

# Exp. VI — Amplificador Operacional e Circuito Realimentado

## 1. Objetivos

No último experimento vimos o estágio de potência tipo *push-pull*, que apresenta melhor eficiência mas, em contrapartida, apresenta maior distorção do sinal. Para reduzir esta distorção é possível linearizar a saída do circuito por meio de realimentação. Neste experimento vamos realizar a realimentação do circuito *push-pull* através de um amplificador operacional. Ao fim do experimento, vamos avaliar a resposta em frequência do circuito e a distorção harmônica resultante.

## 2. Recomendação importante

- Façam as conexões com muita atenção para evitar a queima o transistor.
- Como o circuito a ser montado possui muitos componentes, construa o circuito por partes e verifique o correto funcionamento de cada parte antes de montar a próxima

## 3. Componentes

Amplificador operacional:  
1x LM324

Potenciômetro: linear de 10k $\Omega$  e  
log de 50k $\Omega$

Capacitores: 680nF

Resistores: 3 x 10k $\Omega$  e 1 x 100k $\Omega$

## 4. Parte Experimental

4.1. Verifique a linearidade do circuito *push-pull* da figura 1 (mesmo do experimento anterior) aplicando uma onda triangular de amplitude 500mV@1kHz.

4.2. Meça a distorção harmônica aplicando uma onda senoidal de amplitude 500mVpp@1kHz. Para tanto, use o osciloscópio no modo "*math*  $\rightarrow$  *fft*" e meça a amplitude da fundamental  $A_1$  e das principais harmônicas superiores  $A_n$ . A distorção harmônica total (DHT) é explicada na figura 2.

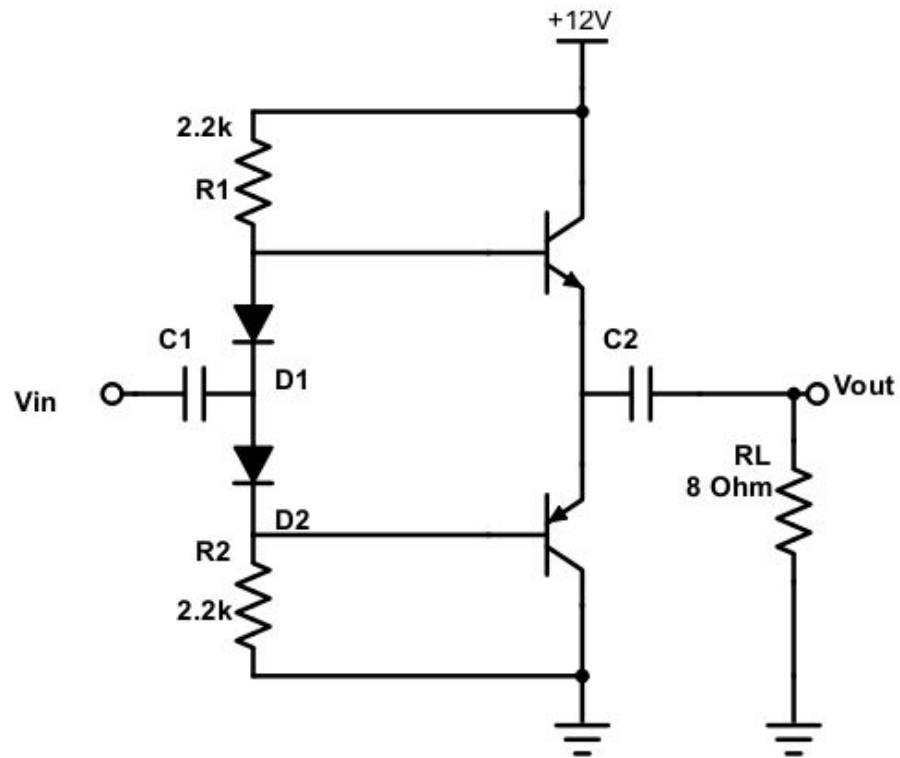


Figura 1: Circuito *push-pull* com alimentação assimétrica.

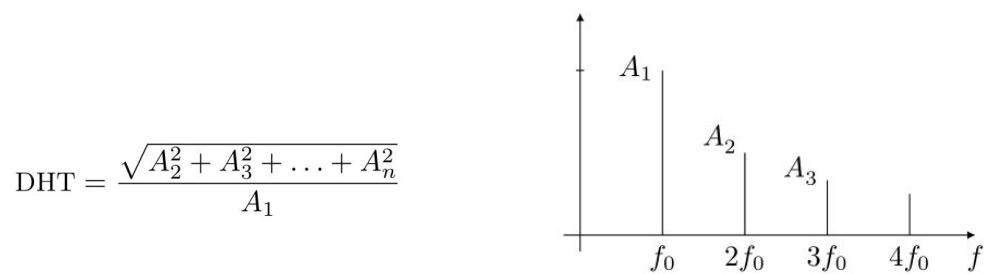


Figura 2: Fórmula para a distorção harmônica total e exemplo de espectro de sinal tonal distorcido.

4.3. Monte o circuito mostrado na Figura 3. Alimente o circuito com  $V_+ = 12V$  e aterrando  $V_-$  e use o potenciômetro linear.

*Sugestão: procure na internet pelo datasheet do CI LM324 e anote qual terminal do ampop está ligado em cada perna do CI.*

4.3.1. Aplique um sinal senoidal na entrada ( $1V_{pp}@1kHz$ ) e verifique como se comporta a forma de onda na saída ao variar o potenciômetro.

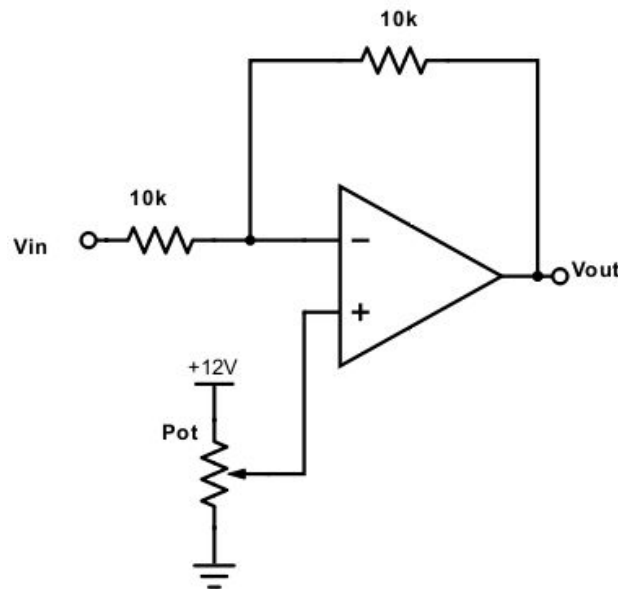


Figura 3: Circuito com um ampop.

4.4. Estenda o circuito da figura 3 para o circuito mostrado na figura 4.

4.4.1. Para uma frequência fixa, varie a amplitude do sinal de entrada. Comente sobre o ganho e a saturação.

4.4.2. Ajuste o potenciômetro para que não haja distorção da onda de saída.

4.4.3. Varie a frequência da onda de entrada (de Hz a MHz) e esboce o ganho da função de transferência deste circuito.

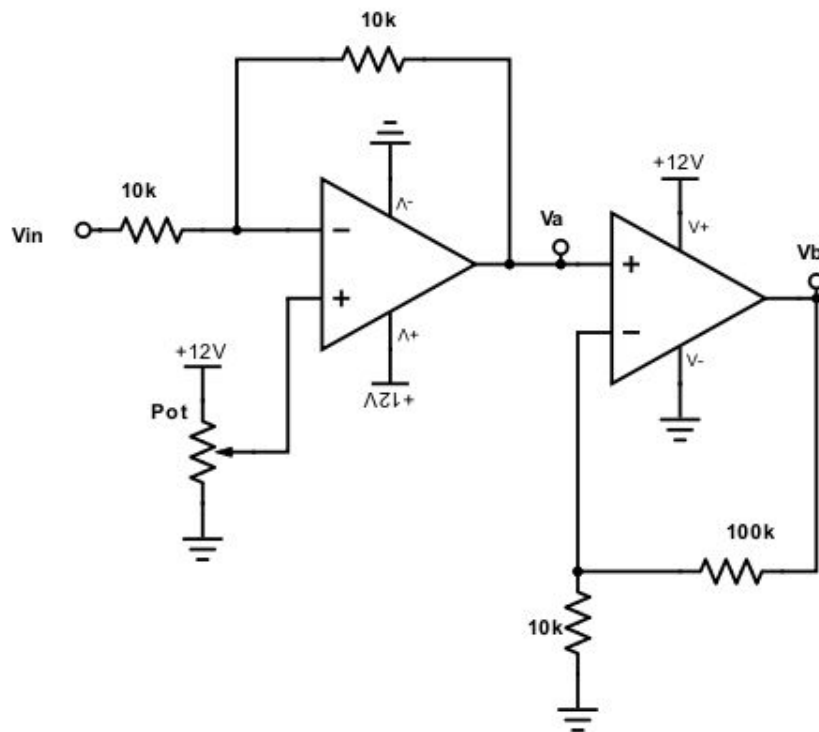


Figura 4: Circuito com dois ampops.

5. Monte o circuito da figura 5. Utilize os estágios já montados nos itens anteriores.
  - 5.1. Ajuste a amplitude de  $V_{in}$  de forma que a amplitude em  $V_{out}$  seja  $1V_{pp}@1kHz$ .
  - 5.2. Ajuste o potenciômetro de forma que a onda em  $V_{out}$  não esteja distorcida. A tensão média em  $V_b$  deve estar próxima de 6V.
  - 5.3. Meça a distorção harmônica total em  $V_{out}$ .
  - 5.4. Como se comporta o circuito para uma onda triangular na entrada?
  - 5.5. Explique o funcionamento do circuito realimentado.

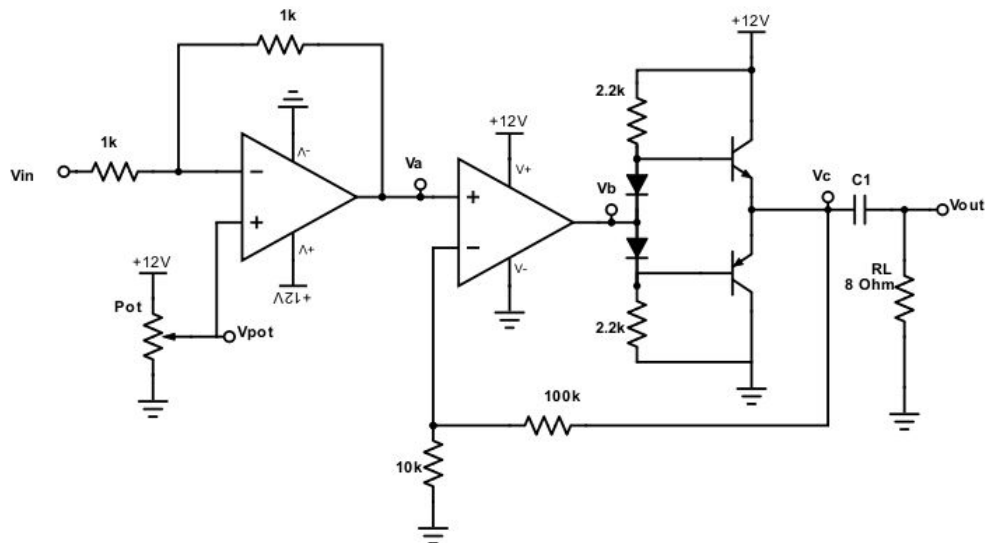


Figura 5: Circuito *push-pull* com alimentação não-simétrica e realimentação.

6. Mantendo a configuração de  $V_{POT}$  e amplitude de  $V_{IN}$ , faça o diagrama de Bode observando a resposta em frequência do circuito para as frequências indicadas na tabela a seguir:

Frequência (Hz)	$V_{out}$ (mV)	Ganho (dB)
1		
20		
100		
500		
1.000		
5.000		
10.000		
20.000		

50.000		
100.000		
500.000		
1.000.000		

7. Acople o estágio de ganho (MOSFET), com o potenciômetro de volume (P2, potenciômetro logarítmico) e faça os ajustes para ouvir um som gerado pelo computador/celular. Use os capacitores  $C3 = C4 = 680\text{nF}$ .

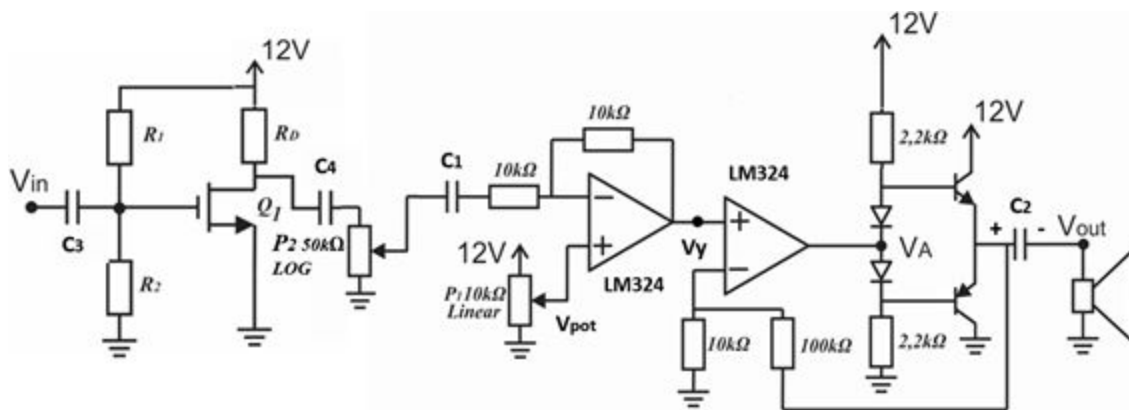


Figura 6: Circuito completo, com estágio de ganho e estágio de potência realimentado.

## 8. Bibliografia

- B. Razavi, Fundamentos de Microeletrônica, LTC
- S. Sedra, K.C.Smith, Microeletrônica, Makron Books Ltda
- R. Boylestad e L. Nashelsky, Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos, Prentice-Hall.