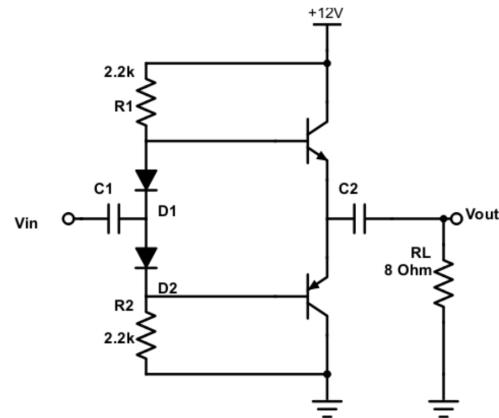


Figura 2: Circuito *push-pull* com alimentação assimétrica.

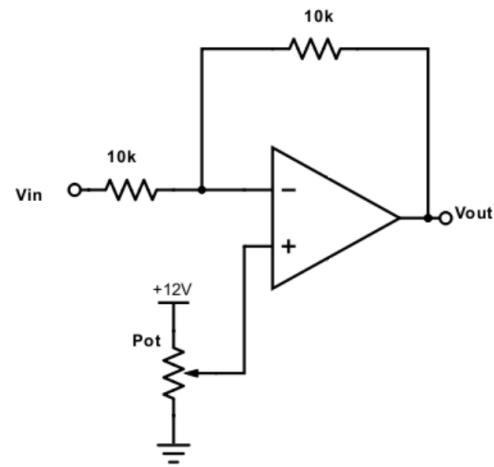


Figura 3: Circuito com um *Amp-op*.

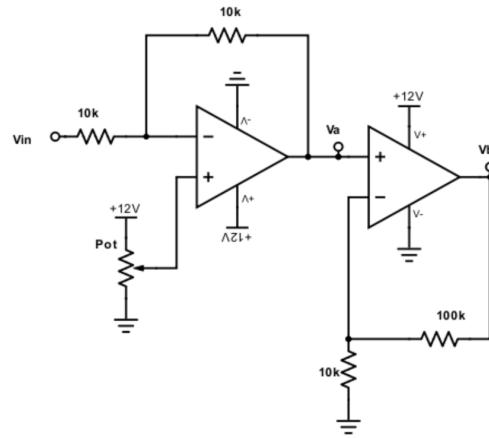


Figura 4: Circuito com dois *Amp-ops*.

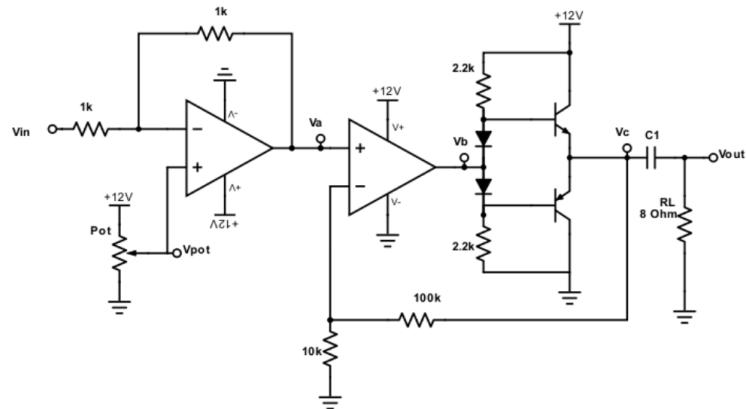


Figura 5: Circuito *push-pull* com alimentação não-simétrica e realimentação.

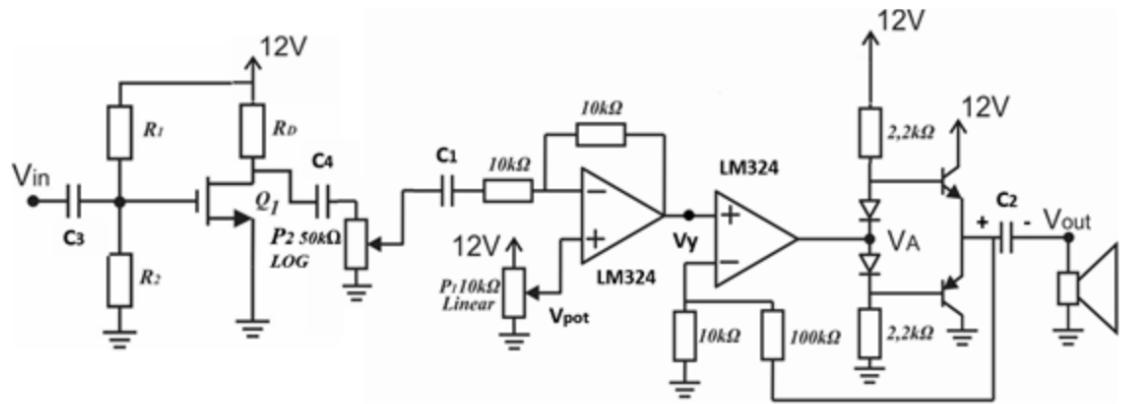


Figura 6: Circuito completo, com estágio de ganho e estágio de potência realimentado.

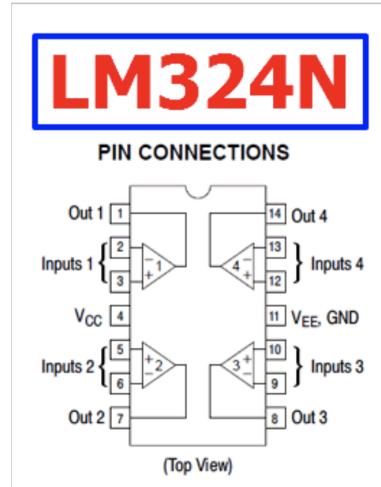


Figura 7: Discriminação do circuito interno do amplificador operacional LM324.

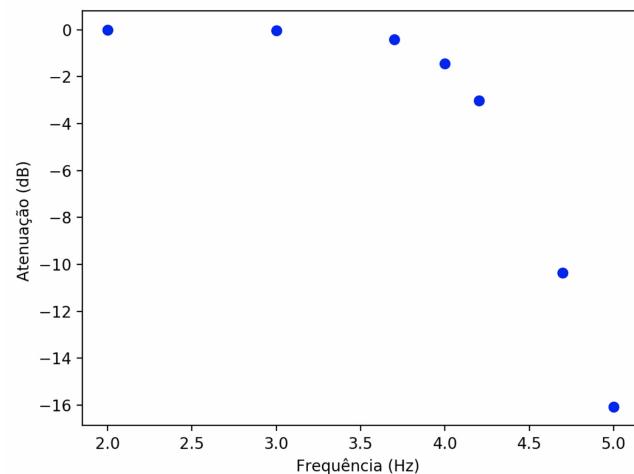


Figura 8: Digrama de bode de um filtro passa baixa.

Diagrama de bode filtro passa alta teorico

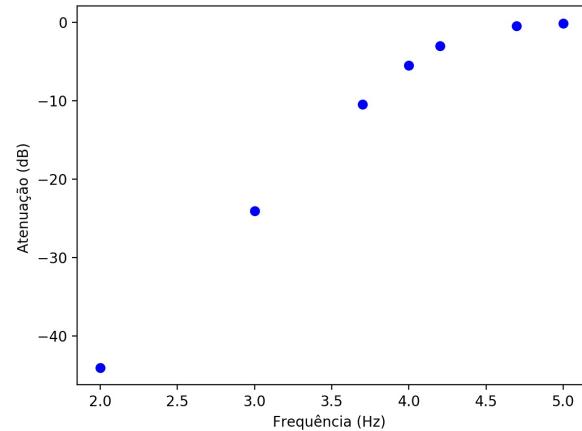


Figura 9: Digrama de bode de um filtro passa alta.



Figura 10: Sinal de saída do circuito push-pull a 500mV e 1KHz.

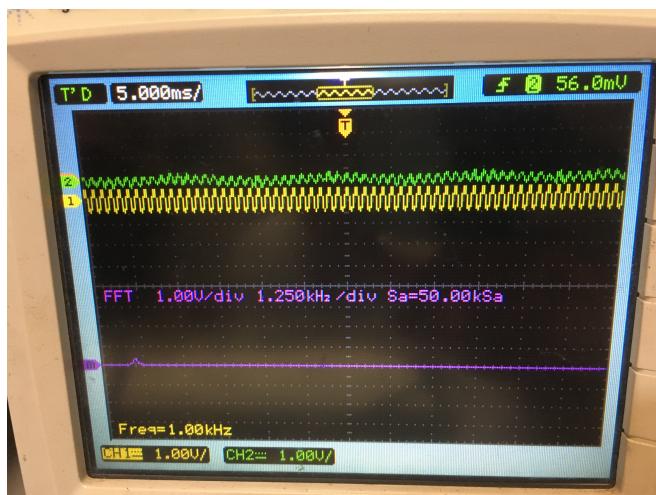


Figura 11: Espectro da onda de saída.

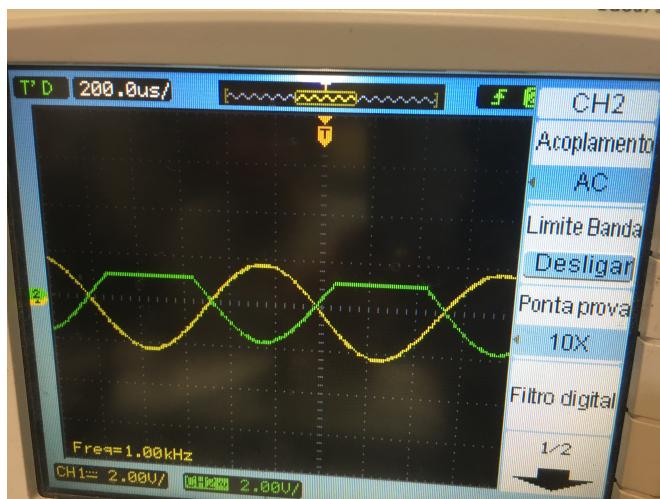


Figura 12: Sinal de saída do circuito montado a partir do amplificador operacional.

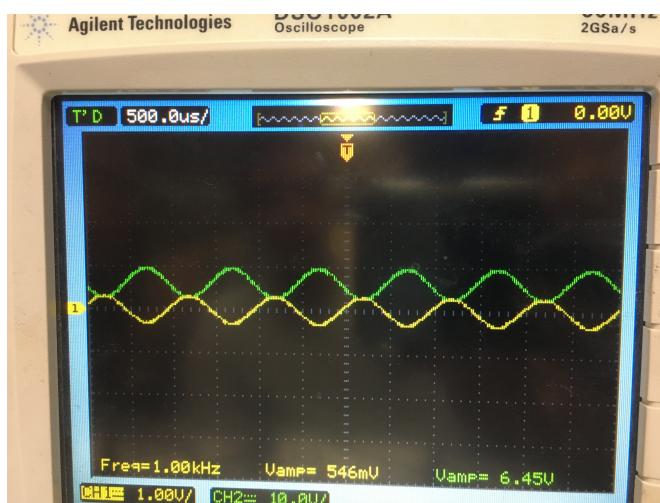


Figura 13: Sinal de saída com máxima excursão.

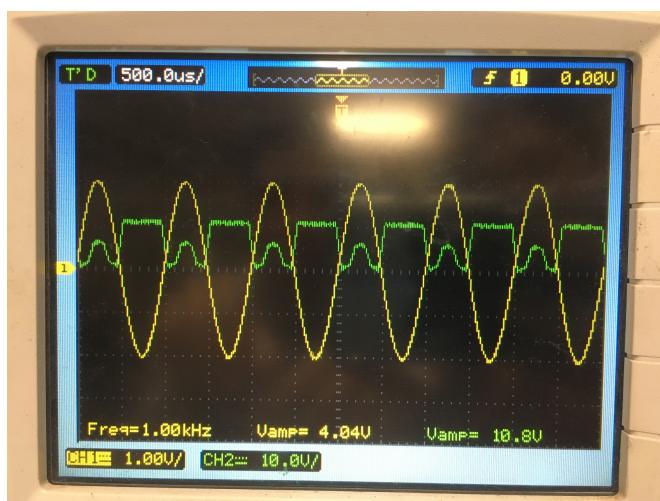


Figura 14: Sinal de saída saturado superiormente para o circuito montado com dois amplificadores operacionais acoplados.

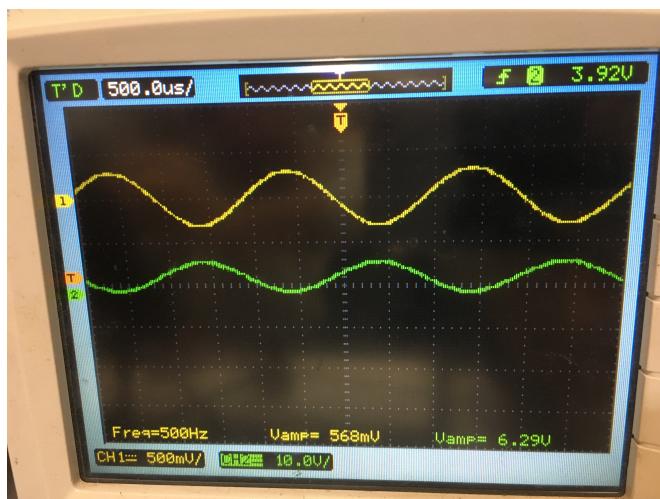


Figura 15: Sinal de saída para uma entrada com frequência de 500Hz.

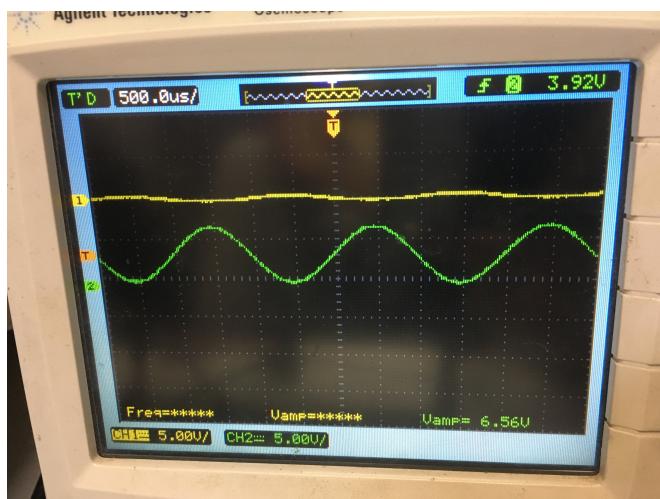


Figura 16: Sinal de saída para uma entrada com frequência de 2MHz.

Frequência (Hz)	Vout (mV)	Ganho (dB)
1	90	1
20	1320	1
100	1670	1
500	1960	1
1.000	2004	1
5.000	3770	1
10.000	3830	1
20.000	3570	1
50.000	3800	1
100.000	3860	1
500.000	3770	1
1.000.000	3840	1

Tabela 1: Resposta em frequência do circuito para as frequências indicadas.