

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE TECNOLOGIA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**LUCAS LOSS STOLFO
MARCEL RICARDO PIOVESAN
MARCO ANTONIO MAFIOLETTI**

**BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDO DOS
AMPLIFICADORES OPERACIONAIS**

**PATO BRANCO
2012**

LUCAS LOSS STOLFO
MARCEL RICARDO PIOVESAN
MARCO ANTONIO MAFIOLETTI

**BANCADA DIDÁTICA PARA ESTUDO DOS
AMPLIFICADORES OPERACIONAIS**

Trabalho de Diplomação apresentado como requisito parcial para obtenção do Título de Tecnólogo, do Curso de Tecnologia em Automação Industrial, Universidade Tecnologia Federal do Paraná, Campus Pato Branco.

Orientador: Prof. Santo Tiveroli Filho
Coorientador: Prof. Lucas Franco Wrege

PATO BRANCO
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado “**Bancada Didática para Estudo dos Amplificadores Operacionais**”, foi considerado **APROVADO** de acordo com ata de defesa nº 147 de 2012.

Fizeram parte da Banca os Professores

Santo Tiveroli Filho
Orientador

Prof. Lucas Franco Wrege
Coorientador

Prof. Fábio Brignol de Moraes
Membro da Banca Avaliadora

Prof. José Paulo de Barros Neto
Membro da Banca Avaliadora

DEDICATÓRIAS

Dedico este trabalho em especial a minha esposa Tahis Regina Baú e a minha família (Emilio, Lorizete e Grasiela) por todo apoio, dedicação e paciência.

Lucas Loss Stolfo

Dedico este trabalho primeiramente a Deus pela proteção, a minha namorada Kaciane Bach e a minha família (Elio, Gilse, Angela e Fabio) pelo empenho, força e confiança.

Marco Antônio Mafioletti

Dedico este trabalho a Deus pela força, a minha esposa Eliciane Piovesan e a minha família (Tailor, Maria, e teilomar) pelo empenho, dedicação e apoio.

Marcel Ricardo Piovesan

AGRADECIMENTOS

Aos nossos familiares e a todas as pessoas que contribuíram para o êxito desse trabalho.

Em especial ao professor Lucas Franco Wrege que nos acompanhou e nos orientou durante todo o projeto, e que por motivos burocráticos não pode nos orientar até o fim, sendo assim, fez-se necessário à troca de orientador. Foi quando o professor Santo Tiveroli Filho assumiu a responsabilidade de nos orientar, mantendo o professor Lucas Franco Wrege como coorientador do projeto.

Aos demais professores que de uma forma ou de outra ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

E também a UTFPR pela oportunidade do aprendizado.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia impossível”.

(Charles Chaplin)

RESUMO

STOLFO, Lucas L., PIOVESAN, Marcel R., MAFIOLETTI, Marco A. **Bancada didática para estudo dos amplificadores operacionais**. 91 folhas. TCC Curso Automação Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2012

A Bancada Didática para Estudo dos Amplificadores Operacionais tem como seu foco principal o auxílio aos alunos durante disciplinas envolvendo eletrônica aplicada. Desenvolvida inteiramente com circuitos simples, de uso rotineiro durante as aulas, tais circuitos levariam várias aulas para serem montados, ao passo que, utilizando a bancada, é possível um estudo mais aprofundado de cada uma das configurações dos amplificadores.

Palavras-chave: Amplificador operacional, disciplina, circuitos e bancada.

ABSTRACT

STOLFO, Lucas L., PIOVESAN, Marcel R., MAFIOLETTI, Marco A. The Didacts Bench for the Study of Operational Amplifiers. 91 leaves. TCC Industrial Automation Course, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2012

The Didacts Bench for the Study of Operational Amplifiers has as its primary focus to help students while disciplines involving applied electronics. Developed entirely with simple circuits, routine use during the classes, such circuits would take many lessons to be assembled, while using the workbench. you can further study of each of the settings of the amplifiers.

Keywords: operational amplifier, discipline, circuits and bench.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Amplificador Operacional Ideal	18
Figura 2 - Terminais Amp. Op 741	19
Figura 3 - Amp. Op. com realimentação negativa	20
Figura 4 - Amp. Op. Inversor	23
Figura 5 - Amp. Op. Não-Inversor	24
Figura 6 - Amp. Op. Somador Inversor	25
Figura 7 - Amp. Op. Diferenciador ou Subtrator	26
Figura 8 - Resposta Amp. Op. Comparador	28
Figura 9 - Simbologia adotada para cada uma das funções	31
Figura 10 - Filtro passa-baixa de ganho unitário	32
Figura 11 - Filtro passa-baixa de segunda ordem	33
Figura 12 - Filtro passa-alta de primeira ordem	34
Figura 13 - Filtro passa-alta de segunda ordem	34
Figura 14 - Fonte simétrica	36
Figura 15 - Gerador de Onda Quadrada	37
Figura 16 - Gerador de Onda Triangular	38
Figura 17 - Gerador de Onda Senoidal	39
Figura 18 - Gerador de Onda Dente de Serra	40
Figura 19 - Layout bancada didática para estudo dos amplificadores operacionais ..	44
Figura 20 - Amp. Op. Inversor	46
Figura 21 - Amp. Op. Não Inversor	46
Figura 22 - Amp. Op. Somador	47
Figura 23 - Amp. Op. Subtrator	48
Figura 24 - Amp. Op. Comparador	48
Figura 25 - Amp. Op. Buffer	49
Figura 26 - Filtro Passa-Baixa	50
Figura 27 - Filtro Passa-Alta	51
Figura 28 - Filtro Passa-Baixa	52
Figura 29 - Filtro Rejeita-Faixa	53
Figura 30 - Amp. Op. de Instrumentação	54

Figura 31 - Amplificador de áudio com Amp. Op.....	55
Figura 32 - Fonte Simétrica.....	56
Figura 33 - Geradores Onda Senoidal	57
Figura 34 - Gerador de Onda Quadrada.....	58
Figura 35 - Gerador de Onda Triangular	59
Figura 36 - Gerador de Onda Dente de Serra	60
Figura 37 - Processo de montagem da parte interna da bancada	61
Figura 38 - Topos de invólucros	65
Figura 39 - Pinagem Amp. Op. TL084 – Texas Instruments	66
Figura 40 - Esquema Fonte Simétrica.....	68
Figura 41 - Amp. Op. Comparador	69
Figura 42 - Amp. Op. Inversor	71
Figura 43 - Amp. Op. Não Inversor.....	73
Figura 44 - Amp. Op. Buffer	74
Figura 45 - Amp. Op. Somador	75
Figura 46 - Amp. Op. Subtrator	76
Figura 47 - Amp. OP. de Instrumentação	77
Figura 48 - Amplificador de Áudio.....	79
Figura 49 - Gerador de Onda Quadrada.....	80
Figura 50 - Gerador de Onda Triangular	81
Figura 51 - Gerador de Onda Senoidal.....	82
Figura 52 - Gerador de Onda Dente de Serra	84
Figura 53 - Filtro Passa-Baixa	85
Figura 54 - Filtro Passa-Alta	86
Figura 55 - Filtro Passa-Faixa	87
Figura 56 - Filtro Rejeita-Faixa	89
Figura 57 - Tampa frontal da bancada ainda em construção.....	89
Figura 58 - Fundo da Bancada ainda em construção.....	90
Figura 59 - Fundo da Bancada com as placas	90
Figura 60 - Placas sendo confeccionadas.....	91
Figura 61 – Vista frontal bancada pronta.....	91

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Relação de instrumentos utilizados nos ensaios com o gerador de indução.....	41
Tabela 1 - Lista material utilizado para a confecção da bancada didática.	42
Quadro 2 - Prefixos de fabricantes.....	67

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Amp. Op.	Amplificador Operacional.
A_v	Ganho unitário
B	Resposta de Frequência
C.C	Corrente Continua
CI	Circuito Integrado
C_x	Calculo de Capacitância Amplificador de Áudio
°C	Grau Celsius
f	Frequência
GND	Ground (terra)
Hz	Hertz
K	Constante
ln	Logaritmo Natural
π	Pi
S_e	Tensão de OffSet
R_1	Resistências geral
RC	Resistencia Capacitiva
R_f	Resistências de referência
R_i	Resistencia de Entrada
R_x	Calculo de Resistencia Amplificador de Áudio
T	formula 09
V-	Tensão Negativa
V	Volts
V+	Tensão Positiva
V_f	Tensão de Referencia
V_i	Tensão entrada
V_o	Tensão de saída
V_p	Tensão de pico
V_s	Tensão de saída
- VCC	Fonte de Alimentação Negativa
+ VCC	Fonte de Alimentação Positiva
$+V_{sat}$	Tensão de Saturação Positiva
$-V_{sat}$	Tensão de Saturação Negativa
Z_{if}	Impedância de Entrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS.....	17
2.1 PINAGEM.....	18
2.2 CIRCUITOS BÁSICOS COM AMP. OP	19
2.2.1 Amplificador com realimentação negativa	20
2.2.2 Amplificador com realimentação positiva.....	21
2.2.3 Conceito de terra virtual	21
2.3 CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS	21
2.3.1 Slew-Rate (SR).....	21
2.3.2 Rise-Time (Tempo De Subida)	22
2.3.3 Overshoot	22
2.4 O AMPLIFICADOR INVERSOR	23
2.5 O AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR	24
2.6 AMPLIFICADOR SOMADOR INVERSOR	24
2.7 AMPLIFICADOR DIFERENCIADOR OU SUBTRATOR	25
2.8 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO.....	27
2.9 O AMPLIFICADOR COMPARADOR	27
2.10 BUFFER.....	28
2.11 FILTROS ATIVOS	29
2.11.1 Definição.....	29
2.12 FILTROS PASSA BAIXA.....	31
2.12.1 Primeira Ordem.....	31
2.12.2 Segunda Ordem.....	32
2.13 FILTROS PASSA-ALTA	33
2.13.1 Primeira Ordem.....	33
2.13.2 Segunda Ordem.....	34
2.13.3 Filtros de ordem superior a segunda	35
2.14 FILTROS PASSA-FAIXA.....	35
2.15 FILTROS REJEITA-FAIXA.....	35
2.17 FONTE SIMÉTRICA.....	36
2.18 GERADOR DE ONDA QUADRADA	36
2.19 GERADOR DE ONDA TRIANGULAR.....	37

2.20 GERADOR DE ONDA SENOIDAL.....	38
2.21 GERADOR DE ONDA DENTE-DE-SERRA.....	39
3 – MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS.....	41
4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA	43
4.1 CIRCUITOS	45
4.1.1 Amplificador Operacional Inversor	45
4.1.2 Amplificador Operacional Não-Inversor	46
4.1.3 Amplificador Operacional Somador	47
4.1.4 Amplificador Operacional Subtrator	47
4.1.5 Amplificador Operacional Comparador	48
4.1.6 Amplificador Operacional Buffer	48
4.1.7 Filtro Passa-Baixa.....	49
4.1.8 Filtro Passa-Alta.....	50
4.1.9 Filtro Passa-Faixa	51
4.1.10 Filtro Rejeita-Faixa.....	52
4.1.11 Amplificador de Instrumentação.....	53
4.1.12 Amplificador de Áudio	54
4.1.13 Fonte Simétrica.....	55
4.1.14 Gerador Onda Senoidal	56
4.1.15 Gerador Onda Quadrada.....	57
4.1.16 Gerador Onda Triangular.....	58
4.1.17 Gerador Onda Dente de Serra.....	59
4.2 MONTAGEM.....	60
4.3 UTILIZAÇÃO DA BANCADA	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICES	64
1 MANUAL DE UTILIZAÇÃO DA BANCADA DIDÁTICA COM	
AMPLIFICADORES OPERACIONAIS	65
2 IDENTIFICAÇÃO DO CIRCUITO.....	67
3 PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA UTILIZAÇÃO DO AMP. OP.....	68

4	EXPERIÊNCIA 1	69
5	EXPERIÊNCIA 2	70
6	EXPERIÊNCIA 3	72
7	EXPERIÊNCIA 4	73
8	EXPERIÊNCIA 5	74
9	EXPERIÊNCIA 6	75
10	EXPERIÊNCIA 7	77
11	EXPERIÊNCIA 8	78
12	EXPERIÊNCIA 9	79
13	EXPERIÊNCIA 10	80
14	EXPERIÊNCIA 11	82
15	EXPERIÊNCIA 12	83
16	EXPERIÊNCIA 13	84
17	EXPERIÊNCIA 14	85
18	EXPERIÊNCIA 15	87
19	EXPERIÊNCIA 16	88

1 INTRODUÇÃO

Bancada Didática para Estudo dos Amplificadores Operacionais desenvolvida para auxílio de alunos de engenharias, durante disciplinas envolvendo eletrônica analógica. É uma bancada que envolve os principais circuitos utilizando amplificadores operacionais, como: amplificador somador, subtrator, diferenciador, comparador, entre outros. Também possui juntamente aos amplificadores os geradores de onda (senoidal, quadrada, triangular e dente de serra), os filtros ativos (passa-alta, passa-baixa, passa-faixa e rejeita-faixa), um circuito testador de CI, um amplificador de instrumentação, um amplificador de áudio e uma fonte simétrica ajustável.

No decorrer deste trabalho vê-se o estudo e o desenvolvimento prático de cada um dos amplificadores acima citados.

Este trabalho tem por objetivo principal desenvolver uma bancada didática para auxílio em atividades práticas envolvendo amplificadores operacionais. Como objetivos específicos têm-se:

- ✓ Projetar os circuitos geradores de sinais, onda senoidal, quadrada, triangular, dente de serra e C.C.
- ✓ Projetar os circuitos modificadores de sinais, somador, subtrator e comparador.
- ✓ Projetar os circuitos amplificadores, inversor, não inversor e buffer.
- ✓ Projetar os circuitos de filtros ativos passa alta, passa baixa, passa faixa e rejeita faixa.
- ✓ Projetar um amplificador de áudio na saída para apresentação do sinal.
- ✓ Implementar todos os circuitos, desenvolvendo seus respectivos esquemáticos e placas de circuito impresso.
- ✓ Desenvolver o layout da bancada.
- ✓ Desenvolver um manual de práticas que podem ser desenvolvidas na bancada.

2 AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

Definem-se como “amplificadores operacionais” (Amp. Op.) determinados amplificadores capazes de efetuar a ampliação do sinal de entrada em sua totalidade, amplificando tanto uma componente contínua como a alternada do mesmo sinal, e que tem como característica principal aproximar-se de um amplificador ideal de alto ganho (FIGINI, 2002).

O Amplificador Operacional é um amplificador CC (coletor comum) multiestágio com entrada diferencial (PERTENCE, 2003). O Amp. Op. recebeu esta denominação pelo fato de ter sido utilizado inicialmente para executar operações matemáticas em computação analógica, tais como: somar, subtrair, integrar e diferenciar (GRUITTER, 1988), mas o seu emprego está além destas operações matemáticas. O Amp. Op. é também utilizado em circuitos de regulagem e instrumentação, para efetuar ampliações, filtros ativos, conversores, entre outros (FIGINI, 2002).

O Amp. Op. é um amplificador de CC linear, com elevado ganho de tensão e que usa externamente uma realimentação para controlar suas operações. Idealmente o Amp. Op. deve responder apenas à tensão diferencial aplicada entre os terminais de entrada (GRUITTER, 1988).

O Amp. Op. pode ser executado com elementos discretos (transistores, diodos, resistores), mas, é quase exclusivo o uso de circuitos integrados, encontrando em um único recipiente, com tamanho limitado, baixo custo e confiabilidade (FIGINI, 2002).

Segundo Pertence (2003) as características ideais do Amp. Op. são:

- ✓ Resistência de entrada infinita;
- ✓ Resistência de saída nula;
- ✓ Ganho de tensão infinito;
- ✓ Resposta de frequência infinita;
- ✓ Insensibilidade à temperatura;

A simbologia do Amp. Op. costuma-se ser um triângulo (Figura 1), apontado no sentido do fluxo do sinal. Na base do triângulo apresentam os dois terminais diferenciais de entrada e no ápice, o terminal único de saída (GRUITTER, 1988).

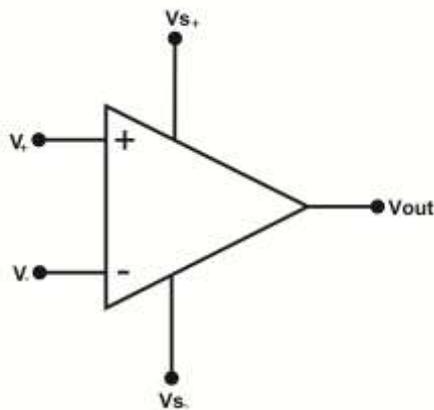


Figura 1 - Amplificador Operacional Ideal
 Fonte: GRUITTER, página 02 (1988)

O Amp. Op. como circuito integrado obteve bastante aceitação devido a versatilidade e a economia no sistema de construção de blocos. Oferece todas as vantagens de um sistema integrado monolítico: tamanho pequeno, alta confiabilidade, custo reduzido, temperatura equalizada, pequena tensão e corrente de deslocamento (*off-set*) (MILMAN e HALKIAS, 1981).

2.1 PINAGEM

O Amp. Op. é um dispositivo com dois terminais de entrada denominados V_+ e V_- ou não-inversor e inversor respectivamente, o dispositivo também é ligado a uma fonte de alimentação CC ($+V_s$ e $-V_s$) (EDMINISTER, 2003).

O primeiro terminal de entrada não provoca a inversão do sinal de entrada, ou seja, o sinal positivo de entrada se torna ainda mais positivo, enquanto o sinal de saída positivo também se torna mais positivo, no caso de um sinal senoidal não se tem defasagem entre entrada e saída (identificado pelo sinal +). O segundo terminal provoca a inversão do sinal de entrada, ou seja, se o sinal de entrada se torna mais positivo, o sinal de saída se tornará mais negativo, se o sinal for senoidal, tem-se um defasamento de 180° entre o sinal de entrada e o de saída (identificado pelo sinal -) (FIGINI, 2002).

Conforme citou Pertence (2003) os Amp. Ops. possuem ao menos 8 terminais como demonstrado na Figura 2.

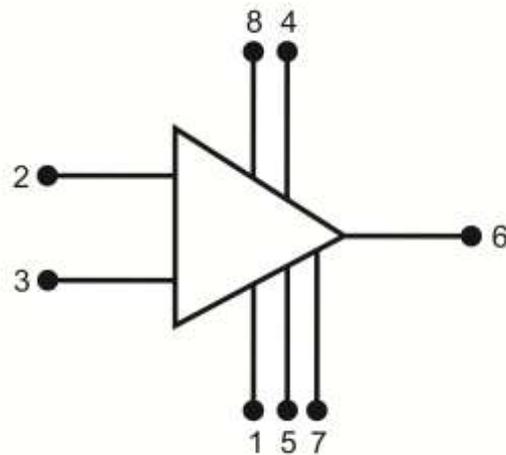


Figura 2 - Terminais Amp. Op 741
 Fonte: PERTENCE, página 19 (2003)

Segundo Pertence, (2003) a descrição dos terminais é a seguinte:

- ✓ 1 e 5 - são destinados ao balanceamento do Amp. Op. (ajuste de tensão de Offset.);
- ✓ 2 – entrada inversora;
- ✓ 3 – entrada não-inversora;
- ✓ 4 – alimentação negativa (-3V a -18V);
- ✓ 7 – alimentação positiva (+3V a +18V);
- ✓ 6 – saída;
- ✓ 8 – não possui nenhuma conexão;

Os terminais 1 e 5 também são conhecidos como terminais de compensação e podem ser ligados a circuitos auxiliares destinados a compensar uma degradação do desempenho devido a um envelhecimento ou imperfeição do circuito. Entretanto, essa degradação na maioria dos casos é insignificante, por isso, na maioria das vezes esses terminais de compensação não são utilizados e desempenham um papel secundário na análise de circuitos (NILSSON e RIEDEL, 2003).

2.2 CIRCUITOS BÁSICOS COM AMP. OP

2.2.1 Amplificador com realimentação negativa

Em um circuito com realimentação negativa, a saída é amostrada e parte dela é levada de volta para a entrada. Realimentação negativa significa que o sinal que retorna tem uma fase oposta ao sinal de entrada. As vantagens da realimentação negativa são: ganho estável, menor distorção e uma maior resposta de frequência (MALVINO, 1997). Onde o terminal de saída é religado ao terminal de entrada do Amp. Op., sendo assim subtraído do sinal de entrada. A realimentação negativa faz com que a diferença entre a tensão de entrada diminua. Como o sinal de saída é a diferença entre os sinais de entrada, conseqüentemente com realimentação negativa o sinal de saída também diminui, fazendo com que o Amp. Op. permaneça na região linear (NILSSON e RIEDEL, 2003).

Esse modo de operação também pode ser considerado uma operação em malha fechada, cujo ganho de tensão pode ser manipulado (PERTENCE, 2003).

Pode-se observar na figura 3 que a entrada não-inversora é aterrada, sendo o sinal aplicado à entrada inversora através de uma resistência R1 com realimentação da saída para a entrada por uma resistência R2 (GRUITTER, 1988).

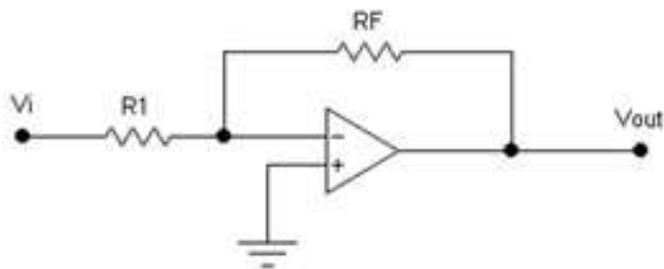


Figura 3 - Amp. Op. com realimentação negativa
Fonte: PERTENCE, página 30 (2003)

Em um sistema com realimentação negativa têm-se as seguintes vantagens (PERTENCE, 2003):

- ✓ Controle do ganho;
- ✓ A impedância de entrada é aumentada consideravelmente no Amp. Op. pela utilização da realimentação negativa.
- ✓ A impedância de saída decresce no Amp. Op. com a utilização da realimentação de saída.

2.2.2 Amplificador com realimentação positiva

Também conhecido como operação em malha fechada, tem por característica conduzir o circuito à instabilidade. Uma aplicação prática de realimentação positiva são os circuitos osciladores. Para realizar a realimentação positiva é necessário ligar o sinal de saída na porta não inversora, através de um resistor de realimentação. Neste modo o Amp. Op. não trabalha como amplificador, pois sua resposta é não linear (PERTENCE, 2003).

2.2.3 Conceito de terra virtual

Curto circuito ou terra virtual é um circuito que apresenta em sua entrada uma resistência R_1 infinita, que quando colocado entre os terminais inversor e não-inversor, possui, uma realimentação negativa através de R_2 . A impedância infinita de entrada impede que se tenha corrente penetrando nos terminais inversores e não-inversores do Amp. Op (PERTENCE, 2003).

As correntes de entrada são chamadas correntes de polarização, pois elas estão relacionadas com os transistores presente no estágio diferencial do Amp. Op (PERTENCE, 2003).

É importante ressaltar que os circuitos Amp. Op. em malha aberta ou com realimentação positiva não apresentam as propriedades de curto-circuito ou terra virtual. Em outras palavras, tais circuitos não operam como amplificadores lineares (PERTENCE, 2003).

2.3 CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS

2.3.1 Slew-Rate (SR)

Define-se SR de um amplificador como sendo a taxa máxima de variação da tensão de saída por unidade de tempo, normalmente é dado por $V/\mu s$. Em termos

gerais, podemos dizer que o valor do SR dá a velocidade de resposta do Amp. Op. Quanto maior o SR melhor será o Amp. Op. (PERTENCE, 2003).

Parâmetro fornecido pelo fabricante definido como a velocidade com que a saída do Amp. Op. responde a uma variação de entrada, ou uma resposta de tempo (GRUITTER, 1988). O SR sendo um limitador de tensão e frequência pode-se determinar uma frequência máxima possível para uma tensão máxima de saída (GRUITTER, 1988).

Segundo Pertence (2003), o valor de SR é dado pela equação 01.

$$f = \frac{SR}{2\pi V_p} \quad (01)$$

Onde V_p é a amplitude máxima ou valor de pico do sinal.

2.3.2 Rise-Time (Tempo De Subida)

Característica importante dos Amp. Ops. é chamado de rise-time ou tempo de subida. É o tempo gasto pelo sinal de saída para variar de 10 a 90% do valor final (PERTENCE, 2003).

Representa-se rise-time por T_r , o valor típico do rise-time pode variar de acordo com o fabricante, segundo Pertence (2003) o LM741 possui um rise-time de 0,3 μ s. Já o TL084 conforme o datasheet do fabricante Texas Instruments possui um rise-time de 0,1 μ s.

O que determina este valor do rise-time, é uma rede de atraso, a qual é o modelo equivalente do circuito interno do Amp. Op. quando se aplica ao mesmo um trem de pulsos de frequências relativamente altas (PERTENCE, 2003).

2.3.3 Overshoot

Chamado de overshoot ou sobrepassagem representa o quanto à tensão de saída foi ultrapassada durante a resposta transitória, antes de a saída atingir seu estado permanente. O overshoot é um sinal prejudicial ao Amp. Op. se trabalhado com sinais de baixo nível (PERTENCE, 2003).

2.4 O AMPLIFICADOR INVERSOR

Denominação dada ao Amp. Op. pelo fato de que o sinal de saída estará defasado em 180° em relação ao sinal de entrada. A figura 4 apresenta a configuração padrão do Inversor (PERTENCE, 2003).

Em um estágio de alto ganho, deve-se utilizar um Amp. Op. de alto ganho em malha aberta para que o ganho em malha fechada se aproxime do ideal (GRUITTER, 1988). A equação 02 comprova a controlabilidade do ganho através da realimentação negativa (PERTENCE, 2003).

$$A_{vf} = \frac{V_0}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (02)$$

Uma desvantagem do Amp. Op. é que valor da impedância de entrada é definida pelo valor da resistência de entrada, obtido através da equação 03 (PERTENCE, 2003).

$$Z_{if} \cong R_1 \quad (03)$$

No Amp. Op. inversor, o responsável pela realimentação é o resistor que liga o terminal de saída ao terminal de entrada. Se este resistor for removido, a realimentação deixa de existir e então pode-se dizer que o Amp. Op. está trabalhando em malha aberta (NILSSON e RIEDEL, 2003).

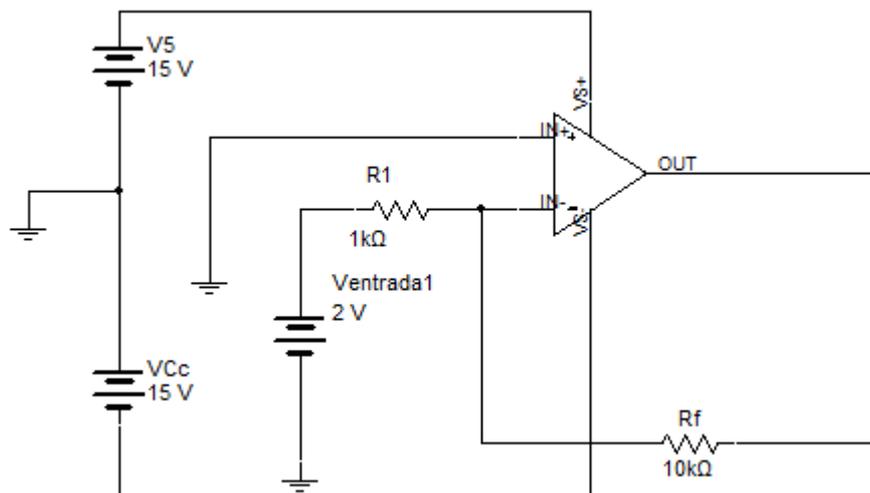


Figura 4 - Amp. Op. Inversor
Fonte: Autoria Autoria Própria

2.5 O AMPLIFICADOR NÃO-INVERSOR

O amplificador não-inversor não possui defasagem no sinal de saída, portanto, o amplificador não-inversor possui uma alta impedância de entrada, onde o ganho em malha fechada pode ser controlado pela realimentação negativa, a figura 5 expressa a configuração padrão do não-inversor (PERTENCE, 2003).

A fim de examinar os efeitos sobre a configuração não-inversora, coloca-se a fonte de excitação em curto, como fator de realimentação e, é determinado do mesmo modo que no amplificador inversor (GRUITTER, 1988).

Assim como no Amp. Op. com inversor, o não-inversor também tem seu ganho controlado pela realimentação negativa, como pode ser visto na equação 04 (PERTENCE, 2003).

$$A_{vf} = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_f}{R_1} \quad (04)$$

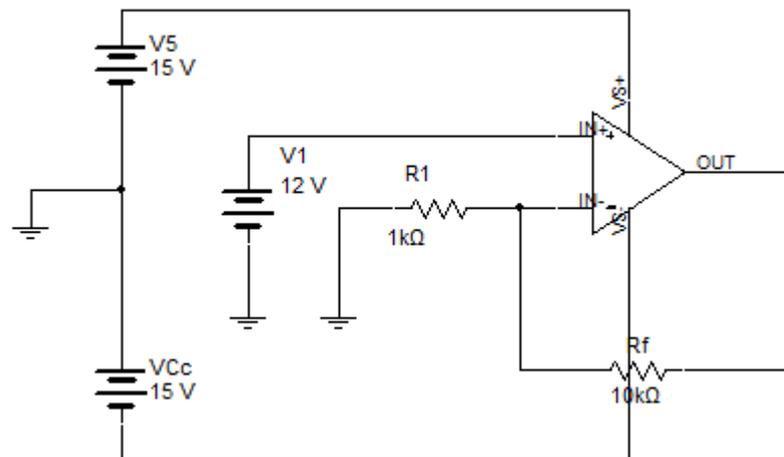


Figura 5 - Amp. Op. Não-Inversor
Fonte: Autoria Própria

2.6 AMPLIFICADOR SOMADOR INVERSOR

A equação da tensão de saída (V_o) do somador inversor é definida pela equação 05.

$$V_o = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right) \quad (05)$$

A tensão de saída de um circuito com Amp. Op. somador, é a soma das tensões de entrada, invertida e multiplicada por um fator de escala (NILSSON e RIEDEL, 2003).

Na existência de duas impedâncias de entradas constituídas de resistências simples, o Amp. Op. efetuará a multiplicação do sinal de entrada por uma constante K , com o sinal trocado. Se ambas as resistências possuírem o sinal igual, ter-se-á uma multiplicação por -1 . Assim, tem-se uma impedância de saída baixa constituída pela impedância do amplificador, enquanto na entrada tem-se uma impedância relativamente alta, constituída pelas resistências. Então considerando as resistências com valores iguais, o Amp. Op. efetuará a soma delas e multiplicará pelo valor da constante K , conforme se vê na figura 6 (FIGINI, 2002).

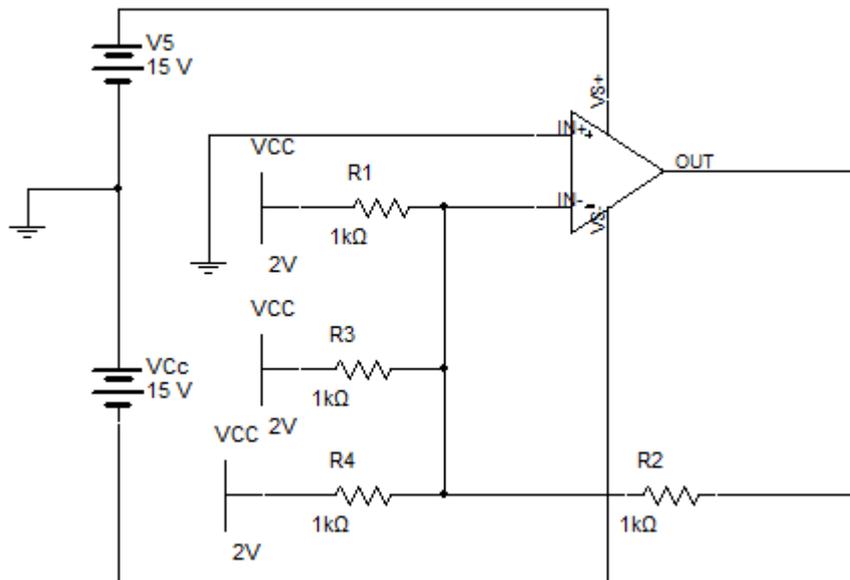


Figura 6 - Amp. Op. Somador Inversor
Fonte: Autoria Própria

2.7 AMPLIFICADOR DIFERENCIADOR OU SUBTRATOR

Amp. Op. subtrator possui uma saída igual à diferença entre os sinais aplicados na entrada, multiplicado por um ganho (PERTENCE, 2003). Geralmente utilizado em medidas físicas onde são necessárias respostas de frequência que vão

desde c.c. até vários mega-hertz (MILMAN e HALKIAS, 1981). A tensão de saída (V_o) do amplificador subtrator é calculada através da equação 06 vista a seguir.

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \quad (06)$$

Pode-se também definir o Amp. Op. diferenciador de dois modos, o modo diferencial: em que a tensão representa a diferença entre os dois valores de entrada, e também o modo comum: em que a tensão é a média aritmética dos dois valores de entrada. Um Amp. Op. ideal tem por característica trabalhar com o modo diferencial, pois, no modo comum seu ganho é igual a zero. Na prática o ganho em modo comum não é exatamente zero, pois existem dois fatores que influenciam este ganho: o deslocamento de impedâncias e o comportamento não-ideal do Amp. Op. (NILSSON e RIEDEL, 2003).

Um exemplo de aplicação do Amp. Op. diferenciador (figura 7) é que quando for aplicado um sinal triangular simétrico na entrada do diferenciador, sua saída apresentara um sinal retangular, pois o sinal triangular pode ser visto como um conjunto de rampas ascendentes e descendentes. Aplicando um sinal retangular na entrada do diferenciador, tem-se em sua saída pulsos agudos (spikes) (PERTENCE, 2003).

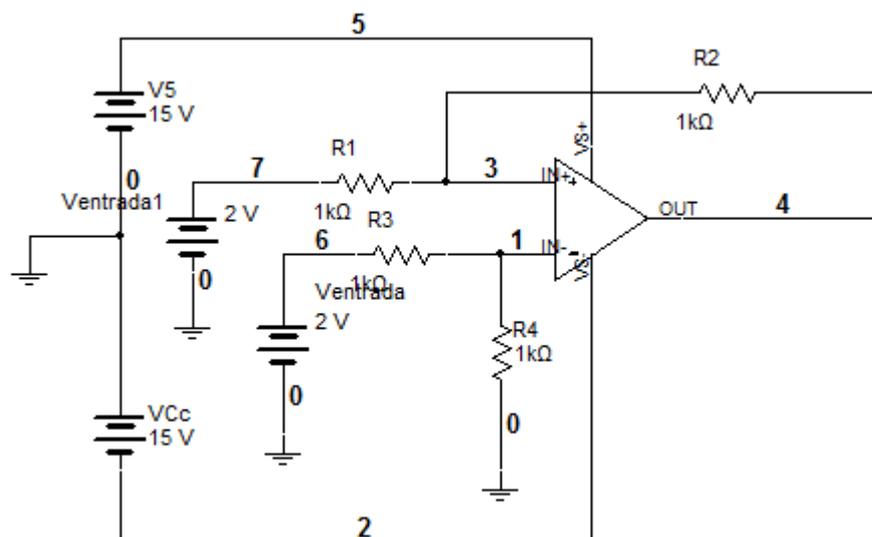


Figura 7 - Amp. Op. Diferenciador ou Subtrator
Fonte: Autoria Própria

2.8 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

Segundo Pertence (2003) o amplificador de instrumentação é uma configuração especial, pois é possível obter algumas características especiais como resistência de entrada elevada, resistência de saída menor que dos amplificadores comuns e tensão de entrada baixa.

O amplificador de instrumentação rejeita todos os sinais de modo comum, o que resulta ter um fator de rejeição infinito, este fator é de grande importância, pois os sinais costumam vir da conversão de grandeza física para sinal elétrico, estes sinais elétricos geralmente são de nível baixo, e possuem uma tensão elevada de modo comum além da tensão diferencial que interessa (GRUITTER, 1988). A equação de saída do amplificador de instrumentação é definida pela equação 07.

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_2}{R_f}\right)(V_2 - V_1) \quad (07)$$

As aplicações do amplificador de instrumentação exigem alta precisão (PERTENCE, 2003), podem-se citar como exemplos transdutores, termopares, termistores (GRUITTER, 1988).

2.9 O AMPLIFICADOR COMPARADOR

Em muitos casos, existe uma necessidade de comparar sinais, de tal forma em que um destes sinais seja uma referencia preestabelecida pelo projetista de acordo com a figura 8. Os comparadores produzem saídas sob a forma de pulsos em função do sinal aplicado, assim, o sinal de saída esta sempre em um valor alto, denominado saturação positiva (+V_{sat}), ou num valor baixo, denominado saturação negativa (-V_{sat}) (PERTENCE, 2003).

A equação geral para se determinar a tensão de saída de um comparador segundo Pertence (2003) é dada pela equação 08.

$$V_s = A(V_+ - V_-) \quad (08)$$

A operação do comparador se dá a seguinte forma: o alto ganho do Amp. Op. em malha aberta amplifica a diferença entre o sinal da porta inversora e não-inversora e leva a saída para $+V_{sat}$ ou $-V_{sat}$ conforme essa diferença seja positiva ou negativa respectivamente (PERTENCE, 2003).

Quando a diferença da entrada inversora para a não-inversora for negativa, a saída vai para $+V_{sat}$, e quando esta operação for positiva a saída vai para $-V_{sat}$ (Figura 4).

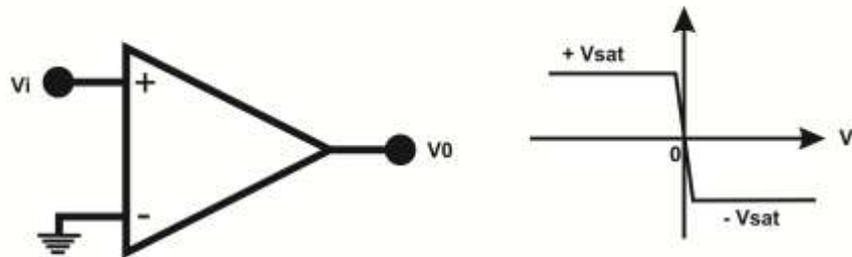


Figura 8 - Resposta Amp. Op. Comparador
Fonte: Autoria Própria

2.10 BUFFER

Segundo GRUITTER, (1988) trata-se de um Amp. Op. não-inversor com ganho unitário. Representado como um curto virtual torna-se fácil perceber a funcionalidade do buffer (também conhecido como seguidor de tensão), e, como aplicações podem ser citadas:

- a) Acoplamento de um estágio de alta impedância de saída a um de baixa impedância de entrada.
- b) Isolação de dois estágios, sem alterar o sinal entre eles.

Estas aplicações resultam das propriedades do seguidor de tensão, tais como:

- a) Ganho unitário de tensão, sem inversão de fase ou de polaridade.
- b) Elevada impedância de entrada.
- c) Baixa impedância de saída.

Dos circuitos com Amp. Op., o seguidor de tensão é o que mais se aproxima de um Amp. OP. ideal, em termos de impedância de entrada e de saída. Em alguns casos o Amp. Op. BUFFER pode receber um sinal através de uma resistência em série, colocada no terminal não-inversor. Neste caso, para se ter um balanceamento do ganho e das correntes, é utilizado um resistor de mesmo valor na realimentação (PERTENCE, 2003).

Uma aplicação prática do BUFFER no casamento de impedâncias de saída de um gerador de sinal com amplificador de baixa impedância de entrada, quando o valor do sinal de entrada for relativamente alto, não há a necessidade do resistor na realimentação, pois o valor do erro gerado pelo desbalanceamento não será apreciável (PERTENCE, 2003).

2.11 FILTROS ATIVOS

2.11.1 Definição

Define-se filtro como um quadripolo capaz de atenuar determinadas frequências do sinal de entrada, deixando passar as demais (PERTENCE, 2003).

Comumente os Amp. Ops. baseiam-se em elementos passivos: resistores, capacitores e indutores. Porém existem aplicações nas quais os filtros ativos (utilizam amplificadores operacionais) podem apresentar vantagens sobre os filtros passivos (NILSSON e RIEDEL, 2003).

Os filtros ativos possuem uma série de vantagens em relação aos filtros passivos:

- ✓ Eliminação de indutores;
- ✓ Facilidade de projeto de filtros complexos através da associação em cascata em estágio simples;
- ✓ Possibilidade de se obter grande amplificação do sinal de entrada, principalmente quando este sinal for muito baixo;
- ✓ Grande flexibilidade em projetos (PERTENCE, 2003).

Existem também as desvantagens dos filtros ativos:

- ✓ Necessidade de fonte de alimentação para os componentes ativos;

✓ A resposta de frequência depende do Amp. Op. utilizado (GRUITTER, 1988).

Os filtros ativos podem ser classificados de modo semelhante aos passivos. Há, portanto, os filtros passa-baixa, passa-alta, passa-faixa e rejeita-faixa. Além disso, pode haver um filtro com a faixa muito larga, deixando assim passar todas as frequências e variando apenas o sinal de saída em relação ao sinal de entrada, o qual pode também ser chamado de defasador ou ajuste de fase (GRUITTER, 1988).

Filtros passa-baixa (PB): só permitem a passagem de frequências abaixo de uma frequência determinada, denominada frequência de corte (PERTENCE, 2003).

Filtros passa-alta (PA): só permitem a passagem de frequências acima da frequência de corte (PERTENCE, 2003).

Filtros passa-faixa (PF): só permitem a passagem de frequências que se encontram entre a frequência de corte superior e frequência de corte inferior. As frequências situadas acima ou abaixo das frequências de corte são atenuadas (PERTENCE, 2003).

Filtros rejeita-faixa (RF): só permitem a passagem de frequências que se encontra acima ou abaixo da frequência de corte, a faixa de frequência delimitada pela frequência de corte é atenuada (PERTENCE, 2003).

Na figura 9, tem-se a simbologia adotada para cada uma das funções dos filtros ativos citados acima (PERTENCE, 2003).

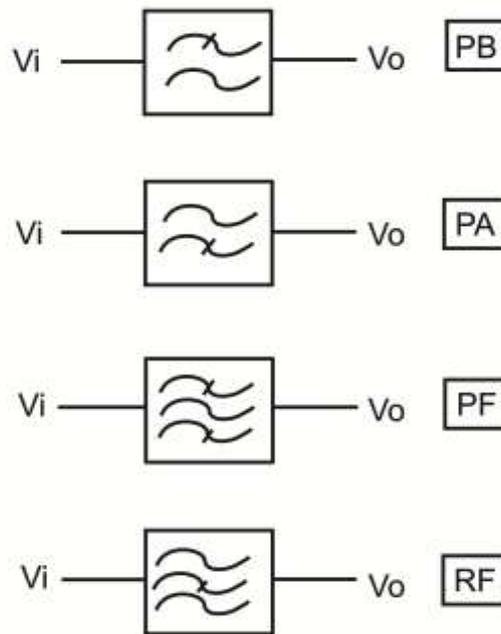


Figura 9 - Simbologia adotada para cada uma das funções
 Fonte: Autoria Própria

2.12 FILTROS PASSA BAIXA

2.12.1 Primeira Ordem

Basicamente um circuito RC ligado a entrada não-inversora de um Amp. Op., projetado para ter um ganho unitário e conectado como um seguidor de tensão. Pode-se também ligar o Amp. Op. com qualquer amplificador pela porta não-inversora com o ganho > 1 . É importante utilizar a configuração não-inversora devido a elevada impedância de entrada (GRUITTER, 1988).

Considera-se um filtro passa-baixa de primeira ordem quando a frequência de corte varia apenas com a impedância do capacitor. Onde em frequências muito baixas o capacitor se comporta como um circuito aberto, e o Amp. Op. se comporta como um amplificador de ganho R_2/R_1 . Em frequências muito altas o capacitor

funciona como um curto-circuito e a saída de tensão do Amp. Op. é zero (NILSSON e RIEDEL, 2003).

A figura 10 apresenta um filtro passa-baixa com ganho unitário e de inclinação de até -20 dB/década após a frequência de corte (GRUITTER, 1988).

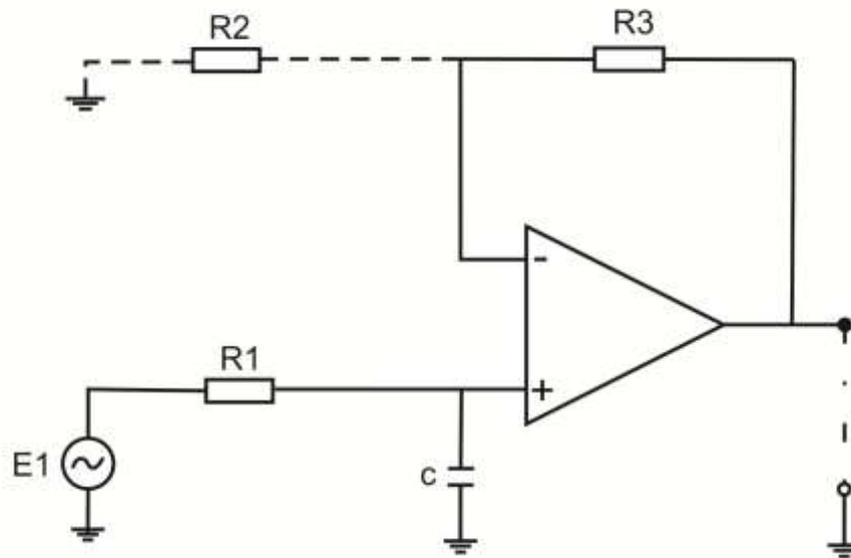


Figura 10 - Filtro passa-baixa de ganho unitário
Fonte: Autoria Própria

2.12.2 Segunda Ordem

Para obter uma inclinação de -40 dB/década, após a frequência de corte superior deve-se incluir um segundo circuito RC de atraso em cascata com o anterior. O efeito pode se dar de duas formas: ligando dois circuitos de primeira ordem em cascata, ou construir um circuito específico com dois RC e um Amp. Op., como mostra a figura 11 (GRUITTER, 1988).

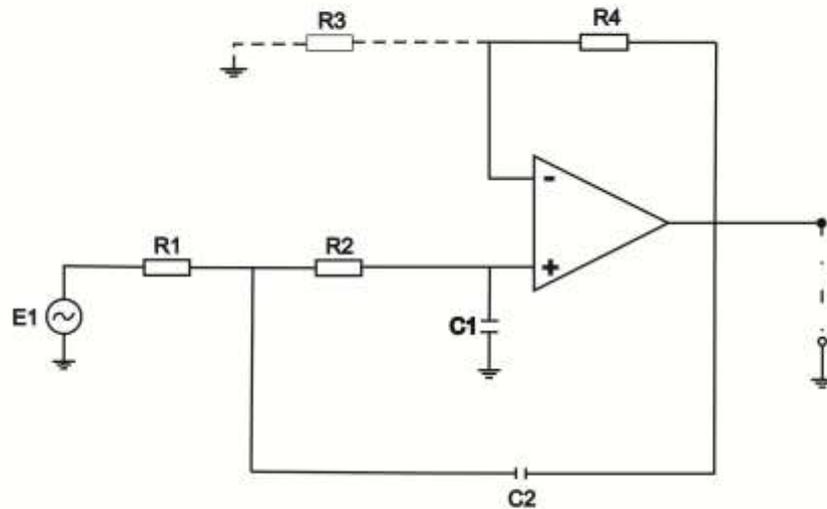


Figura 11 - Filtro passa-baixa de segunda ordem
Fonte: Autoria Própria

Neste caso o ganho na faixa de passagem não poderá ser unitário, devendo ter um valor específico para que realmente funcione. O ganho do circuito depende da sua ordem n , assim para ter um valor específico devem-se ajustar os valores dos resistores (GRUITTER, 1988).

2.13 FILTROS PASSA-ALTA

2.13.1 Primeira Ordem

Para se obter um filtro passa-alta, basta intercombinar os resistores e capacitores em cada sessão do filtro, onde os resistores e capacitores são responsáveis pela frequência de corte. Também tem-se um divisor de tensão na entrada não-inversora do Amp. Op. com elemento resistivo (GRUITTER, 1988).

A figura 12 mostra um filtro passa-alta de primeira ordem com ganho unitário (GRUITTER, 1988).

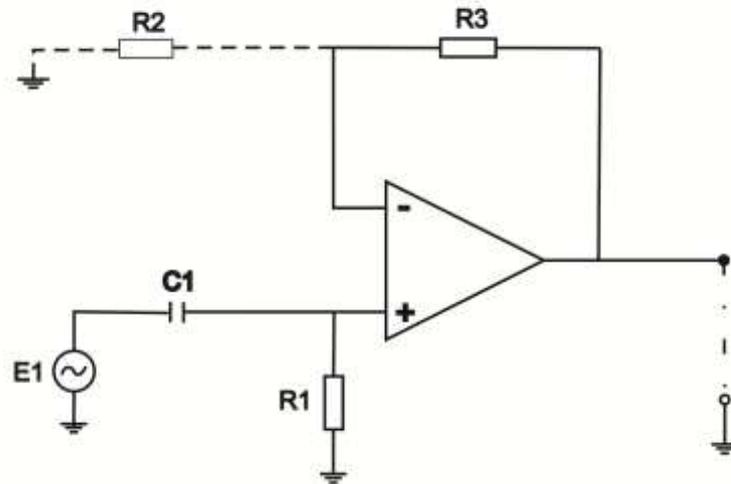


Figura 12 - Filtro passa-alta de primeira ordem
Fonte: Autoria Própria

2.13.2 Segunda Ordem

Como o filtro passa-alta de primeira ordem, basta inverter os capacitores e resistores determinantes da frequência de corte conforme mostrado na figura 13 (GRUITTER, 1988).

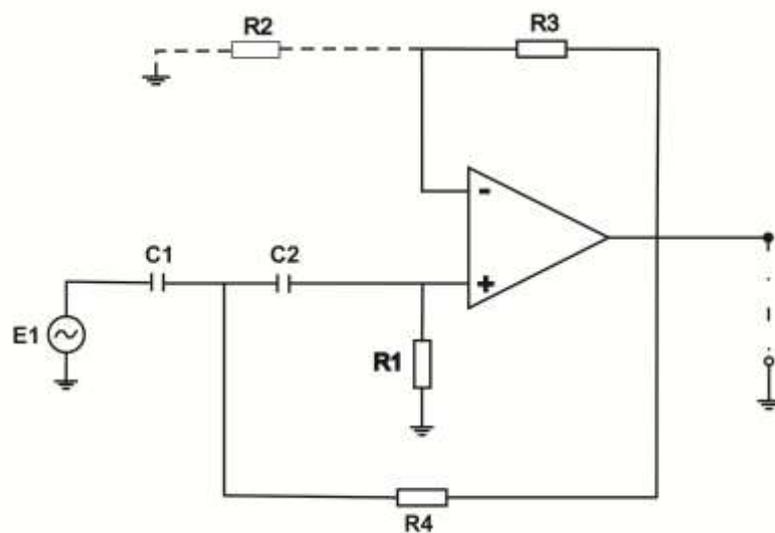


Figura 13 - Filtro passa-alta de segunda ordem
Fonte: Autoria Própria

2.13.3 Filtros de ordem superior a segunda

Associado em cascata os filtros passa-baixa e passa-alta de segunda ordem podem obter filtros de ordem superior. Por exemplo, se associados três estágios de filtros passa-baixa de segunda ordem, tem-se um filtro de sexta ordem, já um de quinta ordem pode-se associar dois estágios de segunda ordem e um estágio de primeira ordem (PERTENCE, 2003).

Cada estágio deve ser projetado como um estágio único, assim, o ganho de uma associação em cascata é dado pelo produto dos ganhos (PERTENCE, 2003).

2.14 FILTROS PASSA-FAIXA

São filtros que deixam passar frequências que se enquadram dentro de uma faixa delimitadas por duas frequências de corte. O valor para uma frequência central é dada pela media aritmética entre as frequências de corte superior e inferior. Em geral para a construção de um filtro passa-faixa, basta ligar um filtro passa-baixa em cascata com um passa-alta (GRUITTER, 1988).

Esta forma de criação dos filtros passa-faixa por associação de passa-baixa em cascata com passa-alta é uma solução alternativa, principalmente para filtros de ordem superior a segunda, pois não apresenta boa precisão em suas respostas (PERTENCE, 2003).

2.15 FILTROS REJEITA-FAIXA

Também conhecido como elimina-faixa. O filtro rejeita-faixa faz com que as frequências entre as de corte sejam eliminadas, deixando passar as demais. Existem dois tipos de rejeita-faixa: o de rejeição larga e o de rejeição estreita (GRUITTER, 1988).

Os filtros de rejeição larga podem ser obtidos com a associação de um passa-baixa e um passa-alta nas duas entradas de um circuito somador com ganho unitário. As duas entradas do filtro devem ser ligados a um comum (GRUITTER, 1988).

Os filtros de rejeição estreita são filtros com configurações Autoria Próprias, uma das configurações mais usadas é a em forma de T duplo, de grande utilização na eliminação de frequências indesejáveis (GRUITTER, 1988).

2.17 FONTE SIMÉTRICA

Normalmente os amplificadores são projetados para alimentação simétrica, normalmente 15 Volts, quando não se dispõe de uma fonte simétrica é possível improvisar com fonte simples, mas de qualquer modo o ponto comum será o terra, ou seja, todas as tensões presentes no terminal do amplificador terá como referência esse ponto comum das fontes. Na figura 14 vê-se o esquema de uma fonte simétrica (PERTENCE, 2003).

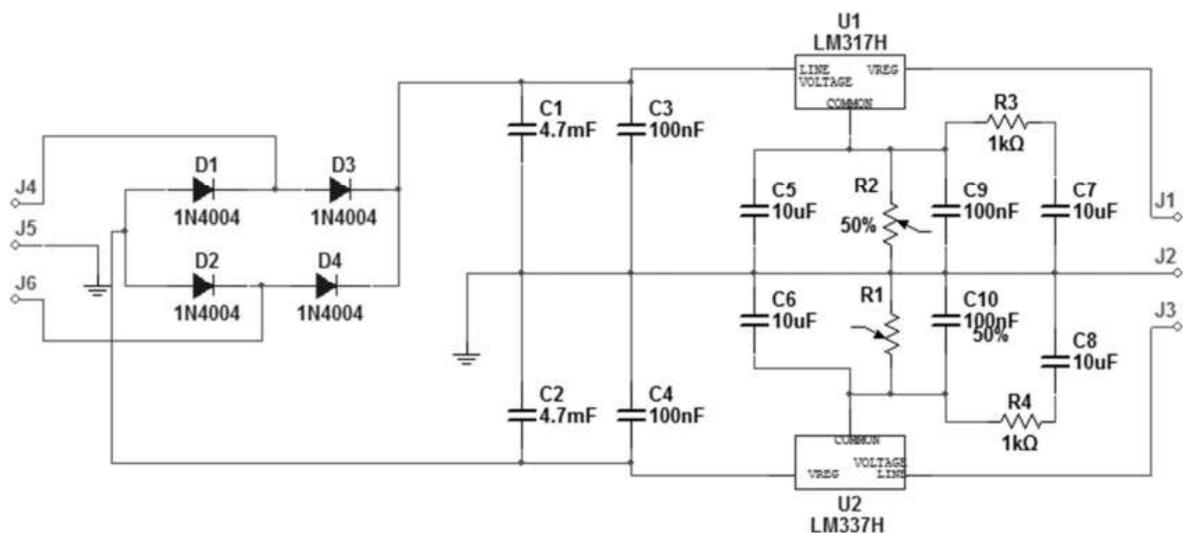


Figura 14 - Fonte simétrica
Fonte: Autoria Própria

2.18 GERADOR DE ONDA QUADRADA

Multivibrador astável como também é conhecido, consiste em um circuito que apresenta apenas dois sinais, alto ou baixo, produzindo um trem de pulsos com uma determinada frequência, o circuito básico do gerador de onda quadrada com

amplificador necessita apenas de um capacitor e três resistores externos, visto na figura 15 (PERTENCE, 2003). A frequência de saída pode ser calculada pela equação 10.

$$T = \frac{1}{f} = 2R_1C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_3}\right) \quad (\ln \text{ indica log natural}) \quad (10)$$

Segundo GRUITTER (1988) a amplitude do gerador de onda quadrada varia entre $+V_{sat}$ e $-V_{sat}$, (tensão de alimentação), portanto a amplitude do sinal pode ser reduzida através da redução no valor da tensão de alimentação, o circuito oscilador de onda quadrada de forma geral são suficientemente bons para serem usados na geração de sinais com frequência entre 10 Hz e 10 kHz.

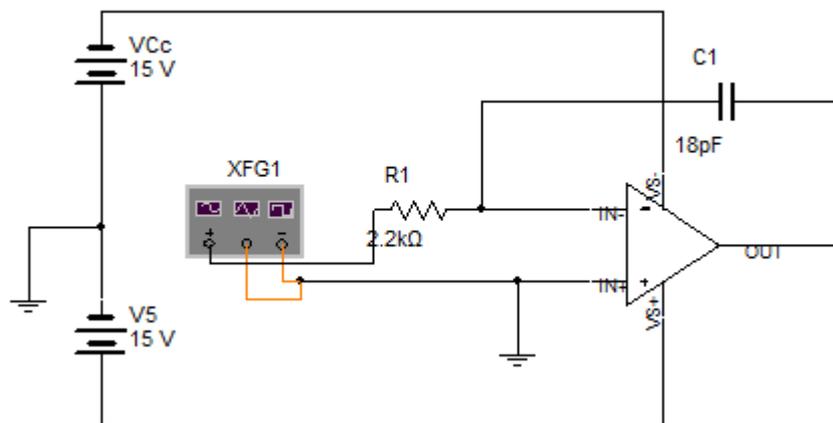


Figura 15 - Gerador de Onda Quadrada
Fonte: Autoria Própria

2.19 GERADOR DE ONDA TRIANGULAR

O gerador de onda triangular é uma continuação do gerador de onda quadrada, observando o oscilador de onda quadrada, sobre o capacitor na entrada do amplificador operacional era gerada uma tensão triangular, porém com rampas formadas exponencialmente e não linearmente, então caso conseguisse fazer fluir correntes constantes pelo capacitor, poder-se-ia obter uma rampa linear (GRUITTER, 1988).

A equação abaixo mostra como calcular a amplitude de pico a pico, já que a frequência depende da saída do oscilador de onda quadrada.

$$V_o = \frac{V_i}{4 \cdot f \cdot R_1 \cdot C} \quad (11)$$

Segundo GRUITTER (1988) o oscilador de onda triangular (Figura 16) é dividido em dois blocos, o primeiro é formado de um circuito comparador de tensão não inversor com histerese, enquanto o segundo bloco representa um amplificador integrador inversor.

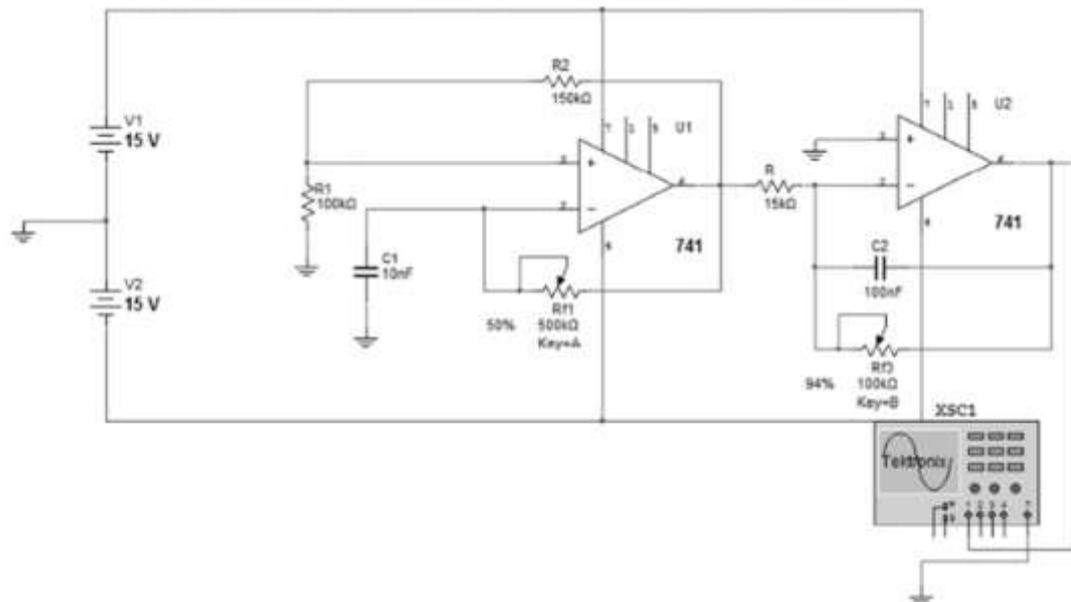


Figura 16 - Gerador de Onda Triangular
Fonte: Autoria Própria

2.20 GERADOR DE ONDA SENOIDAL

Uma aplicação não linear do amplificador operacional é o gerador de onda senoidal. Existem diversas formas de se gerar ondas senoidais, todas elas, entretanto, utilizam sinais de ruído gerados internamente, combinados a um circuito com realimentação positiva. Isto devido ao fato de que parte do sinal de saída, ser

realimentado de modo que na frequência de oscilação se tenha máxima amplitude do sinal realimentado. (GRUITTER, 1988).

Segundo Pertence (2003) para que o circuito tenha oscilação perfeita o ganho do amplificador gerador de onda senoidal deve ser igual a três. A frequência de oscilação (f_0) pode ser calculada por.

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \quad (11)$$

Normalmente é utilizado na saída do oscilador de onda senoidal um seguidor de tensão ou *buffer*, este procedimento protege o circuito contra possíveis sobrecargas da saída e possibilita a alimentação de cargas com baixa impedância de entrada (Figura 17) (PERTENCE, 2003).

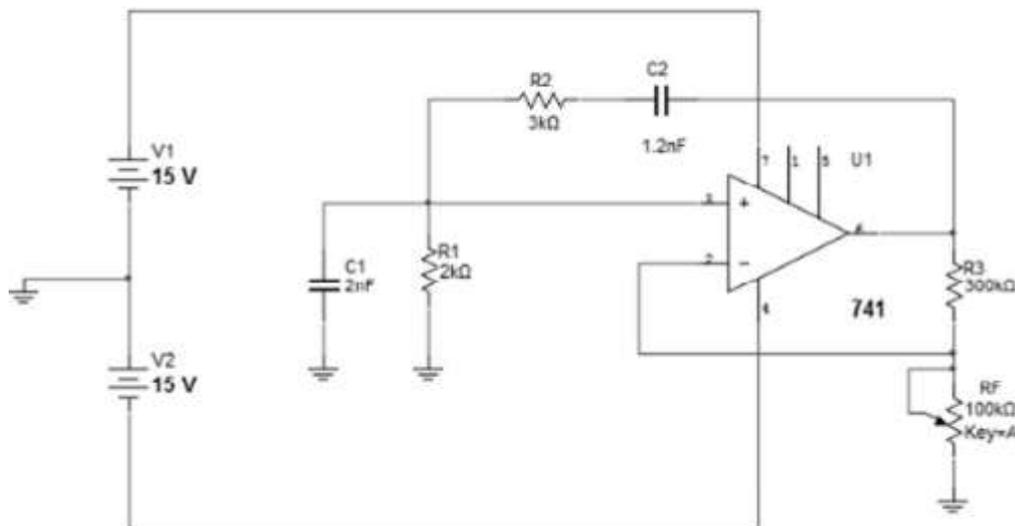


Figura 17 - Gerador de Onda Senoidal
Fonte: Autoria Própria

2.21 GERADOR DE ONDA DENTE-DE-SERRA

Em varias aplicações praticas torna-se preciso a utilização de um sinal tipo dente-de-serra (Figura 18). Assim por exemplo, para se obter uma imagem do sinal de entrada aplicada ao canal vertical de um osciloscópio é necessário aplicar um

sinal de varredura (sinal dente-de-serra) no canal horizontal simultaneamente. Este sinal é fornecido por uma parte do circuito do osciloscópio e o ajuste da frequência é feito através do controle externo. (PERTENCE, 2003).

Segundo Pertence (2003) o funcionamento do circuito começa quando a tensão de entrada negativa produz uma rampa positiva na saída do mesmo, durante o tempo no qual a rampa esta sendo produzida, o circuito atua como um integrador. A frequência do sinal e definida pela constante de tempo RC, a equação abaixo apresenta o calculo para o período T.

$$T = \frac{(V_p - V_f) \cdot RC}{|V_i|} \quad (13)$$

As tensões V_p e V_i são oriundas da tensão de alimentação do amplificador e, é interessante ressaltar que sendo a frequência do sinal em função de tensão de entrada V_i , o circuito se comporta como um tipo de conversor tensão-frequência, ou até mesmo um controlador por tensão (PERTENCE, 2003).

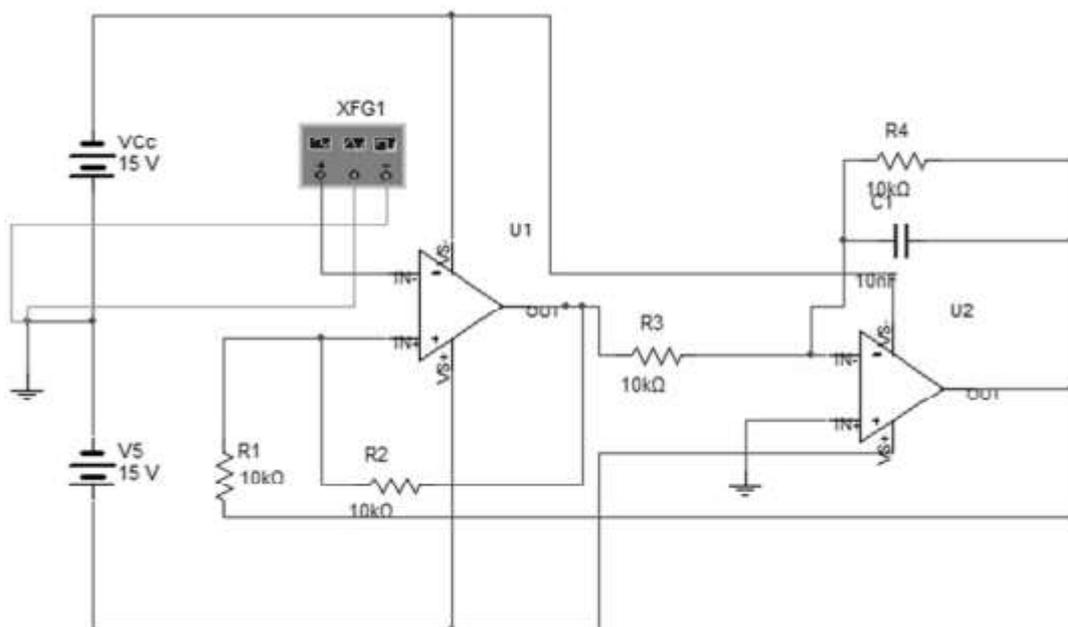


Figura 18 - Gerador de Onda Dente de Serra
Fonte: Autoria Própria

3 – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

Para o desenvolvimento do projeto da bancada didática com amplificadores operacionais, foram utilizados diversos equipamentos adquiridos nos laboratórios de eletrônica da UTFPR Câmpus Pato Branco. Como pode ser observado no quadro 1 a lista dos instrumentos utilizados.

Quadro 1 - Relação de instrumentos utilizados nos ensaios com o gerador de indução

INSTRUMENTO	DADOS DO INSTRUMENTO
Multímetro digital	Fabricante: Icel Tipo: Multímetro digital Modelo: MD-6110
Osciloscópio digital	Fabricante: Icel Tipo: Osciloscópio digital Modelo: OS-2042C
Estação de solda	Fabricante: Toyo Tipo: Estação de solda Modelo: TS-940
Estação de re-trabalho SMD	Fabricante: Toyo Tipo: Estação de re-trabalho SMD Modelo: TS-850
Furadeira	Fabricante: Makita Tipo: Furadeira Modelo: HR2450
Mircro-retífica	Fabricante: Black & Decker Tipo: Micro-retífica Modelo: TS-850
Fonte Ajustável	Fabricante: Icel Tipo: Fonte Ajustável Modelo: PS4000

Quadro 01 - Relação de instrumentos utilizados nos ensaios com o gerador de indução

Fonte: Autoria Própria

Na tabela 1, tem-se a lista de material utilizado em cada placa da bancada.

Tabela 1 - Lista material utilizado para a confecção da bancada didática.

Material	Quant.
RESISTOR 330 OHMS	3,00
RESISTOR 330K	2,00
RESISTOR 470K	2,00
RESISTOR 1K	10,00
RESISTOR 10K	10,00
RESISTOR 4K7	5,00
RESISTOR 2K2	4,00
CAPACITOR 1uF	3,00
CAPACITOR 10uF	3,00
CAPACITOR 1Nf	4,00
CAPACITOR 100Nf	4,00
CAPACITOR 47nF	2,00
CAPACITOR 470nF	3,00
LEDS AMARELOS	5,00
POTENCIÔMETRO 1K	2,00
POTENCIÔMETRO 10K	2,00
POTENCIÔMETRO 5K	2,00
SOQUETE PARA CI 8 PINOS	35,00
SOQUETE PARA CI 14 PINOS	35,00
CI AMPLIFICADOR OPERACIONAL 741	19,00
CI AMPLIFICADOR OPERACIONAL TL084	19,00
TRANSISTOR LM 317	1,00
TRANSISTOR LM 337	1,00
PLACA EM MDF	1,00
TRAFO 16V 1 Ah	1,00
CHAPAS DE FIBRA DE VIDRO	15,00
JUMPER FEMEA-FEMEA PARA PROTOBOARD	140,00
JUMPER MACHO-MACHO PARA PROTOBOARD	75,00
ALTO-FALANTE 4 ohms	1,00

4 DESENVOLVIMENTO DA BANCADA

Foi realizado o desenvolvimento de uma bancada didática para estudo dos amplificadores operacionais. A partir desta descrição é possível conhecer os dispositivos utilizados na bancada como também o total conhecimento de aplicação e utilização da mesma.

Bancada desenvolvida com plataforma para aceitar ao menos dois modelos de Amp. Op., como por exemplo, o TL084 e o LM741, fazendo assim com que o aluno possa escolher qual amplificador se adapta melhor ao seu projeto.

A figura 19 mostra como os amplificadores e demais componentes estarão dispostos na bancada, a qual foi desenvolvida em MDF (Medium Density Fiberboard - Fibra de Média Densidade), material resistente e de baixo custo.

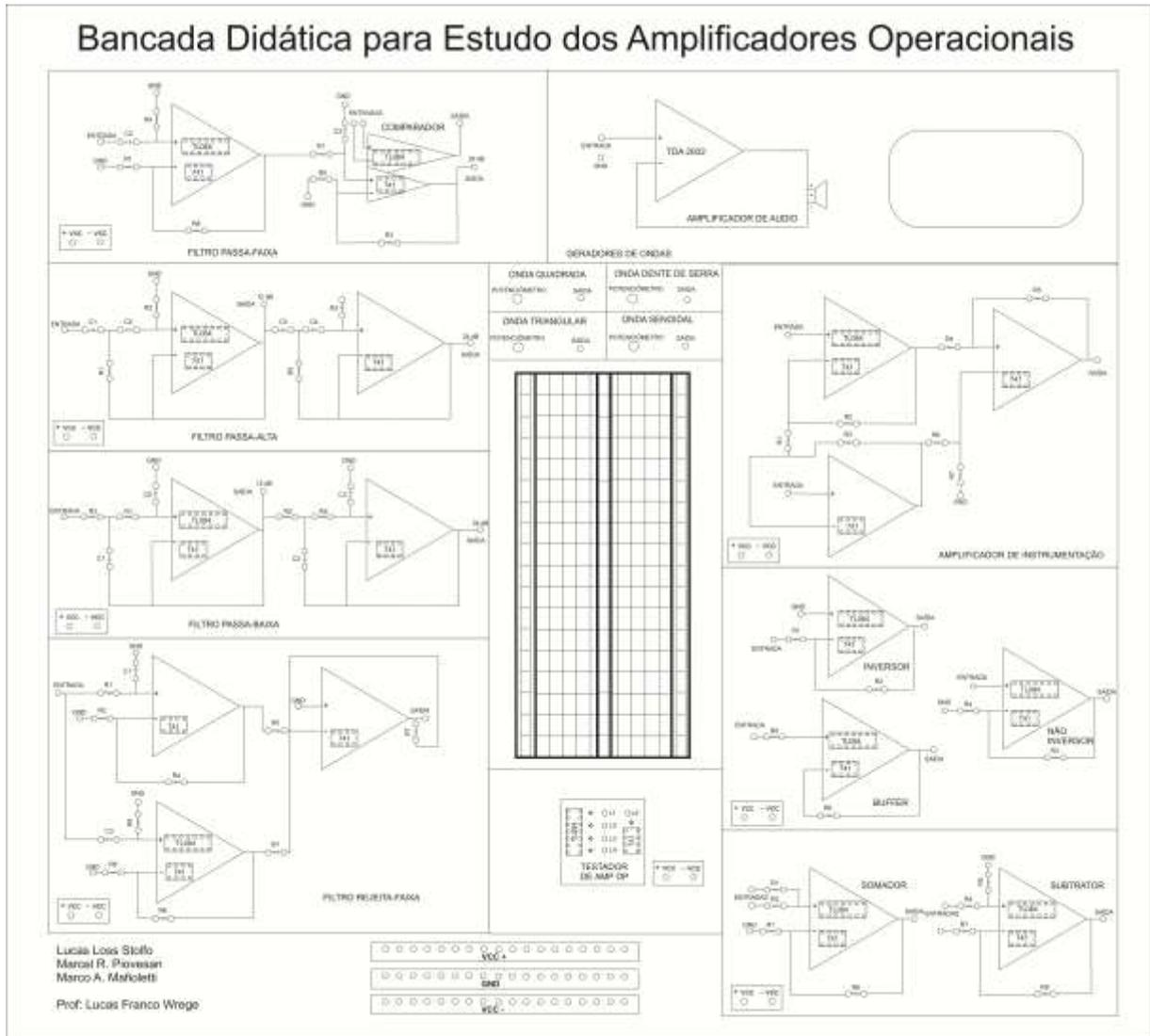


Figura 19 - Layout bancada didática para estudo dos amplificadores operacionais
 Fonte: Autoria Própria

Em cada placa foi desenvolvido ao menos um circuito utilizando o Amp. Op. com o objetivo de auxiliar o aluno durante suas aulas praticas. Alguns circuitos ficarão montados e disponíveis para utilizar, como por exemplo, os geradores de ondas, a fonte simétrica, o testador de Amp. Op. e o amplificador de instrumentação, já os demais circuitos estarão montados, mas com parte de sua configuração disponível para o aluno determinar qual será o ganho ou então para qual frequência ele vai querer que um dos filtros atue.

Antes de serem montadas fisicamente as placas contendo os Amp. Ops. foram feitas diversas simulações utilizando uma versão demo do software Multisim 11.0 da *National Instruments*.

Com as simulações feitas e todos os circuitos já funcionando em protoboard, foi então feito o roteamento das placas em um software em sua versão gratuita, chamado *Eagle da CadSoft*.

As placas foram prototipadas em chapas de fibra de vidro, por ser um material mais resistente e de melhor qualidade que o tradicional felonite.

4.1 CIRCUITOS

Para o desenvolvimento dos circuitos foram utilizados dois modelos de Amp. Op. Primeiramente foram desenvolvidas todas as placas com o Amp. Op. 741, pelo fato de ser de baixo custo e comercialmente fácil de encontrar. Posteriormente utilizou-se o TL084 também de comercialização fácil, mas com algumas características específicas melhoradas em relação ao 741, e também pelo fato de um único CI possuir 4 Amp. Ops. internamente.

Para realização das simulações e esquemáticos em todos os circuitos foi utilizado um Amp. Op. genérico, o qual representa tanto o Amp. Op. 741 quanto o TL084 ou então outros quaisquer modelos de Amp. Op.

Em todos os circuitos, foram ligados as alimentações VCC +15 Volts e VCC - 15 Volts, conforme o datasheet de cada Amp. Op.

4.1.1 Amplificador Operacional Inversor

No Amp. Op. Inversor foi inserido na entrada inversora um resistor R1 e um resistor Rf ligando a inversora na realimentação do circuito. Na entrada inversora ainda há uma tensão de alimentação (exemplo + 2 volts). A entrada não inversora foi ligada ao GND. Na figura 20 tem-se o esquemático do Amp. Op. inversor.

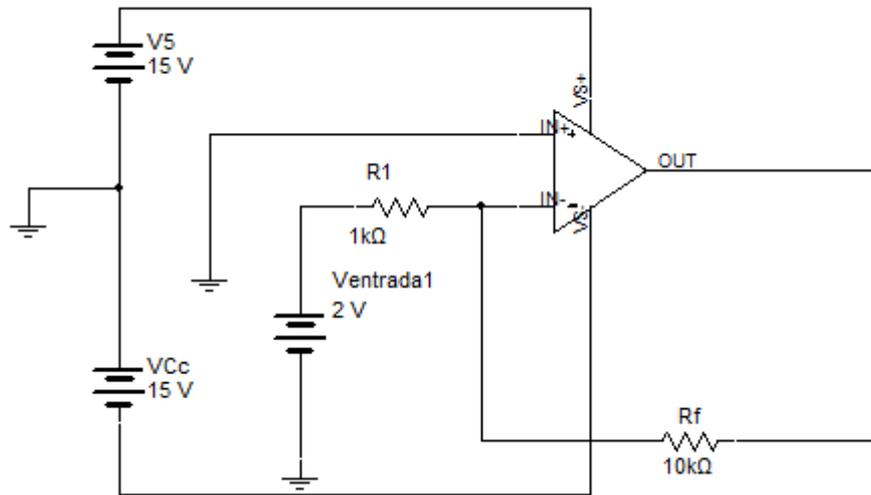


Figura 20 - Amp. Op. Inversor
Fonte: Autoria Própria

4.1.2 Amplificador Operacional Não-Inversor

No Amp. Op. Não-Inversor foi inserido na entrada inversora um resistor R1 e um resistor Rf ligando a inversora na realimentação do circuito. Na entrada inversora também ligada ao GND. A entrada não inversora foi ligada uma tensão (exemplo + 12 volts). Na figura 21 tem-se o esquemático do Amp. Op. não inversor.

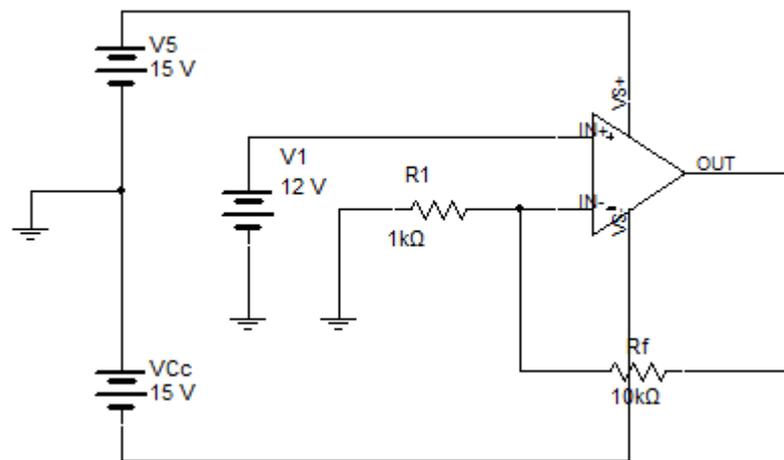


Figura 21 - Amp. Op. Não Inversor
Fonte: Autoria Própria

4.1.3 Amplificador Operacional Somador

No Amp. Op. Somador foi inserido na entrada inversora três tensões seguidas de resistores. Na entrada inversora também tem um quarto resistor que faz a realimentação do circuito. A entrada não inversora foi ligada ao GND. Tem como objetivo somar as três tensões de entrada.

Na figura 22 tem-se o esquemático do Amp. Op. Somador.

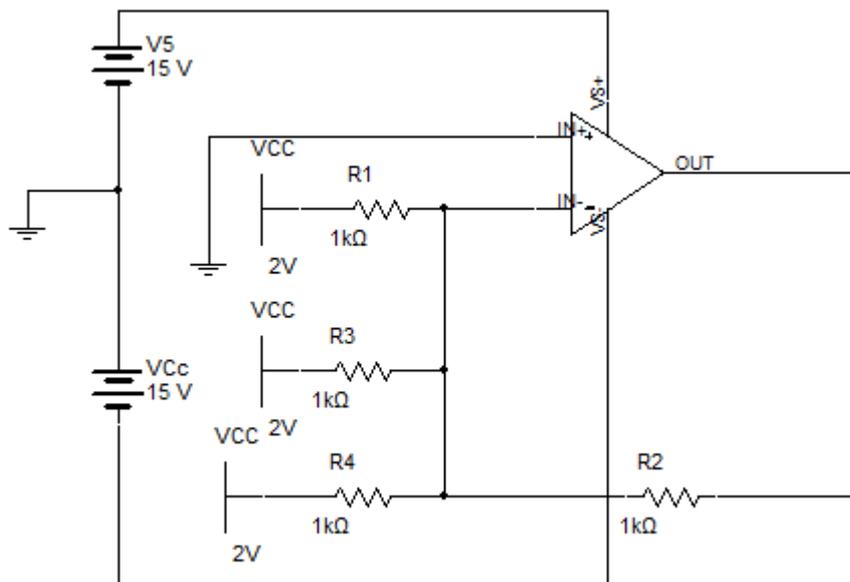


Figura 22 - Amp. Op. Somador
Fonte: Autoria Própria

4.1.4 Amplificador Operacional Subtrator

Entrada não inversora ligada na junção de dois resistores em série, um deles ligado a uma fonte de tensão (exemplo 2V) e o outro ligado ao GND. A porta inversora também ligada a junção de dois resistores, um deles ligados a uma fonte de tensão (exemplo 4V) e o outro forma a realimentação do circuito conforme visto na figura 14.

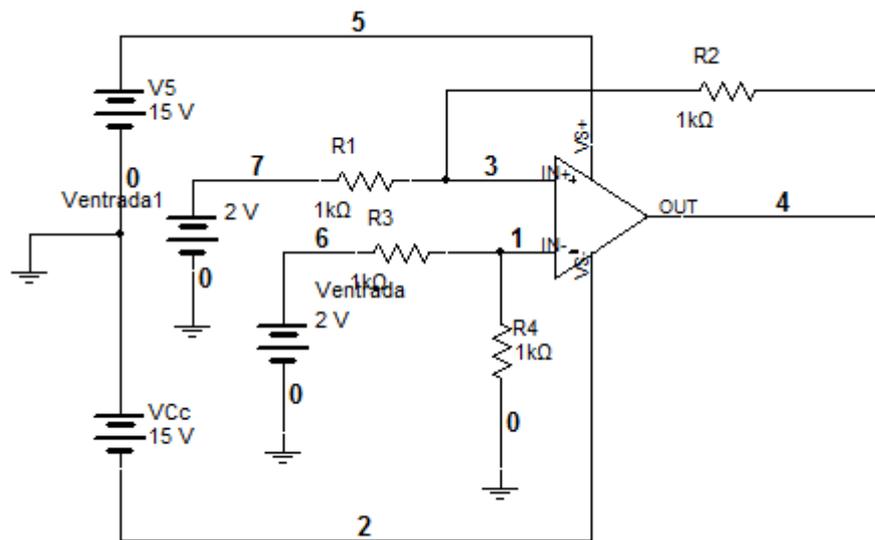


Figura 23 - Amp. Op. Subtrator
Fonte: Autoria Própria

4.1.5 Amplificador Operacional Comparador

Amp. Op. Comparador apenas tem duas fontes de tensão ligadas as entradas inversoras e não inversoras fazendo um comparativo entre as mesmas, conforme visto na figura 24.

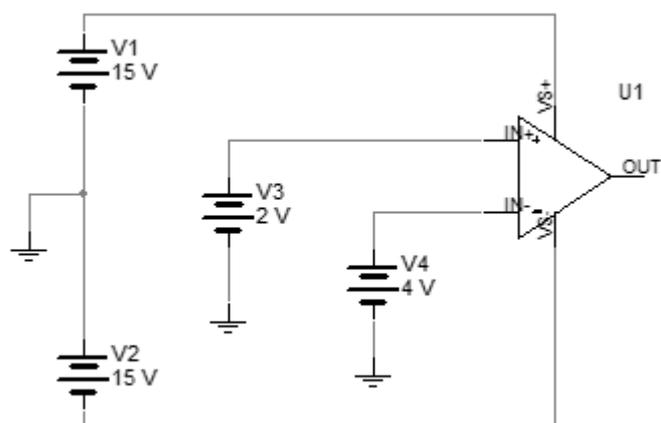


Figura 24 - Amp. Op. Comparador
Fonte: Autoria Própria

4.1.6 Amplificador Operacional Buffer

Também conhecido como seguidor de tensão, foi adicionado um resistor na entrada não inversora, e este ligado a uma fonte de tensão (exemplo 2V) como pode ser visto na figura 25. A porta inversora foi ligada a um segundo resistor e este ligado a saída do circuito fazendo a realimentação.

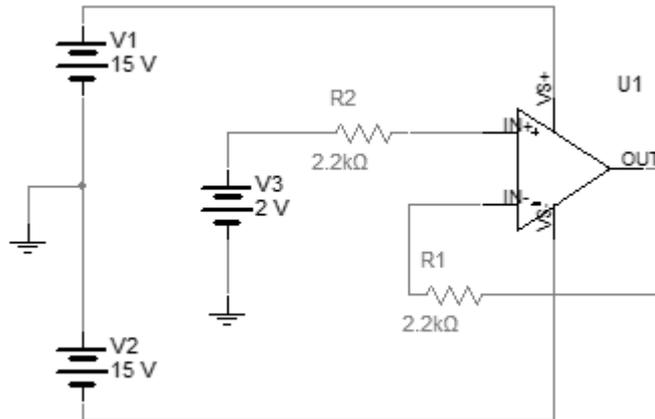


Figura 25 - Amp. Op. Buffer
Fonte: Autoria Própria

4.1.7 Filtro Passa-Baixa

A porta não inversora do filtro passa-baixa foi ligada ao GND. Na porta inversora do Amp. OP. foi ligada uma tensão (exemplo + 12 volts) e um resistor e um capacitor em paralelo para fazer a realimentação.

Na figura 26 tem-se o esquemático do Amp. Op. não inversor.

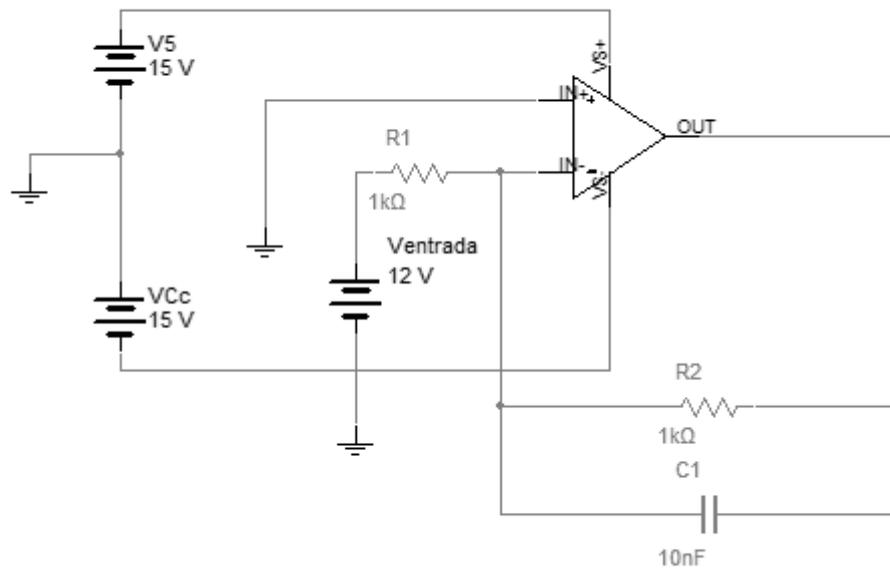


Figura 26 - Filtro Passa-Baixa
Fonte: Autoria Própria

4.1.8 Filtro Passa-Alta

A porta não inversora do filtro passa-alta foi ligada a dois capacitores em série e um resistor em paralelo e o mesmo ligado ao GND. No terminal de entrada do capacitor C1 tem-se uma fonte de alimentação de corrente alternada, ou então um gerador de função jogando uma onda senoidal ao circuito. Na figura 27 tem-se o esquemático do circuito já com a fonte de tensão na entrada dos capacitores liberando uma tensão de pico de 1V em uma frequência de 100 Hz. Já na porta inversora temos um resistor que é ligado em paralelo aos dois capacitores da porta não inversora, este mesmo resistor esta fazendo a realimentação do circuito.

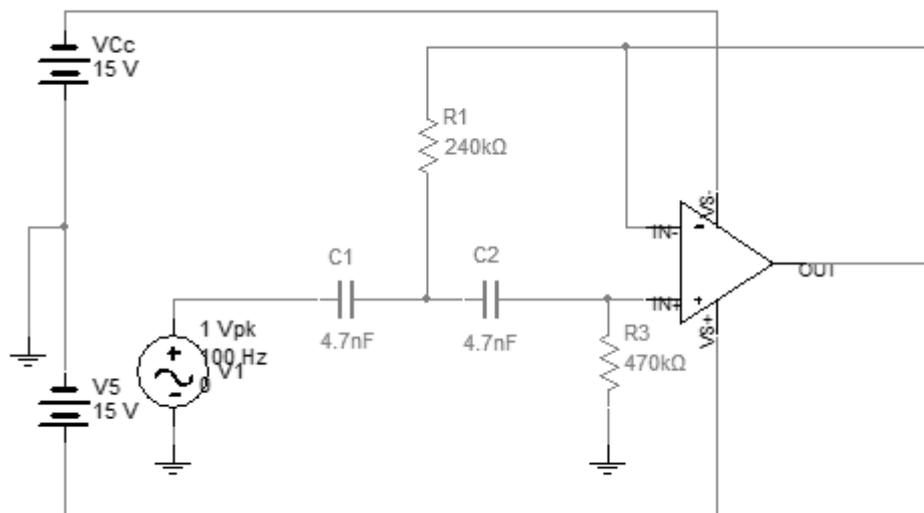


Figura 27 - Filtro Passa-Alta
Fonte: Autoria Própria

4.1.9 Filtro Passa-Faixa

A porta não inversora do primeiro Amp. Op. do filtro passa-faixa foi ligada a um capacitor e um resistor em série, o capacitor estando ligados a saída positiva do gerador de função e o resistor ligado ao GND. A porta inversora esta ligada a dois resistores em série e ligados a realimentação, e o resistor R1 esta ligado a saída negativa do gerador de função. Na saída do primeiro Amp. Op. está ligado o segundo Amp. Op. onde na porta inversora está ligada o resistor R4 e que esta também ligado ao GND e o resistor R5 ligado em série com o R4 e também na saída do Amp. Op. formando a realimentação do circuito. Na porta não-inversora tem-se um resistor ligado na saída do primeiro Amp. Op. e em série com um capacitor que está ligado ao GND, como se pode ver na figura 28.

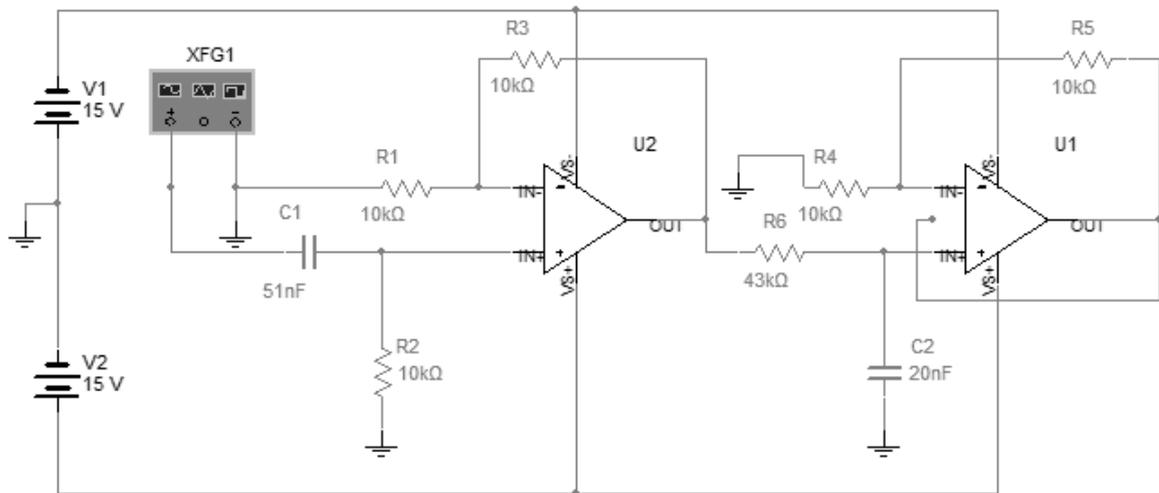


Figura 28 - Filtro Passa-Baixa
Fonte: Autoria Própria

4.1.10 Filtro Rejeita-Faixa

O circuito Amp. Op. rejeita faixa possui três Amp. Ops. conforme pode ser observado na figura 29. O primeiro Amp. Op. tem-se dois resistores ligados em série o R1 ligado ao gerador de função e o R3 ligado a saída do Amp. Op. fazendo a realimentação. Na saída do primeiro Amp. Op. está ligado o segundo Amp. Op. por um resistor R4 que esta em série com o resistor R5 ligado a saída formando a realimentação. Ainda na saída do primeiro Amp. Op. está ligado à saída do terceiro Amp. Op., na porta não inversora está ligado um capacitor e um resistor em série, onde o capacitor foi ligado ao gerador de função e o resistor ao GND. Na porta inversora foi ligado um resistor e este também ligado ao GND.

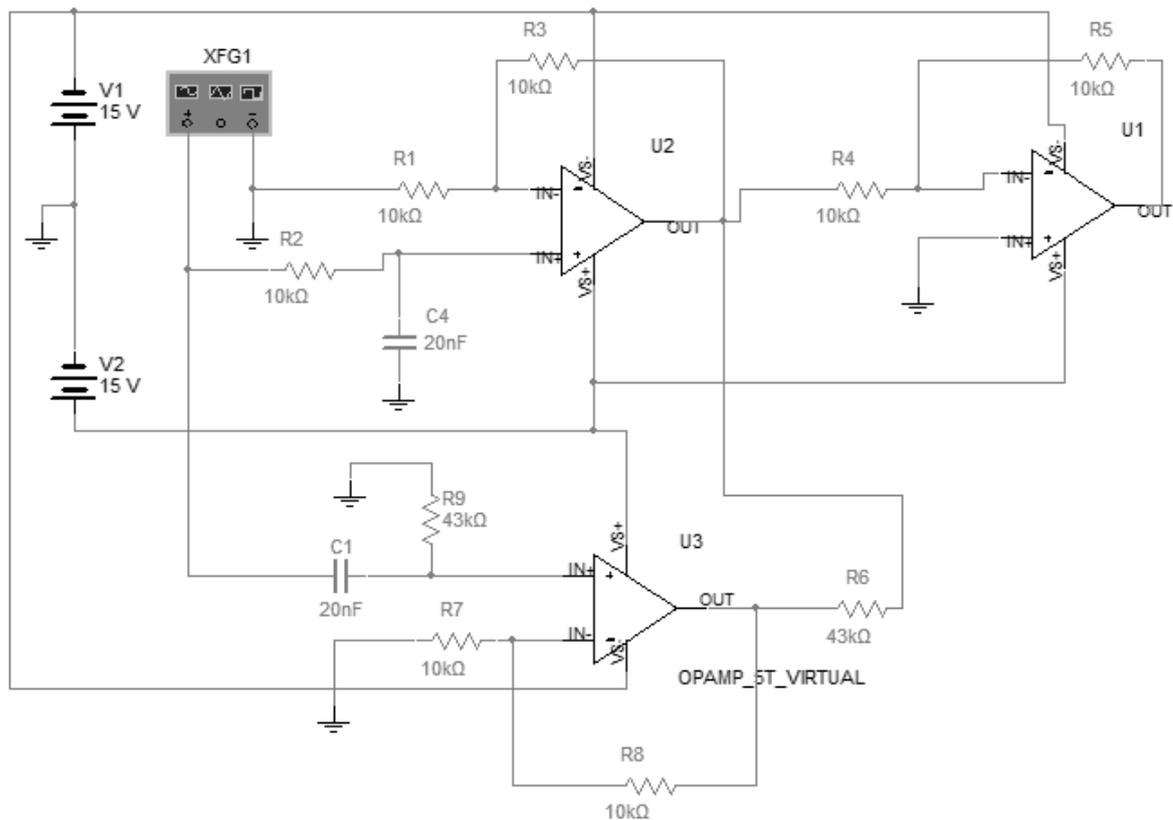


Figura 29 - Filtro Rejeita-Faixa
Fonte: Autoria Própria

4.1.11 Amplificador de Instrumentação

Também composto de três Amp.Op.. No primeiro a entrada não inversora foi ligada a uma fonte cc de 5V. Na inversora 3 resistores, um ligado na realimentação do próprio circuito e os outros dois ligados na porta inversora do Amp. Op. três e na saída do mesmo. A saída do primeiro foi ligada à um resistor que vai na entrada inversora do segundo e em série com um outro resistor que liga na saída do mesmo, formando a realimentação do mesmo. A saída do terceiro foi ligada dois resistores em série que foram ligados um na porta não inversora do segundo e o outro ligado ao GND. A figura 30 ilustra o esquemático de como foram realizado as ligações do Amp. Op. de Instrumentação.

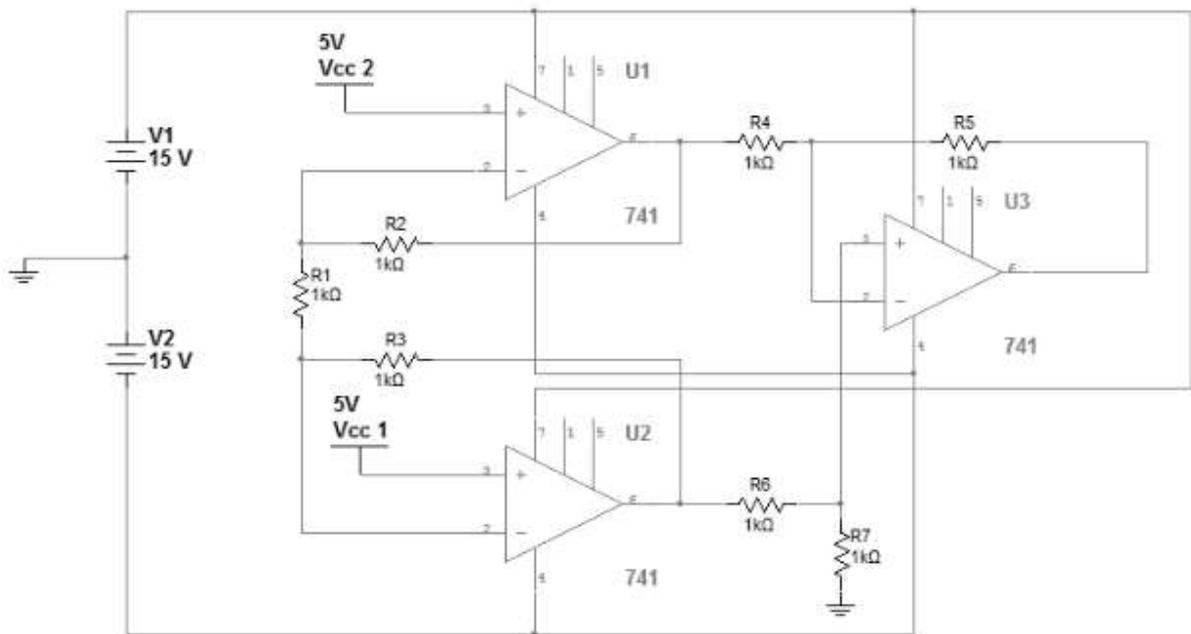


Figura 30 - Amp. Op. de Instrumentação
Fonte: Autoria Própria

4.1.12 Amplificador de Áudio

O amplificador de áudio é baseado no circuito integrado TDA 2003, com potência de 10 *Watts*. O integrado fornece capacidade de corrente alta, e baixa distorção harmônica. (DATASHEET, TDA 2003), Para que o circuito possa operar com a potência desejada e necessário calcular dois componentes o capacitor C_x e o resistor R_x , abaixo podemos visualizar as formulas para os cálculos.

$$R_x = 20 \cdot R_2 \quad C_x = \frac{1}{2\pi \cdot B \cdot R_1} \quad \text{Onde } B \text{ é a resposta em frequência} \quad (09)$$

O circuito integrado foi projetado para aplicações em som automotivo, portanto pode ser alimentado por baterias por longos períodos de trabalho.

Um amplificador de áudio utilizando um Amp. Op. possui algumas particularidades em relação aos demais circuitos. Como se pode observar na alimentação do Amp. Op. tem-se uma fonte de tensão de 15V ligada a dois capacitores em paralelo. A realimentação foi feita utilizando um capacitor e um curto

entre a saída e entrada do capacitor. Na saída do Amp. Op. foi colocado alguns capacitores e resistores e capacitores em série e outros em paralelo conforme pode ser visto na figura 31.

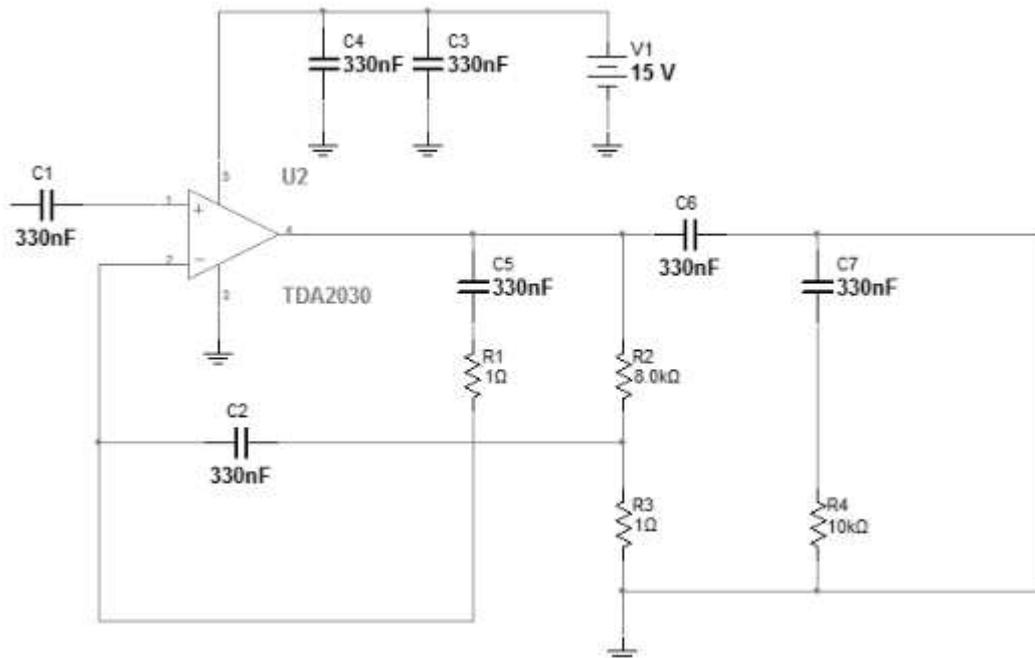


Figura 31 - Amplificador de áudio com Amp. Op.
Fonte: Autoria Própria

4.1.13 Fonte Simétrica

Esse circuito de fonte de alimentação simétrica tem por base os reguladores de tensão LM317 e LM337. A tensão mínima desses reguladores é de 1,2 V e a máxima é dada pela equação 32.

$$V_S = \left(\frac{R_2}{R_1} + 1 \right) * 1,25 \quad (14)$$

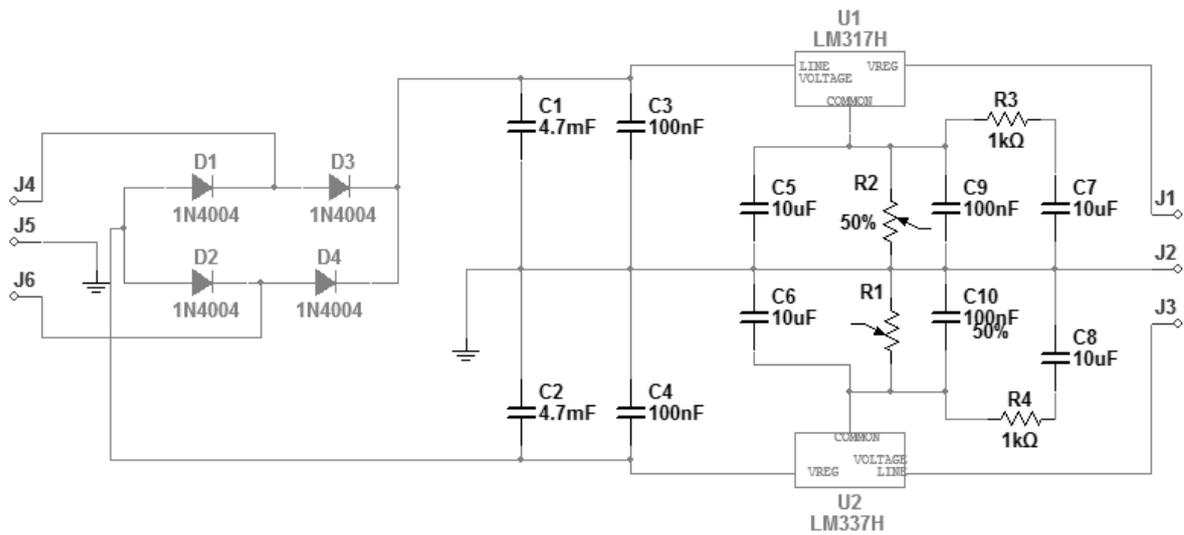


Figura 32 - Fonte Simétrica
Fonte: Autoria Própria

4.1.14 Gerador Onda Senoidal

Gerador de onda senoidal foi colocado na porta não inversora um capacitor e um resistor em paralelo e em série com outro resistor e capacitor que se ligam a saída formando a realimentação do circuito. A entrada inversora também gera uma realimentação associada a um resistor e um potenciômetro que também está ligado ao GND. O esquemático do gerador de onda senoidal pode ser visto na figura 33.

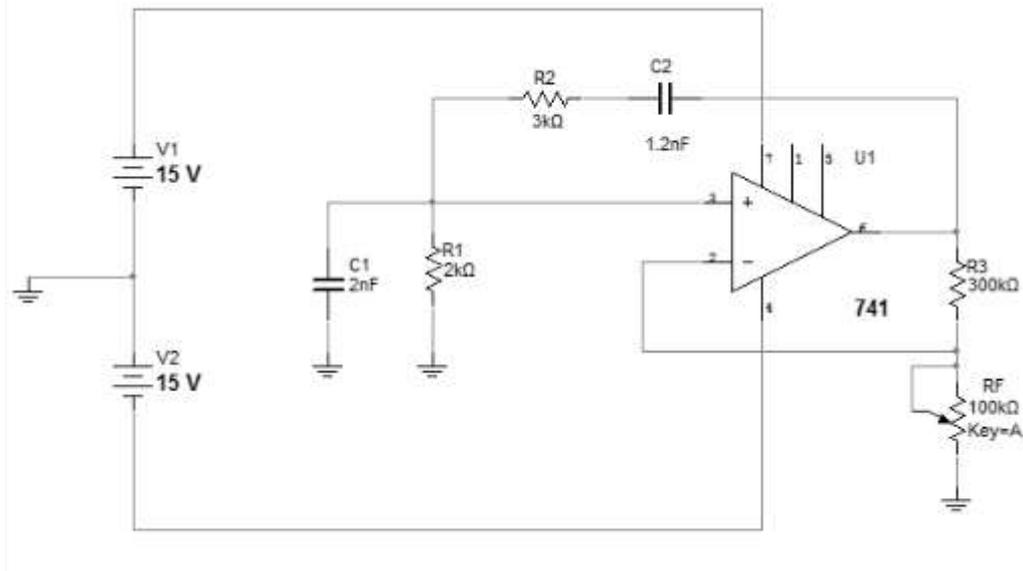


Figura 33 - Geradores Onda Senoidal
Fonte: Autoria Própria

4.1.15 Gerador Onda Quadrada

No gerador de onda quadrada foi adicionado na porta inversora do Amp. Op. um resistor e um capacitor ligados em série, com o capacitor ligado na saída do Amp. Op. formando assim a realimentação. A porta não inversora foi ligada ao GND. Na figura 34 pode-se observar o esquemático do gerador de onda quadrada.

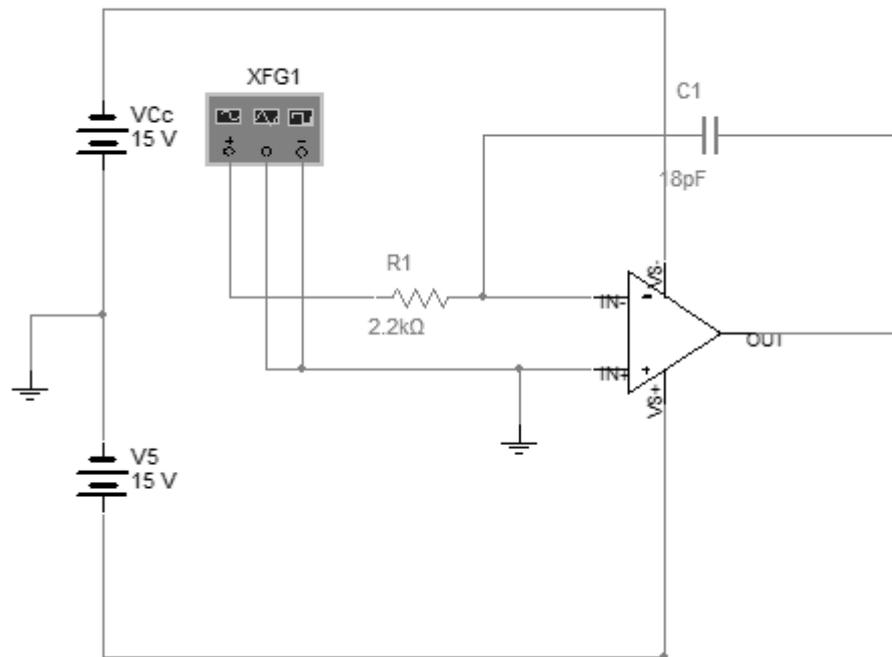


Figura 34 - Gerador de Onda Quadrada
Fonte: Autoria Própria

4.1.16 Gerador Onda Triangular

Formado por dois Amp. Op. ligados em série, podendo ser visto na figura 35. No primeiro foi ligado a porta não inversora ao GND à porta inversora foi ligado dois resistores e um capacitor. O capacitor realiza a realimentação do circuito, os resistores são ligados na saída do segundo Amp. Op.. A saída do primeiro ligada na entrada não inversora do segundo através de dois resistores em série, um diretamente a porta e o outro fazendo a realimentação. A porta inversora foi ligada ao GND.

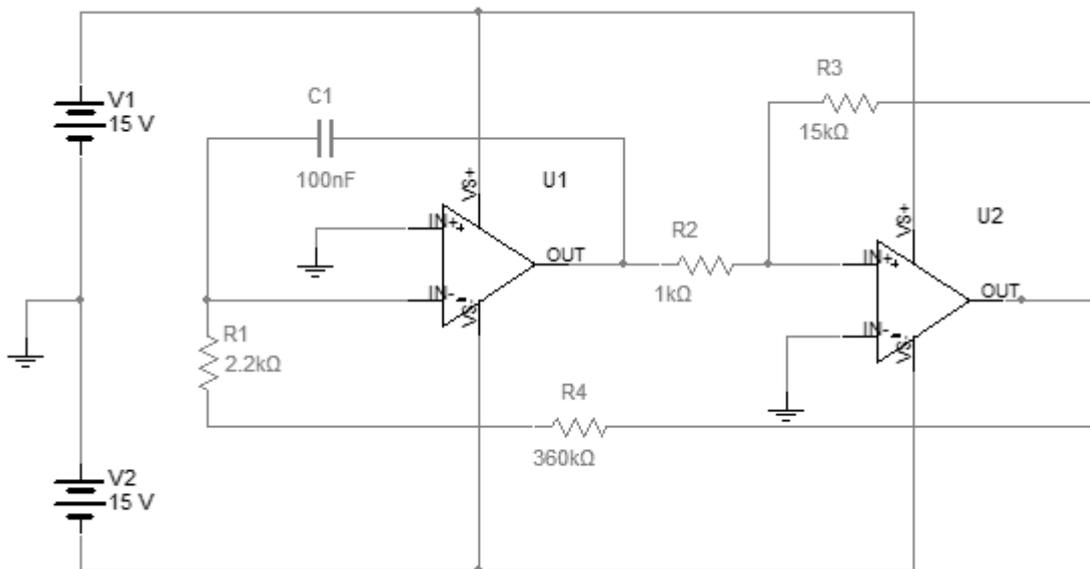


Figura 35 - Gerador de Onda Triangular
Fonte: Autoria Própria

4.1.17 Gerador Onda Dente de Serra

Também formado por dois Amp. Op., como visto na figura 36. A porta inversora do primeiro Amp. Op. esta ligada diretamente na saída positiva do gerador de função. A porta não inversora foi ligada um resistor para a realimentação e outro em série ligado na saída do segundo Amp. Op.. Na saída do primeiro foi ligado a um resistor, e este diretamente na porta inversora do segundo Amp. Op., nesta mesma porta foi ligado um segundo resistor e um capacitor em paralelo realizando a realimentação do circuito. A porta não inversora do segundo Amp. Op. foi ligada diretamente no GND.

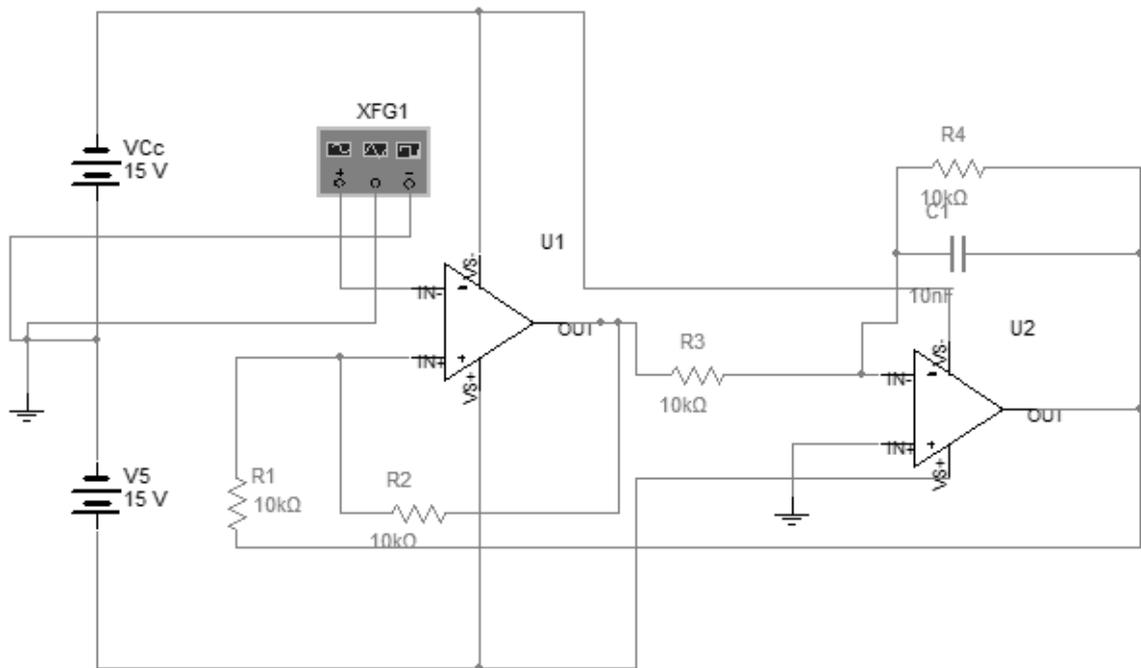


Figura 36 - Gerador de Onda Dente de Serra
Fonte: Autoria Própria

4.2 MONTAGEM

A figura 37 tem-se uma foto do processo de montagem das placas que ficam na parte interna da bancada. Estas placas não ficaram ao acesso do usuário, somente os componentes como resistores, capacitores, potenciômetros e os CIs dos Amp. Ops. ficará a amostra, para que os usuários possam configurar os amplificadores conforme os cálculos realizados durante as aulas.



Figura 37 - Processo de montagem da parte interna da bancada
Fonte: Autoria Própria

4.3 UTILIZAÇÃO DA BANCADA

Nos apêndices encontra-se um manual com algumas dicas de utilização e manuseio da bancada. Nele também encontra-se algumas experiências possíveis de serem realizadas com a bancada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho supriu todas as expectativas esperadas para uma bancada didática para estudo de amplificadores operacionais.

Os resultados obtidos durante as simulações comprova o referencial teórico de cada um dos amplificadores operacionais. Durante o desenvolvimento da bancada foram realizados testes em cada um dos circuitos, para possamos saber se todo o conteúdo da bancada realmente funcionaria como o esperado.

5.1 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Aconteceram dificuldades durante o desenvolvimento da bancada. Uma delas foi a de prototiparmos as placas. Como não foi possível fazer com a prototipadora da UTFPR campus Pato Branco, houve então a necessidade de solicitar a um colega da UTFPR Câmpus Curitiba para que as prototipasse, então foram enviados todos os arquivos desenvolvidos no EAGLE, com as placas roteadas para que ele somente as prototipasse.

Outra dificuldade foi a interligação das placas com a bancada, sendo então que esta ligação foi feita através de jumpers próprios para protoboard, que também vai facilitar aos alunos as ligações entre os circuitos e a inserção dos componentes na bancada.

REFERÊNCIAS

EDMINISTER, Joseph A. NAHVI Mahmood. **Circuitos Elétricos**. Artmed editora S.A. São Paulo, 2003.

FIGINI, Gianfranco. **Eletrônica industrial: circuitos e aplicações**. São Paulo: Hemus, 2002.

GRUITER, Arthur François de. **Amplificadores operacionais: fundamentos e aplicações**. São Paulo, SP: McGraw-Hill, 1988. xiv, 251 p.

MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica**. 4.ed. São Paulo: Makron, c1997. 2v.

MILLMAN, Jacob; HALKIAS, Christos C. **Eletrônica: dispositivos e circuitos**. 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1981. 2 v.

NILSSON, James William; RIEDEL, Susan A. **Circuitos elétricos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2003. 656 p. ISBN 85-216-1363-6

PERTENCE JÚNIOR, Antônio. **Amplificadores operacionais e filtros ativos: teoria, projetos, aplicações e laboratório**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2003. 304p. ISBN 978-85-363-0190-7.

APÉNDICES

1 MANUAL DE UTILIZAÇÃO DA BANCADA DIDÁTICA COM AMPLIFICADORES OPERACIONAIS

A configuração básica do Amp. Op. pode ser encontrada em data sheets, geralmente fornecido pelo fabricante. Neles temos algumas informações como:

- Temperatura de trabalho;
- Tensão máxima ou tensão de saturação;
- Corrente máxima;
- Pinagem;
- Entre outros.

1.1 Invólucro e pinagem

O Amp. Op. é fabricado em uma fina camada de material semiconductor, conhecido como “chip” e envolvido com um material de plástico, cerâmica ou metal. Através de finos fios o chip é conectado aos pinos externos do C.I.

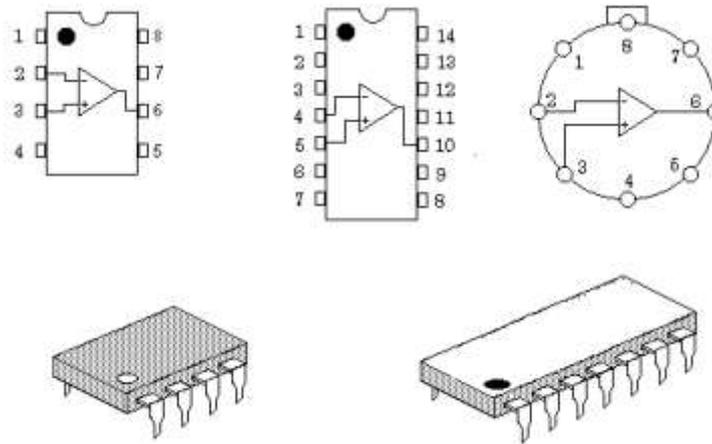


Figura 38 - Topos de invólucros
Fonte: Datasheet

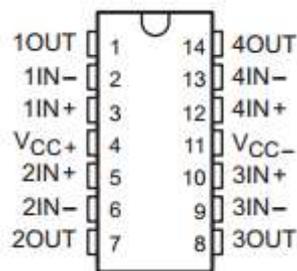


Figura 39 - Pinagem Amp. Op. TL084 – Texas Instruments
Fonte: Autoria Própria

1.2 Como identificar um Amp. Op.:

Cada tipo de Amp. Op. tem um código de identificação que são letras e números. Este tipo de código responde basicamente as seguintes perguntas:

- Que tipo de Amp. Op. é: (Ex.: TL084)
- Quem é o fabricante? (Ex.: Texas Instruments)
- É robusto? (Ex.: garante o funcionamento em que temperatura, tensão, corrente...)
- Que tipo de invólucro?

A maioria dos fabricantes utiliza o mesmo tipo de código, ao menos semelhante. Basicamente pode-se identificar um Amp. Op. por quatro partes deste código:

1. Letras de prefixo;
2. Identificação do circuito;
3. Letras do sufixo;
4. Código de especificação militar;

1.3 Letras de prefixo:

Quadro 02 - Prefixos de fabricantes

LETRAS DE PREFIXO	FABRICANTE
AD	ANALOG DEVICES
CA	RCA
LM	NATIONAL SEMICONDUCTOR CORP.
MC	MOTOROLA
NE/SE	SIGNETICS
OP	RAYTHEON
SG	SILICON GENERAL
TL	TEXAS INSTRUMENTS
UA	FAIRCHILD

Quadro 02 - Prefixos de fabricantes
 Fonte: Aatoria Própria

2 IDENTIFICAÇÃO DO CIRCUITO

2.1 TL084

2.1.1 TL – Fabricante

084 – Modelo (4 indica o numero de Amp. Op. contidos neste C.I.)

Alguns modelos de alguns fabricantes apresentam no C.I. informações referente ao tipo de aplicação.

Ex.: Os códigos das faixas de temperatura são:

- C: comercial, temperatura varia de 0°C a 70°C
- I: industrial, -12°C a 85°C
- M: militar, -55°C a 125°C

2.2 Alimentação da montagem com Amp. Op.

Utilizando sempre de uma fonte simétrica de -15 V a + 15 V, conforme o esquema abaixo:

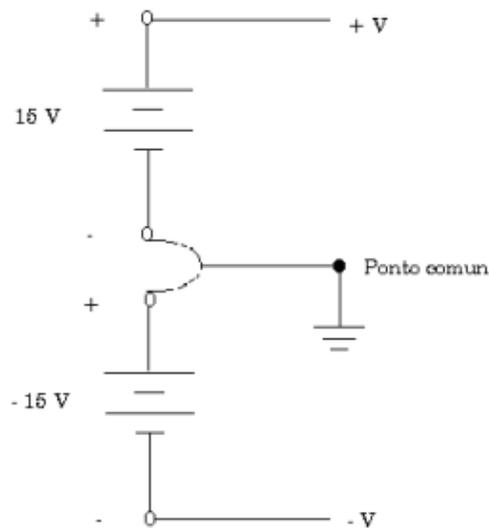


Figura 40 - Esquema Fonte Simétrica
Fonte: Autoria Própria

3 PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA UTILIZAÇÃO DO AMP. OP.

Segue abaixo algumas sugestões de cuidados a serem tomados ao utilizar a bancada didática com amplificadores operacionais.

- Realizar a montagem sempre com as fontes de alimentação do Amp. Op. e também com a fonte de entrada do circuito desligadas.
- Deve-se primeiramente realizar a alimentação do Amp. Op. a partir da fonte +V e -V, localizados nos bornes de alimentação da bancada, lembrar sempre de alimentar também o ponto de comum GND.
- Checar a fonte de alimentação antes de ligar (podendo utilizar um multímetro).
- Aplicar as entradas nos CIs que conferem fonte de alimentação nas entradas somente com o circuito já ligado.
- Realizar todas as medições em relação ao terra e ao ponto de comum da fonte de alimentação.
- Desligar o sinal de tensão antes de desligar o circuito.
- NUNCA, inverta a polaridade da fonte de alimentação do Amp. Op.

- NUNCA alimente o circuito com uma fonte de alimentação superior a tensão de saturação indicada no datasheet do Amp. Op.

4 EXPERIÊNCIA 1.

4.1 AMPLIFICADOR COMPARADOR

4.1.1 Definição

Em muitas situações praticas surge a necessidade de comparar dois sinais entre si, de tal forma que um destes sinais seja uma referencia. Os Amp. Ops. destinados a esta função são denominados comparadores (PERTENCE, 2003).

4.1.2 Objetivos

Desenvolver um exemplo com cálculos para comprovação do funcionamento do amplificador comparando diferentes sinais de entrada (PERTENCE, 2003).

4.1.3 Diagrama

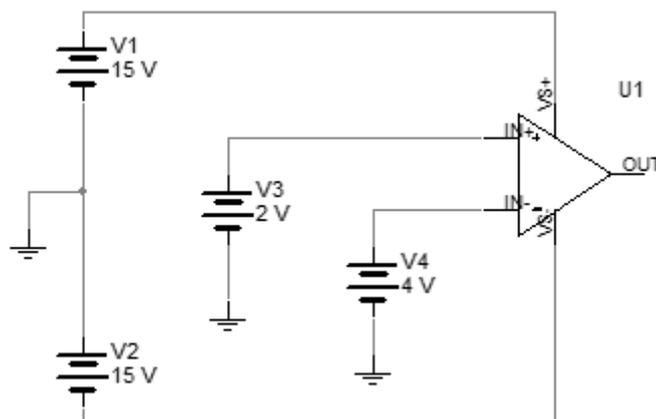


Figura 41 - Amp. Op. Comparador
Fonte: Autoria Própria

4.1.4 Procedimentos

Aplicar tensões diferentes em ambas às entradas, definir os valores de resistores. O circuito pode ser totalmente alterado, tanto na entrada quanto os valores de resistores (PERTENCE, 2003).

Para obter o funcionamento ideal da configuração de comparação do Amp. Op. é necessário efetuar alguns cálculos, os resistores R1, R2 devem ter o mesmo valor, o resistor de referencia que faz a realimentação negativa pode ser igual ou às vezes maior, o resistor da entrada positiva serve para minimizar a tensão de offset (PERTENCE, 2003).

$$Se \rightarrow R1 = R2 = R3 = Rf$$

$$Vo = -(V1 + V2 + V3)$$

Neste caso se $R1 = 15\Omega$ e $V1 = 3V$, $V1 = 2V$ e $V1 = 1V$, a tensão de saída $Vo = -6V$.

O segundo caso pode ser definido pela seguinte equação. A única diferença do primeiro calculo, é que as tensões de entrada serão divididas pelo resistor de referencia X vezes maior que os demais (PERTENCE, 2003).

$$Se \rightarrow R1 = R2 = R3 = XRf$$

$$Vo = -\left(\frac{V1 + V2 + V3}{X}\right)$$

5 EXPERIÊNCIA 2

5.1 AMPLIFICADOR SOMADOR INVERSOR

5.1.1 Definição

Amp. Op. somador inversor define-se pelo Amp. Op. possuindo múltiplas entradas, no caso de o circuito possuir uma única entrada, é considerado um Amp. Op. inversor simples (PERTENCE, 2003).

5.1.2 Objetivos

Desenvolver um exemplo com cálculos para comprovação do funcionamento do amplificador somador inversor, com esquemático, e diagrama do circuito (PERTENCE, 2003).

5.1.3 Diagrama

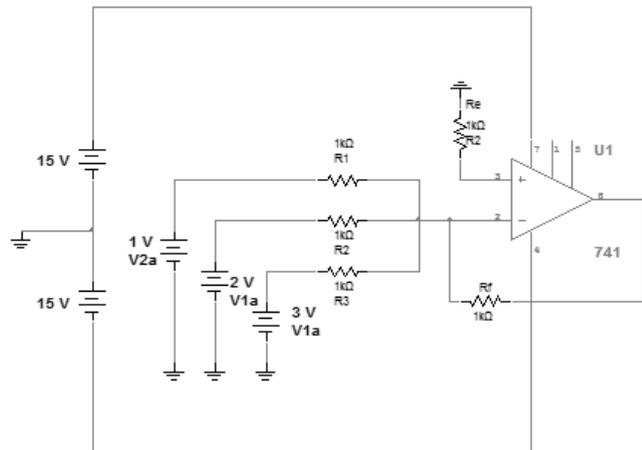


Figura 42 - Amp. Op. Inversor
Fonte: Autoria Própria

5.1.4 Procedimentos

Aplicar diferentes valores de tensões na entrada do circuito, definir os valores de resistores para colocar nos soquetes da bancada didática, o circuito pode ser totalmente alterado, tanto os valores de tensão aplicadas nas três entradas, tanto os valores dos resistores externos do amplificador (PERTENCE, 2003).

Para obter o funcionamento ideal da configuração de soma inversora do amplificador é necessário efetuar alguns cálculos, os resistores R1, R2 e R3 devem ter o mesmo valor, o resistor de referencia que faz a realimentação negativa pode ser igual ou às vezes maior, o resistor da entrada positiva serve para minimizar a tensão de offset (PERTENCE, 2003).

$$Se \rightarrow R1 = R2 = R3 = Rf$$

$$Vo = -(V1 + V2 + V3)$$

Neste caso se $R1 = 15\Omega$ e $V1 = 3V$, $V1 = 2V$ e $V1 = 1V$, a tensão de saída $Vo = -6V$.

O segundo caso pode ser definido pela seguinte equação. A única diferença do primeiro cálculo, é que as tensões de entrada serão divididas pelo resistor de referência X vezes maior que os demais (PERTENCE, 2003).

$$Se \rightarrow R1 = R2 = R3 = XRf$$

$$Vo = -\left(\frac{V1+V2+V3}{X}\right)$$

6 EXPERIÊNCIA 3

6.1 AMPLIFICADOR NÃO INVERSOR

6.1.1 Definição

Amp. Op. não inversor apresenta uma defasagem do sinal de saída, pode-se definir como um Amp. Op. de alta impedância de entrada, posto que a mesma é igual ao produto da resistência de entrada, por um fator muito grande. O fator B define o sinal de saída e varia entre 0 e 1 (PERTENCE, 2003).

$$B = \frac{R_1}{R_1 + R_f}$$

6.1.2 Objetivos

Desenvolver os mesmos cálculos e procedimentos da experiência anterior (PERTENCE, 2003).

6.1.3 Diagrama

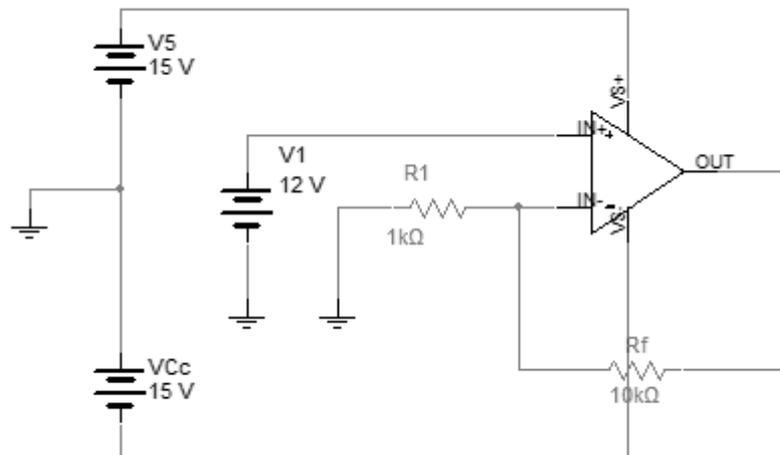


Figura 43 - Amp. Op. Não Inversor
Fonte: Autoria Própria

6.1.4 Procedimentos

Idêntico à experiência anterior.

7 EXPERIÊNCIA 4

7.1 AMPLIFICADOR BUFFER

7.1.1 Definição

Dos circuitos com Amp. Op., o seguidor de tensão é o que mais se aproxima de um Amp. OP. ideal, em termos de impedância de entrada e de saída. Em alguns casos o Amp. Op. BUFFER pode receber um sinal através de uma resistência em série, colocada no terminal não inversor. Neste caso, para se ter um balanceamento do ganho e das correntes, é utilizado um resistor de mesmo valor na realimentação (PERTENCE, 2003).

7.1.2 Objetivos

Verificar o funcionamento do Amp. Op. Buffer (seguidor de tensão).

7.1.3 Diagrama

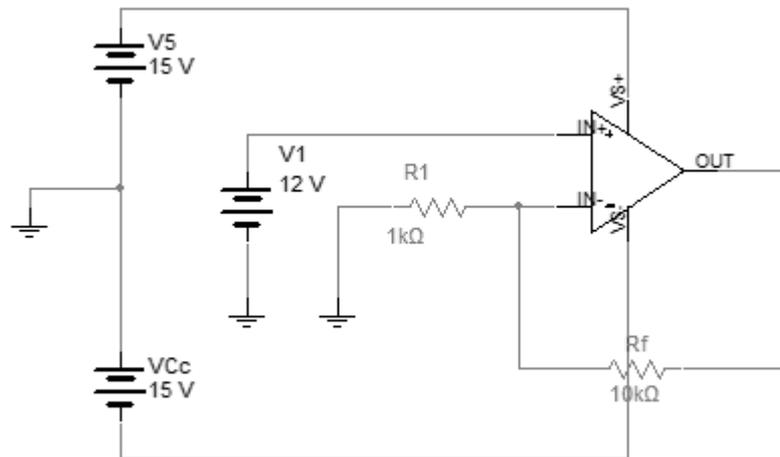


Figura 44 - Amp. Op. Buffer
Fonte: Autoria Própria

7.1.4 Procedimentos

Ligar o canal 1 do osciloscópio na entrada do circuito e o canal 2 na saída do mesmo, ajustar o osciloscópio para que forme uma onda quadrada, ajustar a escala para 5mV (pico) de forma que possa se observar o overshoot. Medir a amplitude do overshoot em relação ao nível estabilizado e comparar com o valor fornecido no datasheet do fabricante (PERTENCE, 2003).

8 EXPERIÊNCIA 5

8.1 AMPLIFICADOR SOMADOR

8.1.1 Definição

Amp. Op. somador inversor define-se pelo Amp. Op. possuindo múltiplas entradas, no caso do circuito possuir uma única entrada, é considerado um Amp. Op. inversor simples (PERTENCE, 2003).

8.1.2 Objetivos

Verificar o funcionamento do Amp. Op. somador de três entradas e comparar os resultados obtidos com os resultados teóricos (PERTENCE, 2003).

8.1.3 Diagrama

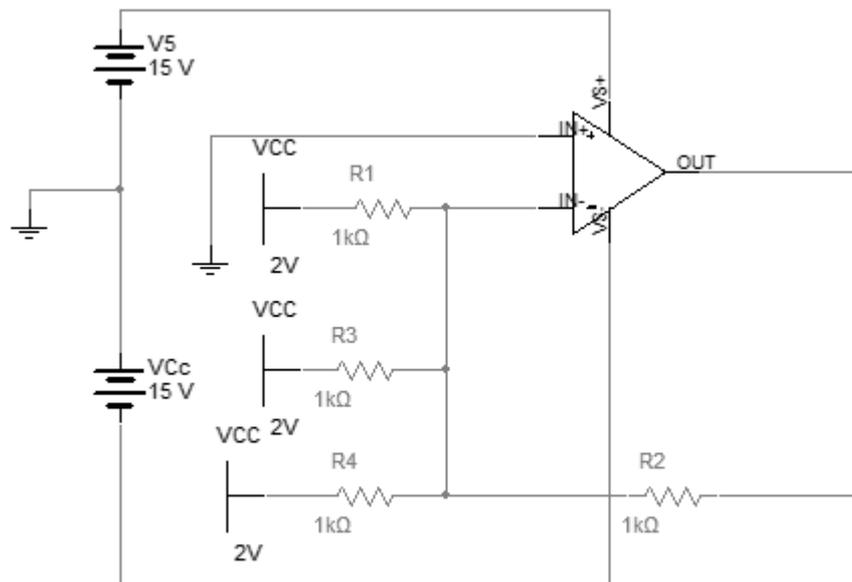


Figura 45 - Amp. Op. Somador
Fonte: Autoria Própria

8.1.4 Procedimentos

Energizar o circuito utilizando uma fonte simétrica ou então as saídas + Vcc, - Vcc e GND da bancada (PERTENCE, 2003).

Aplicar três tensões diferentes uma em cada entrada do circuito.

Medir os resultados obtidos e comparar com os resultados obtidos durante as aulas teóricas (PERTENCE, 2003).

9 EXPERIÊNCIA 6

9.1 AMPLIFICADOR SUBTRATOR

9.1.1 Definição

Amp. Op. subtrator possui uma saída igual à diferença entre os sinais aplicados na entrada, multiplicado por um ganho (PERTENCE, 2003). Geralmente utilizado em medidas físicas onde são necessárias respostas de frequência que vão desde c.c. até vários mega-hertz (MILMAN e HALKIAS,1981).

9.1.2 Objetivos

Comprovação do funcionamento do amplificador subtrator, com esquemático e calculo conforme diagrama apresentado (PERTENCE, 2003).

9.1.3 Diagrama

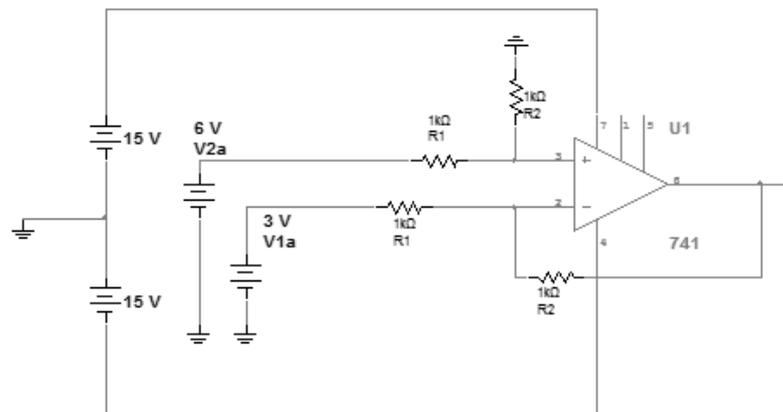


Figura 46 - Amp. Op. Subtrator
Fonte: Autoria Própria

9.1.4 Procedimentos

Aplicar a tensão desejada nas duas entradas, colocar os resistores calculados nos soquetes disponíveis na bancada didática. Conforme diagrama, a tensão de saída será a diferença da entrada não inversora com a entrada inversora, O sistema é composto por quatro resistores, a proporcionalidade do sistema é dada pela constante $R2/R1$. A equação final pode é definida por (PERTENCE, 2003).

$$V_o = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1)$$

10 EXPERIÊNCIA 7

10.1 AMPLIFICADOR DE INSTRUMENTAÇÃO

10.1.1 Definição

Segundo Pertence (2003) o amplificador de instrumentação é uma configuração especial, pois é possível obter algumas características especiais como resistência de entrada elevada, resistência de saída menor que dos amplificadores comuns, tensão de entrada baixa.

10.1.2 Objetivos

Analisar o circuito amplificador de instrumentação, e observar o comportamento do mesmo conforme tensões aplicadas nas duas entradas e variação do resistor variável (R1) que controla o ganho do sistema (PERTENCE, 2003).

10.1.3 Diagrama

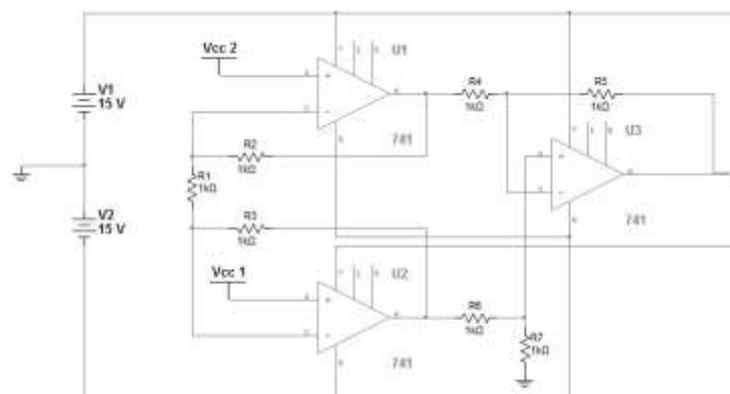


Figura 47 - Amp. OP. de Instrumentação
Fonte: Autoria Própria

10.1.4 Procedimentos

Aplicar as tensões desejadas nas entradas V_{cc1} e V_{cc2} , analisar o comportamento do circuito variando o resistor um. O amplificador de instrumentação é formado por três estágios, e a equação de tensão de saída é definida por (PERTENCE, 2003).

$$V_o = \left(1 + \frac{2R_2}{R_g} \right) (V_2 - V_1)$$

11 EXPERIÊNCIA 8

11.1 AMPLIFICADOR DE ÁUDIO.

11.1.1 Definição

O amplificador de áudio é baseado no circuito integrado TDA 2003, com potencia de 10 *Watts*. O integrado fornece capacidade de corrente alta, e baixa distorção harmônica (TDA 2003 datasheet). Para que o circuito possa operar com a potencia desejada é necessário calcular dois componentes o capacitor C_x e o resistor R_x (PERTENCE, 2003).

11.1.2 Objetivos

Comprovar o funcionamento do amplificador de áudio, com sinais de entrada dos circuitos com amplificador operacional (PERTENCE, 2003).

11.1.3 Diagrama

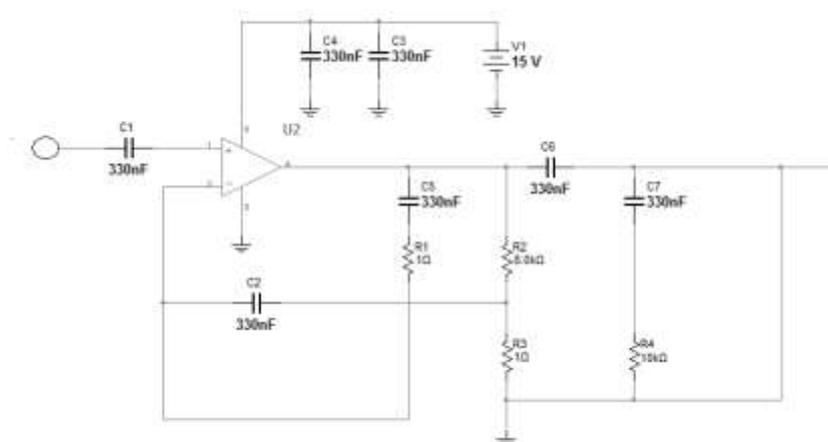


Figura 48 - Amplificador de Áudio
Fonte: Autoria Própria

11.1.4 Procedimentos

Aplicar o sinal desejado na entrada do amplificador e analisar o som no alto falante conectado na saída do circuito, o amplificador de áudio tem por função ajudar na interpretação do sinal de saída dos outros circuitos com amplificador operacional da bancada didática (PERTENCE, 2003).

12 EXPERIÊNCIA 9

12.1 GERADOR DE ONDA QUADRADA.

12.1.1 Definição

Multivibrador astável como também é conhecido, consiste em um circuito que apresenta apenas dois sinais, alto ou baixo, produzindo um trem de pulsos com uma determinada frequência, o circuito básico do gerador de onda quadrada com amplificador necessita apenas de um capacitor e três resistores externos. (PERTENCE, 2003).

12.1.2 Objetivos

Comprovar o funcionamento do gerador de onda quadrada com amplificador operacional operacional. Analisar o sistema durante a variação na frequência de trabalho (PERTENCE, 2003).

12.1.3 Diagrama

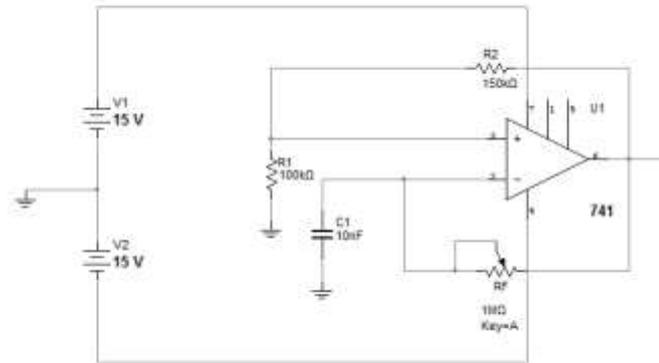


Figura 49 - Gerador de Onda Quadrada
Fonte: Autoria Própria

12.1.4 Procedimentos

Primeiramente deve-se energizar o circuito, conectar o canal 1 do osciloscópio na saída do circuito, ajustar o osciloscópio de forma que a onda de saída ocupe toda tela do mesmo, variar lentamente o potenciômetro para verificar a frequência de trabalho do gerador (PERTENCE, 2003).

13 EXPERIÊNCIA 10

13.1 GERADOR DE ONDA TRIANGULAR.

13.1.1 Definição

O gerador de onda triangular é uma continuação do gerador de onda quadrada, observando no oscilador de onda quadrada que sobre o capacitor da entrada do amplificador operacional era gerada uma tensão triangular, porém com

rampas formadas exponencialmente e não linearmente, então caso conseguisse fazer fluir correntes constantes pelo capacitor, poder-se-ia obter uma rampa linear (GRUITTER, 1988).

13.1.2 Objetivos

Comprovar o funcionamento do gerador de onda triangular com amplificador operacional e verificar a variação de amplitude do sinal triangular (PERTENCE, 2003).

13.1.3 Diagrama

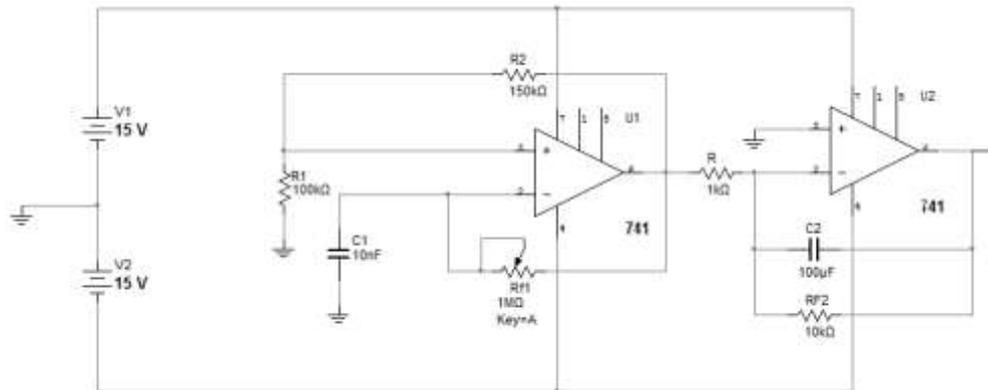


Figura 50 - Gerador de Onda Triangular
Fonte: Autoria Própria

13.1.4 Procedimentos

Energizar o circuito, conectar o canal 1 do osciloscópio na saída do gerador de onda triangular. Como o sinal de onda triangular é gerado através do gerador de onda quadrada, a frequência do oscilador será a mesma do gerador de onda quadrada, apenas a amplitude pode ser alterada através do resistor de referência dois (RF2). Observar no osciloscópio a variação de forma de onda e amplitude do gerador de onda triangular (PERTENCE, 2003).

14 EXPERIÊNCIA 11

14.1 GERADOR DE ONDA SENOIDAL.

14.1.1 Definição

Uma aplicação não linear do amplificador operacional é o gerador de onda senoidal, existem diversas formas de se gerar ondas senoidais, todas elas, entretanto, utilizam sinais de ruído gerados internamente, combinados a um circuito com realimentação positiva, isto devido ao fato de que parte do sinal de saída deve ser realimentado de modo que na frequência de oscilação se tenha máxima amplitude do sinal realimentado. (GRUITTER, 1988).

14.1.2 Objetivos

Verificar o funcionamento do oscilador de onda senoidal com amplificador operacional variando a frequência de trabalho (PERTENCE, 2003).

14.1.3 Diagrama

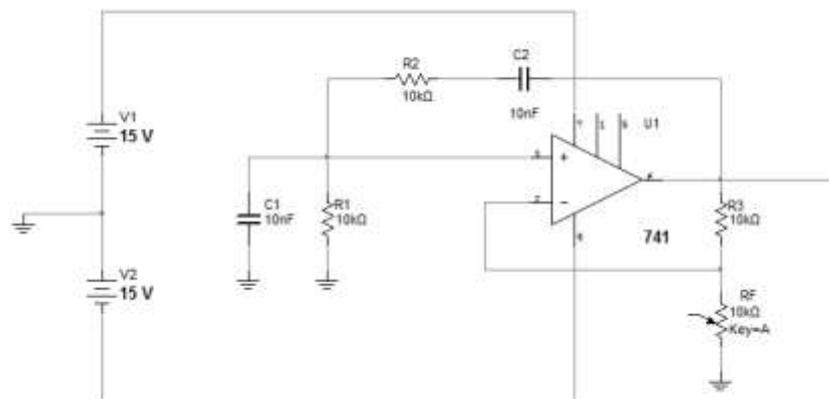


Figura 51 - Gerador de Onda Senoidal
Fonte: Autoria Própria

14.1.4 Procedimentos

Aplicar o canal 1 do osciloscópio na saída do gerador de onda senoidal, variar lentamente o potenciômetro RF, analisar a forma de onda e a variação de frequência do oscilador de onda senoidal (PERTENCE, 2003).

15 EXPERIÊNCIA 12

15.1 GERADOR DE ONDA DENTE-DE-SERRA.

15.1.1 Definição

Em varias aplicações praticas torna-se preciso a utilização de um sinal tipo dente-de-serra. Assim por exemplo para se obter uma imagem do sinal de entrada aplicada ao canal vertical de um osciloscópio é necessário aplicar um sinal de varredura (sinal dente-de-serra) no canal horizontal simultaneamente. Este sinal é fornecido por uma parte do circuito do osciloscópio e o ajuste da frequência e feito através do controle externo. (PERTENCE, 2003).

15.1.2 Objetivos

Comprovar o funcionamento do gerador de onda dente-de-serra (PERTENCE, 2003).

15.1.3 Diagrama

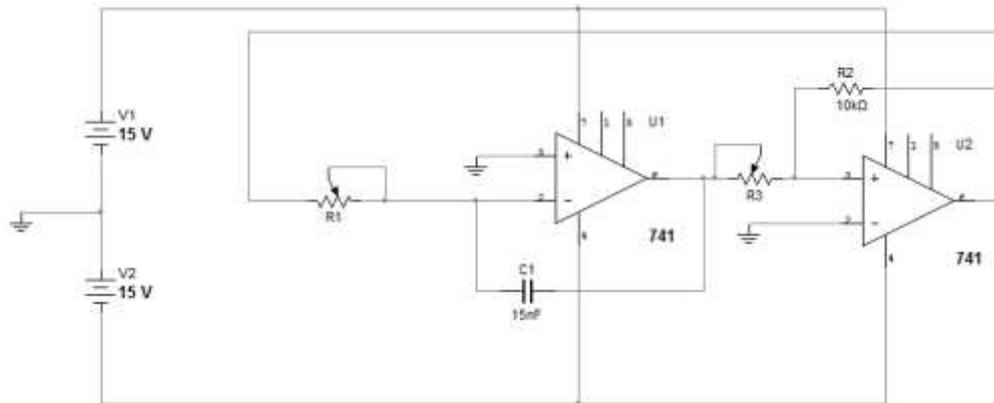


Figura 52 - Gerador de Onda Dente de Serra
Fonte: Autoria Própria

15.1.4 Procedimentos

Conectar o canal 1 do osciloscópio na saída do gerador de onda dente-de-serra e analisar a forma de onda. Variar lentamente os potenciômetros R1 e R3 e verificar o que acontece com a forma de onda de saída e a variação da frequência de saída do gerador de onda dente-de-serra (PERTENCE, 2003).

16 EXPERIÊNCIA 13

16.1 FILTRO PASSA-BAIXA

16.1.1 Definição

Basicamente um circuito RC ligado a entrada não-inversora de um Amp. Op., projetado para ter um ganho unitário e conectado como um seguidor de tensão. Pode-se também ligar o Amp. Op. com qualquer amplificador pela porta não-inversora com o ganho > 1 . É importante utilizar a configuração não-inversora devido a elevada impedância de entrada (GRUITTER, 1988).

16.1.2 Objetivos

Analisar o comportamento de um filtro passa-baixa (PERTENCE, 2003).

16.1.3 Diagrama

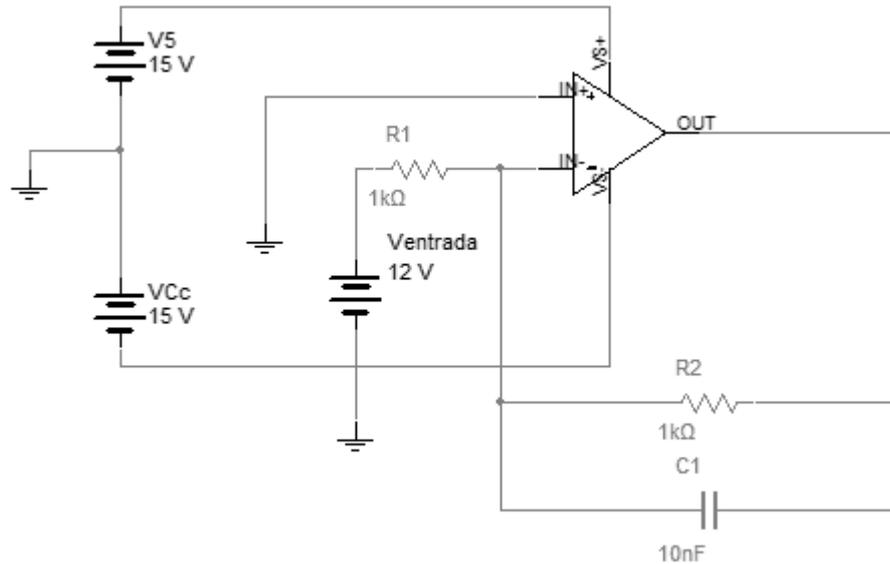


Figura 53 - Filtro Passa-Baixa
Fonte: Autoria Própria

16.1.4 Procedimentos

Aplicar um sinal senoidal na entrada do circuito.

Medir o sinal de saída do Amp. Op. e calcular a razão V_{op}/V_{ip} .

Calcular o ganho em dB obtido no Filtro.

Utilizar um osciloscópio e analisar o comportamento do sinal de saída em relação ao sinal de entrada.

Explicar como se pode de forma analítica melhorar a performance do filtro ajustando a sua frequência de corte (PERTENCE, 2003).

17 EXPERIÊNCIA 14

17.1 FILTRO PASSA-ALTA

17.1.1 Definição

Para se obter um filtro passa-alta, basta intercombinar os resistores e capacitores em cada sessão do filtro, onde os resistores e capacitores são responsáveis pela frequência de corte. Também tem-se um divisor de tensão na entrada não-inversora do Amp. Op. com elemento resistivo (GRUITTER, 1988).

17.1.2 Objetivos

Analisar o comportamento de um filtro passa-alta (PERTENCE, 2003).

17.1.3 Diagrama

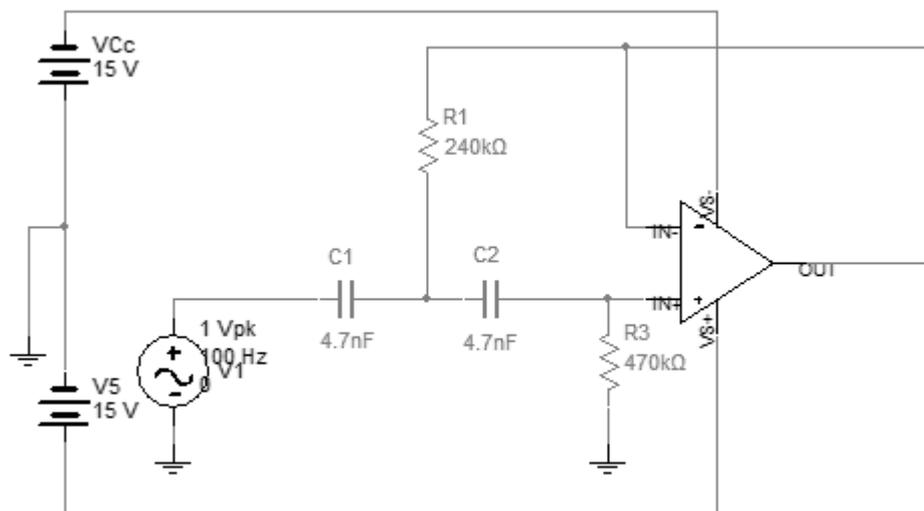


Figura 54 - Filtro Passa-Alta
Fonte: Autoria Própria

17.1.4 Procedimentos

Realizar os mesmo procedimentos da experiência realizada com o filtro passa-baixa (PERTENCE, 2003).

18 EXPERIÊNCIA 15

18.1 FILTRO PASSA-FAIXA

18.1.1 Definição

São filtros que deixam passar frequências que se enquadram dentro de uma faixa delimitada por duas frequências de corte. O valor para uma frequência central é dada pela media aritmética entre as frequências de corte superior e inferior. Em geral para a construção de um filtro passa-faixa, basta ligar um filtro passa-baixa em cascata com um passa-alta (GRUITTER, 1988).

18.1.2 Objetivos

Analisar o comportamento de um filtro passa-faixa (PERTENCE, 2003).

18.1.3 Diagrama

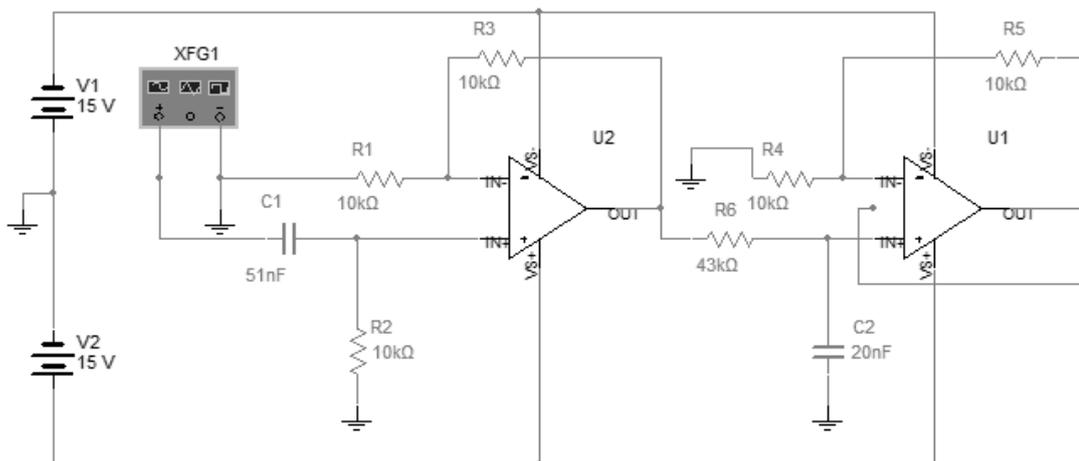


Figura 55 - Filtro Passa-Faixa
Fonte: Autoria Própria

18.1.4 Procedimentos

Realizar os mesmos procedimentos da experiência realizada com o filtro passa-alta (PERTENCE, 2003).

19 EXPERIÊNCIA 16

19.1 FILTRO REJEITA-FAIXA

19.1.1 Definição

Também conhecido como elimina-faixa. O filtro rejeita-faixa faz com que as frequências entre as de corte sejam eliminadas, deixando passar as demais. Existem dois tipos de rejeita-faixa: o de rejeição larga e o de rejeição estreita (GRUITTER, 1988).

Os filtros de rejeição larga podem ser obtidos com a associação de um passa-baixa e um passa-alta nas duas entradas de um circuito somador com ganho unitário. As duas entradas do filtro devem ser ligados a um comum (GRUITTER, 1988).

19.1.2 Objetivos

Analisar o comportamento de um filtro rejeita-faixa (PERTENCE, 2003).

19.1.3 Diagrama

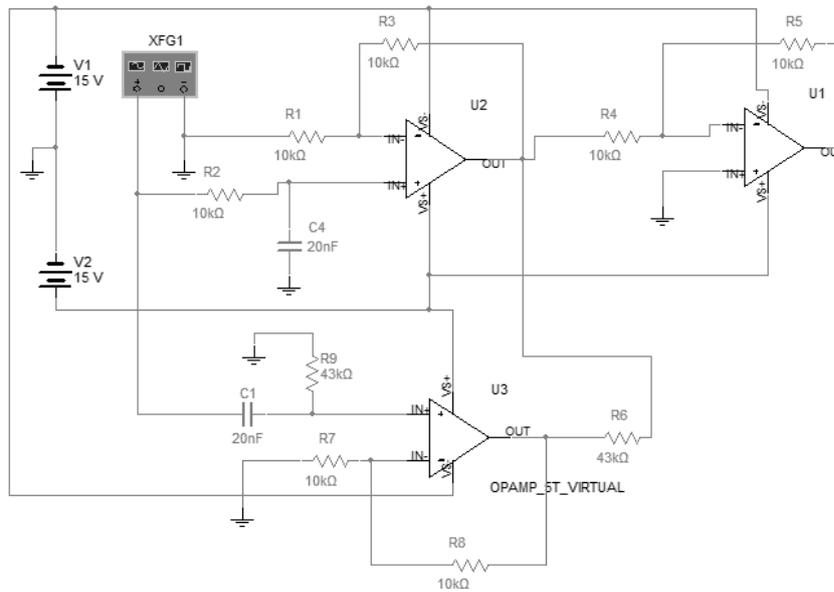


Figura 56 - Filtro Rejeita-Faixa
Fonte: Autoria Própria

19.1.4 Procedimentos

Realizar os mesmo procedimentos da experiência realizada com o filtro passa-faixa (PERTENCE, 2003).

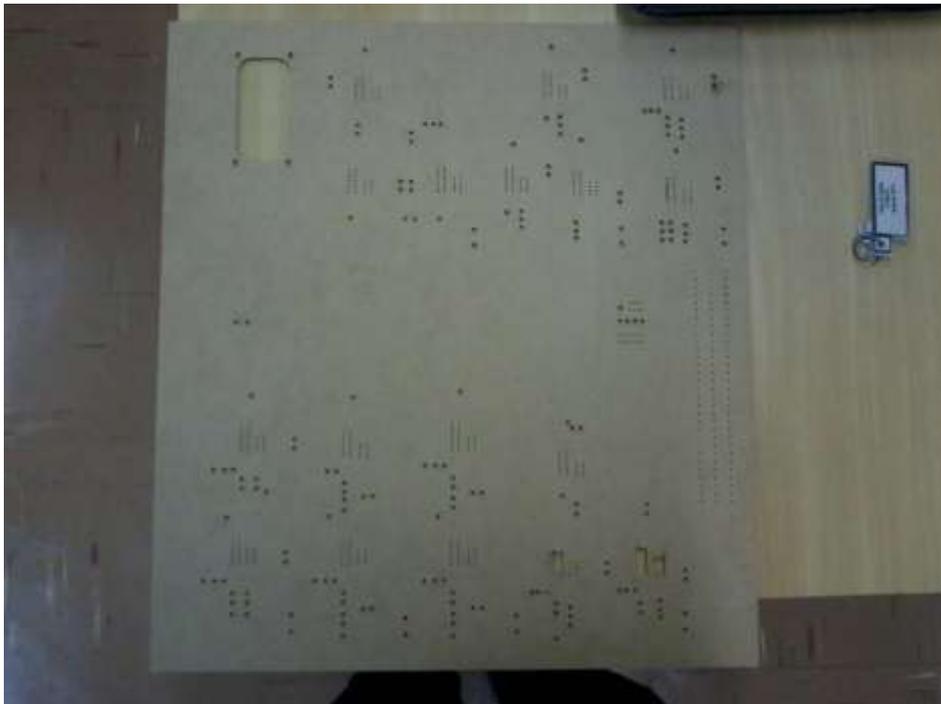


Figura 57 - Tampa frontal da bancada ainda em construção
Fonte: Autoria Própria



Figura 58 - Fundo da Bancada ainda em construção
Fonte: Autoria Própria



Figura 59 - Fundo da Bancada com as placas
Fonte: Autoria Própria



Figura 60 - Placas sendo confeccionadas
Fonte: Autoria Própria

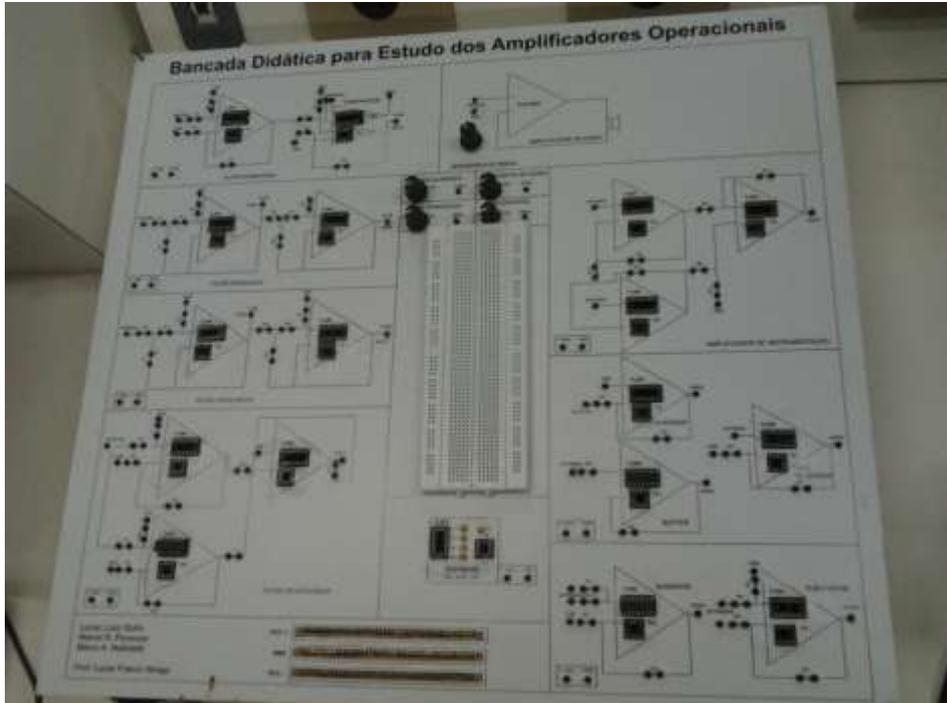


Figura 61 – Vista frontal bancada pronta
Fonte: Autoria Própria