



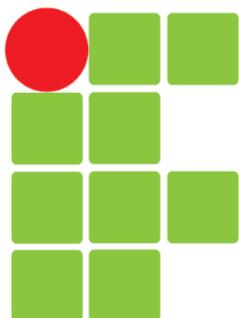
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA CATARINENSE
CAMPUS LUZERNA

Curso Técnico em Automação Industrial

Eletrônica Básica

Professor: Ricardo Kerschbaumer

11 de junho de 2019



Aluno: _____

INSTITUTO FEDERAL DE
EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CATARINENSE

Sumário

1	Introdução a Grandezas Elétricas	10
1.1	Introdução	10
1.2	Eletrostática	10
1.3	Tensão elétrica	12
1.4	Corrente elétrica	13
1.5	Condutores e isolantes	14
1.5.1	Materiais Condutores	14
1.5.2	Materiais Isolantes	14
1.5.3	Materiais Semicondutores	14
1.6	Circuitos elétricos	14
1.7	Associação de fontes	15
1.8	Resistência elétrica	16
1.9	Lei de Ohm	17
1.10	Potência elétrica	18
1.11	Corrente Alternada	18
1.12	Exercícios	21
2	Instrumentos de Medidas Elétricas	23
2.1	Voltímetro	24
2.2	Amperímetro	24
2.3	Alicate amperímetro	25
2.4	Ohmímetro	25
2.5	Wattímetro	26
2.6	Multímetro	26
2.7	Osciloscópio	27
2.7.1	Controles em um Osciloscópio	29
2.7.2	Medida de Tensão com o Osciloscópio	30
2.7.3	Medida de frequência com o osciloscópio	32
2.7.4	Posicionamento do Sinal na Tela	32
2.7.5	Trigger (Gatilhamento)	32
2.8	Gerador de Função	34
2.9	Protoboard	35
3	Resistores	38
3.1	Introdução	38
3.2	Os resistores na eletrônica	38
3.3	Resistência nominal	40
3.4	Resistores variáveis	40
3.5	O Código de cores	40
3.6	Associação de resistores	41
3.6.1	Associação de resistores em série	42
3.6.2	Associação de resistores em Paralelo	42

3.7	Exercícios	43
4	Capacitores	44
4.1	Introdução	44
4.2	Os capacitores	44
4.3	Associação de capacitores	45
4.4	Propriedades importantes dos capacitores	46
4.4.1	A polaridade dos capacitores	47
4.5	Valores dos capacitores	47
4.6	Carga e Descarga de Capacitores	48
4.6.1	Equações para carga do capacitor	49
4.6.2	Equações para descarga do capacitor	49
4.6.3	Constante de tempo do circuito	52
4.7	Experimento: carga e descarga de capacitores.	52
5	Indutores	54
5.1	Introdução	54
5.2	Os indutores	54
5.3	Indutância	54
5.4	Associação de Indutores	55
5.4.1	Associação de indutores em série	55
5.4.2	Associação de indutores em paralelo	55
5.5	Aplicações dos indutores	56
5.6	Exercícios	57
6	Diodos	58
6.1	Introdução	58
6.2	Os diodos	58
6.3	A construção dos diodos	60
6.4	Polarização dos diodos	61
6.5	Circuitos com diodos	62
6.6	Práticas com Diodos	68
6.7	Diodo Zener	72
6.8	Diodos Emissores de Luz (LEDs)	75
6.9	Práticas com Diodo Zener e LEDs	78
7	Transistor	80
7.1	Introdução	80
7.2	Os transistores	80
7.3	Funcionamento do Transistor	82
7.4	Polarização dos transistores	82
7.5	Aplicação do transistor como amplificador	85
7.6	Aplicação do transistor como chave	86
7.7	Práticas com Transistor	88

8	Amplificadores Operacionais	90
8.1	Introdução	90
8.2	Amplificadores operacionais	90
8.3	Alimentação do circuito	92
8.4	Comparador	92
8.5	Amplificador Inversor	93
8.6	Amplificador não Inversor	93
8.7	Somador	94
8.8	Subtrator	95
8.9	Práticas	96
9	Reguladores de tensão	98
9.1	Introdução	98
9.2	Os reguladores de tensão	98
9.3	Circuitos reguladores com componentes discretos	98
9.4	Reguladores de tensão integrados	100
9.5	Práticas	105
10	Placas de circuito impresso	106
10.1	Introdução	106
10.2	Placas de circuito impresso	106
10.3	Métodos de fabricação	108
10.4	Diagrama esquemático	108
10.5	Tipos de componentes	111
10.6	Layout da placa	112
10.7	Roteamento das trilhas	114
10.8	Capacidade de corrente	116
10.9	Ferramentas de software	116
10.10	Produção industrializada	117
10.11	Produção artesanal	117
10.12	Verificação da placa	120
10.13	Corrosão da placa	120
10.14	Furação da placa	124
10.15	Acabamento da placa	125
10.16	Montagem dos componentes	127
10.17	Finalização da placa	130

Lista de Figuras

1.1	Estrutura do átomo	10
1.2	Cargas elétricas	11
1.3	Eletrização por indução	11
1.4	Simbologia para fontes de tensão	12
1.5	Exemplos de fontes de tensão	12
1.6	Corrente elétrica	13
1.7	Sentido da corrente elétrica	13
1.8	Exemplo de circuito elétrico	15
1.9	Associação de fontes em série	15
1.10	Exemplo de associação de fontes em série	15
1.11	Associação de fontes em paralelo	16
1.12	Exemplo de associação de fontes em paralelo	16
1.13	Simbologia dos resistores	16
1.14	Relação entre tensão, corrente e resistência	17
1.15	Corrente alternada	18
1.16	Corrente contínua	19
1.17	Sinal alternado	19
1.18	Circuito do exercício 1	21
2.1	Multímetro analógico	23
2.2	Multímetro digital	23
2.3	Voltímetro	24
2.4	Amperímetro	24
2.5	Alicate amperímetro	25
2.6	Ohmímetro	25
2.7	Wattímetro	26
2.8	Multímetro	27
2.9	A fase de um sinal	28
2.10	Defasagem	29
2.11	Osciloscópio	29
2.12	Canais do osciloscópio	30
2.13	Seletor de Entrada AC/DC	30
2.14	Medida de tensão com o osciloscópio	31
2.15	Ajuste da escala de tensão	31
2.16	Exemplos de medida de tensão	32
2.17	Medida de frequência com o osciloscópio	33
2.18	Posicionamento do Sinal na Tela	33
2.19	Ajuste do trigger	33
2.20	Ajuste da ponteira	34
2.21	Formas de onda	35
2.22	Gerador de função	35
2.23	Protoboard	36

2.24	Ligações no protoboard	36
2.25	Exemplo de circuito no protoboard	37
3.1	Simbologia dos resistores	38
3.2	Resistor de filme de carbono	38
3.3	Resistor de fio	39
3.4	Resistor de filme metálico	39
3.5	Resistor SMD	39
3.6	Resistores variáveis	40
3.7	exemplos de resistores variáveis	40
3.8	O Código de cores	41
3.9	Associação de resistores em série	42
3.10	Associação de resistores em Paralelo	42
3.11	Exercício associação de resistores	43
4.1	simbologia dos capacitores	44
4.2	Construção do capacitor	45
4.3	Capacitores em série	45
4.4	Capacitores em paralelo	46
4.5	Polaridade dos capacitores	47
4.6	Valores dos capacitores	47
4.7	Circuito de carga e descarga dos capacitores	48
4.8	Curvas de carga e descarga dos capacitores	48
4.9	Resolução do exemplo 1	50
4.10	Resolução do exemplo 2	50
4.11	Resolução do exemplo 3	51
4.12	Resolução do exemplo 4	51
4.13	Experimento de carga e descarga de capacitores	52
5.1	Simbologia dos indutores	54
5.2	Formatos dos indutores	54
5.3	Indutores em série	55
5.4	Indutores em paralelo	55
5.5	Exercício associação de indutores	57
6.1	Símbolo do diodo	58
6.2	Terminais do diodo	58
6.3	Polarização dos diodos	58
6.4	Embalagens dos diodos	59
6.5	Diodos emissores de luz (LEDs)	60
6.6	Tipos de diodos	60
6.7	Construção dos diodos	60
6.8	Polarização dos diodos	61
6.9	Curva característica de um diodo	61
6.10	Curva característica completa de um diodo	62
6.11	Circuito retificador de meia onda	63
6.12	Sinais do circuito retificador de meia onda	63

6.13	Circuito retificador de onda completa	64
6.14	Sinais do circuito retificador de onda completa	64
6.15	Sinais nos diodos do retificador de onda completa	65
6.16	Retificador de onda completa em ponte	65
6.17	Sinais do retificador de onda completa em ponte	66
6.18	Filtros para retificadores	67
6.19	Sinal do retificador com filtro	67
6.20	Prática 1 com diodos	68
6.21	Prática 2 com diodos	68
6.22	Prática 3 com diodos	69
6.23	Prática 4 com diodos	69
6.24	Prática 5 com diodos	70
6.25	Prática 6 com diodos	70
6.26	Prática 7 com diodos	71
6.27	Prática 8 com diodos	71
6.28	Simbologia do diodo Zener	72
6.29	Embalagem do diodo Zener	72
6.30	Circuito com diodo Zener	72
6.31	Configuração do circuito com diodo Zener	73
6.32	Formulas para cálculo do resistor do Zener	73
6.33	Exemplo de cálculo do resistor do Zener	74
6.34	Resolução do cálculo do resistor do Zener	74
6.35	Símbolo do LED	75
6.36	Exemplos de LEDs	75
6.37	Displays de LED	75
6.38	Lâmpadas LED	76
6.39	Características dos LEDs	76
6.40	Polaridade do LED	76
6.41	Circuito típico com LED	77
6.42	Cálculo do resistor do LED	77
6.43	Circuito final do LED	77
6.44	Prática 1 com diodo Zener	78
6.45	Prática 2 com LED	79
7.1	Transistores bipolares de junção	80
7.2	Algumas embalagens dos transistores	81
7.3	Símbolos dos transistores PNP e NPN	81
7.4	Polarização dos transistores PNP e NPN	82
7.5	Circuitos de polarização dos transistores	83
7.6	Exemplo de polarização de transistor	83
7.7	Exemplo de cálculo da polarização de transistor	84
7.8	Amplificador de tensão com transistor	85
7.9	Amplificador de tensão com transistor	85
7.10	Formas de onda do amplificador de tensão com transistor	86
7.11	Transistor operando como chave	86
7.12	Prática 1 com transistor	88

7.13	Prática 2 com transistor	89
8.1	Simbologia dos amplificadores operacionais	90
8.2	Embalagens dos amplificadores operacionais	90
8.3	Pinagem de um amplificador operacional	91
8.4	Estrutura interna de um amplificador operacional	91
8.5	Alimentação de um amplificador operacional	92
8.6	Amplificador operacional como comparador	92
8.7	Amplificador operacional como amplificador inversor	93
8.8	Amplificador operacional como amplificador não inversor	93
8.9	Amplificador operacional como somador	94
8.10	Amplificador operacional como somador amplificador	94
8.11	Amplificador operacional como subtrator	95
8.12	Prática 1 com amplificador operacional	96
8.13	Prática 2 com amplificador operacional	97
9.1	Exemplo de utilização de um regulador de tensão	98
9.2	Regulador de tensão com zener	99
9.3	Regulador de tensão com transistor	99
9.4	Regulador de tensão com amplificador operacional	100
9.5	Regulador de tensão integrado	100
9.6	Regulador de tensão LM7805	100
9.7	Circuito interno do LM78XX	101
9.8	Circuito com regulador integrado	101
9.9	Família de reguladores LM78XX	102
9.10	Reguladores LM317	102
9.11	Reguladores LM79XX	103
9.12	Reguladores LM337	103
9.13	Fonte de +5V e -5V	104
9.14	Dissipadores de calor	104
9.15	Circuito para a prática 1	105
10.1	Placa de circuito impresso	106
10.2	Placa de circuito impresso	107
10.3	Diagrama esquemático típico	108
10.4	Alguns símbolos usados nos diagramas esquemáticos	109
10.5	Exemplos de componentes nos diagramas esquemáticos	110
10.6	Exemplos de etiquetas nos diagramas esquemáticos	110
10.7	Diagrama com sua moldura e legenda	111
10.8	Componentes PTH	112
10.9	Componentes SMD	112
10.10	Posicionamento dos componentes	113
10.11	Espaçamento entre as trilhas e os componentes	115
10.12	Ângulos nas trilhas	115
10.13	Capacidade de corrente das trilhas	116
10.14	Exemplo de layout para impressão	117
10.15	Limpeza da placa	118

10.16	Posicionamento para transferência	118
10.17	Aquecimento para transferência do desenho	119
10.18	Remoção do papel	119
10.19	Resultado da transferência	120
10.20	Fixação da placa	121
10.21	Corrosão da placa	121
10.22	Verificação da corrosão da placa	122
10.23	Placa após a corrosão	122
10.24	Placa após a lavagem	123
10.25	Placa com a tinta removida	123
10.26	Marcação dos furos da placa	124
10.27	Furação da placa	125
10.28	Acabamento da placa	125
10.29	Desenhos, nomes e valores dos componentes	126
10.30	Placa finalizada	126
10.31	Fixação da placa para montagem	127
10.32	Soldagem do componente	128
10.33	Aplicação de solda	128
10.34	Corte dos terminais	129
10.35	Placa com os componentes soldados	129
10.36	Placa finalizada	130

Lista de Tabelas

1.1	Múltiplos e submúltiplos	14
1.2	Tabela do exercício 1	21
1.3	Tabela do exercício 2	21
1.4	Tabela do exercício 3	22

Aula 1 Introdução a Grandezas Elétricas

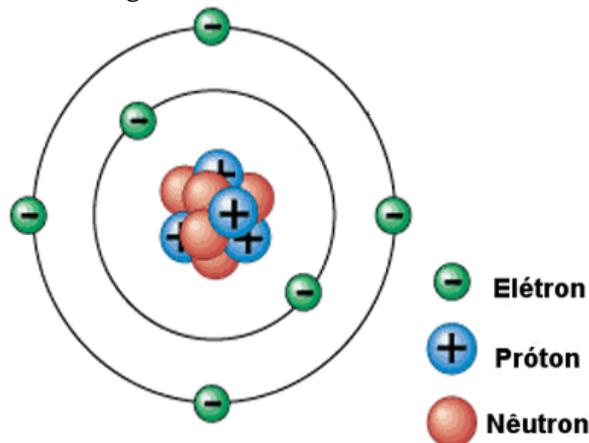
1.1 Introdução

O objetivo desta aula é propiciar aos alunos os conhecimentos básicos necessários para a compreensão dos assuntos relacionados a eletrônica básica.

1.2 Eletrostática

A unidade fundamental da matéria é o átomo, sendo assim, constitui-se da menor partícula de um elemento. O átomo é composto de um núcleo central contendo prótons (carga positiva) e nêutrons (carga nula). Na região ao redor do núcleo, chamada de eletrosfera, orbitam os elétrons (carga negativa), a figura 1.1 apresenta este modelo.

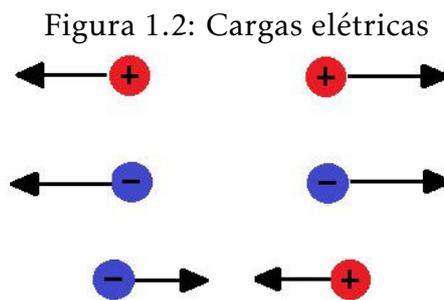
Figura 1.1: Estrutura do átomo



Os prótons, no núcleo do átomo atraem os elétrons, mantendo-os em órbita. Desde que a carga positiva dos prótons seja igual à carga negativa dos elétrons, o átomo é eletricamente neutro. Entretanto, essa igualdade de cargas pode ser alterada; se elétrons são retirados do átomo, este se torna carregado positivamente (+). Assim sendo, átomos carregados negativamente possuem maior número de elétrons enquanto átomos carregados positivamente possuem menor número de elétrons.

Os elétrons mais próximos ao núcleo tem maior dificuldade de se desprenderem de suas órbitas, devido a atração exercida pelo núcleo; assim os chamamos de elétrons presos. Os elétrons mais distantes do núcleo (última camada) têm maior facilidade de se desprenderem de suas órbitas porque a atração exercida pelo núcleo é pequena, assim recebem o nome de elétrons livres. Portanto, os elétrons livres se deslocam de um átomo para outro de forma desordenada, nos materiais condutores. Princípio da atração e repulsão das cargas elétricas: cargas elétricas de mesmo sinal repelem-se, e cargas de sinais contrários atraem-se. Veja a figura 1.2.

Levando em consideração o número de elétrons e prótons em um corpo é possível afirmar que ele é eletricamente carregado (positivamente ou negativamente) ou neutro. Para que



um corpo, inicialmente neutro, fique eletricamente carregado, ele precisa passar por um processo de eletrização, que pode ocorrer de três formas:

Eletrização por atrito: quando dois corpos neutros e feitos de diferentes materiais são atritados entre si, um deles ganha elétrons (adquire carga negativa) e o outro perde elétrons (adquire carga positiva). Nesse tipo de eletrização, os dois corpos ficam com carga de módulo igual, mas de sinais opostos.

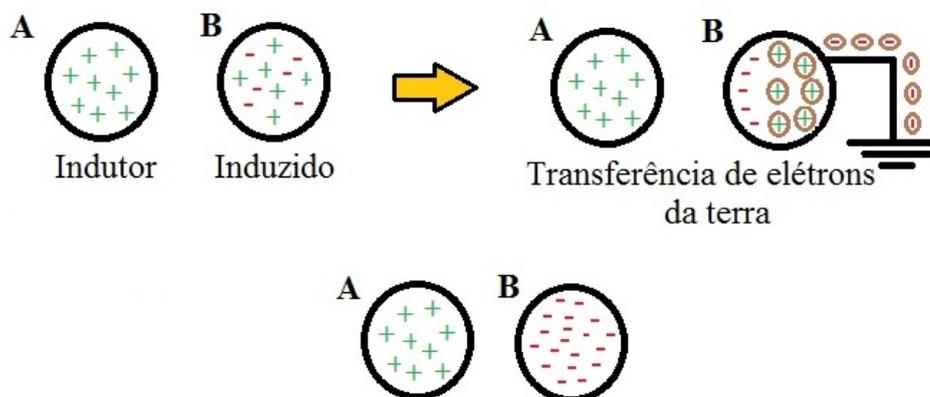
Eletrização por contato: ocorre quando dois corpos condutores, estando um deles eletrizado, são colocados em contato e a carga elétrica é redistribuída entre os dois, estabelecendo equilíbrio eletrostático. Ao fim desse processo, os dois corpos ficam com a mesma carga.

Eletrização por indução: esse processo de eletrização ocorre em três etapas:

- inicialmente se aproxima um corpo eletrizado de um corpo neutro, fazendo com que neste haja a separação de cargas;
- em seguida, conecta-se um condutor ao corpo neutro, ligando-o a terra, fazendo com que uma parte do condutor seja neutralizada;
- por fim, desconecta-se o corpo da terra e ele fica eletrizado com a mesma carga do corpo usado para induzir a separação de cargas.

A figura 1.3 demonstra este processo.

Figura 1.3: Eletrização por indução



Através destes processos um corpo adquire carga elétrica.

Potencial elétrico

Uma carga elétrica gera em seu redor um campo elétrico. Dá-se o nome de potencial elétrico a medida associada ao nível de energia potencial de um ponto de um campo elétrico. Colocando uma carga de prova q em um ponto P de um campo elétrico, essa carga adquire uma energia devido ao potencial elétrico deste ponto. A unidade de medida do potencial elétrico é o volt (V)

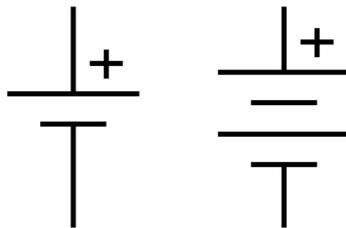
1.3 Tensão elétrica

A tensão elétrica, que também é medida em volt (V) é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos. A tensão elétrica indica o trabalho que deve ser feito, por unidade de carga, contra um campo elétrico para se movimentar uma carga qualquer.

Separando um corpo neutro em duas regiões com cargas opostas cria-se uma tensão elétrica entre essas regiões. Toda fonte de tensão é estabelecida com a simples criação de uma separação de cargas positivas e negativas.

A figura 1.4 apresenta o símbolo que representa a fontes de tensão nos diagramas eletrônicos.

Figura 1.4: Simbologia para fontes de tensão



A figura 1.5 são apresentados alguns exemplos de fontes de tensão e sua respectiva tensão em volts.

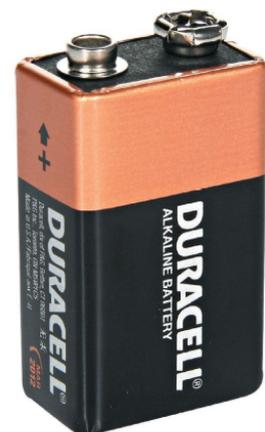
Figura 1.5: Exemplos de fontes de tensão



12V



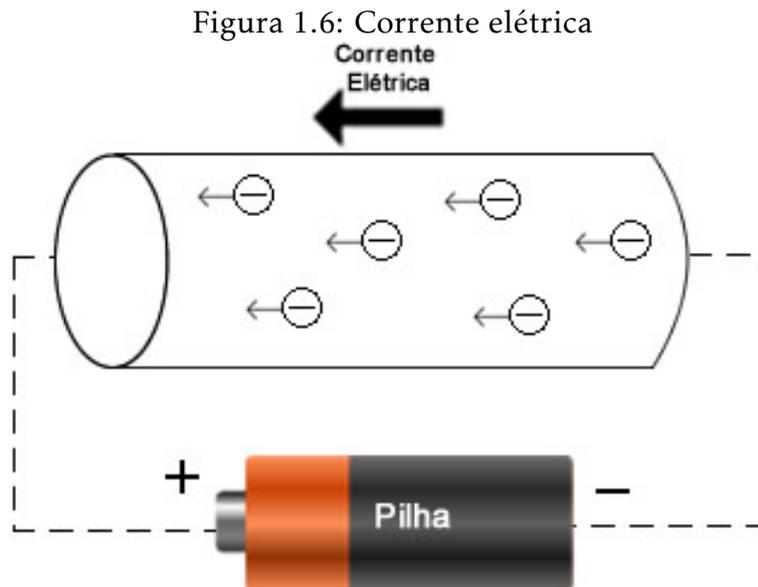
1,5V



9V

1.4 Corrente elétrica

O deslocamento de cargas elétricas para uma determinada direção e sentido é o que se chama de **corrente elétrica**. A corrente elétrica origina-se por meio de uma tensão elétrica aplicada entre dois pontos distintos no espaço. A figura 1.6 apresenta a corrente elétrica gerada por uma pilha em um material condutor.



Conceitualmente a **corrente elétrica** é o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica ou é o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades.

A unidade padrão para medida de intensidade de corrente é o **ampère (A)**. A corrente elétrica é normalmente simbolizada pela letra **I**.

O sentido adotado convencionalmente para a corrente elétrica é o sentido contrário ao fluxo de elétrons no condutor. A figura 1.7 apresenta esta ideia.



Desta forma adotamos para a realização dos cálculos a corrente no sentido convencional, ou seja, saindo pelo polo positivo da fonte e entrando pelo polo negativo da mesma.

Como os valores de corrente elétrica utilizados nos cálculos podem ser muito grandes ou muito pequenos é comum a utilização de uma notação com múltiplos e submúltiplos. A tabela 1.1 apresenta os múltiplos mais utilizados.

Tabela 1.1: Múltiplos e submúltiplos

Múltiplo/submúltiplo	Símbolo	Valor
Giga	G	10^9
Mega	M	10^6
Kilo	K	10^3
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}

1.5 Condutores e isolantes

Com relação a condução de corrente elétrica podemos classificar os materiais como condutores, isolantes ou semicondutores de corrente elétrica.

1.5.1 Materiais Condutores

Dizemos que um material é condutor, quando os elétrons são fracamente ligados ao núcleo e ao serem submetidos a uma diferença de potencial passam a se locomover no interior do material. Podemos citar como exemplo o ouro, a prata, o cobre e outros.

1.5.2 Materiais Isolantes

Dizemos que um material é isolante, quando os elétrons se encontram fortemente presos em suas ligações, evitando a circulação desses elétrons. Podemos citar como exemplo, a borracha, a mica, a porcelana, etc.

1.5.3 Materiais Semicondutores

Dizemos que um material é semicondutor se sua resistência se encontra entre a dos condutores e a dos isolantes. Os principais semicondutores utilizados são:

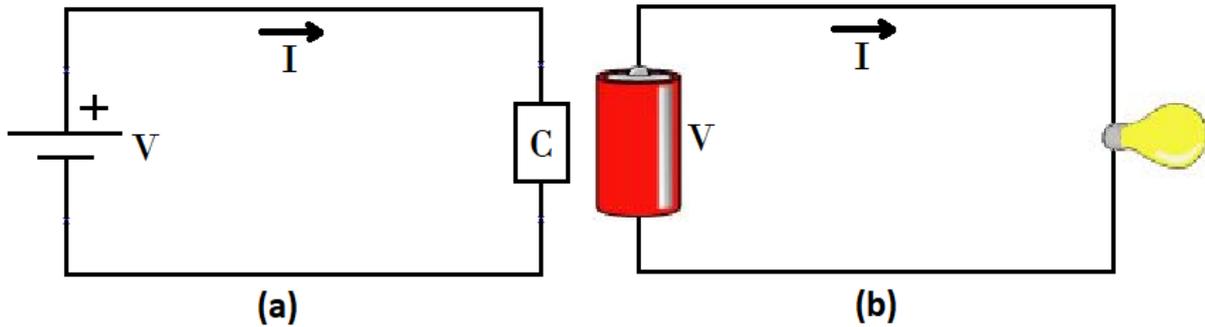
Silício (Si)

Germânio (Ge)

1.6 Circuitos elétricos

Costuma-se chamar de circuito elétrico um caminho fechado por onde a corrente elétrica pode circular. A figura 1.8 (a) apresenta um circuito elétrico onde uma fonte de tensão V produz uma corrente I que sai pelo seu polo positivo, passa por uma carga C e retorna para a fonte pelo polo negativo. A figura 1.8 (b) apresenta um exemplo prático de circuito deste tipo.

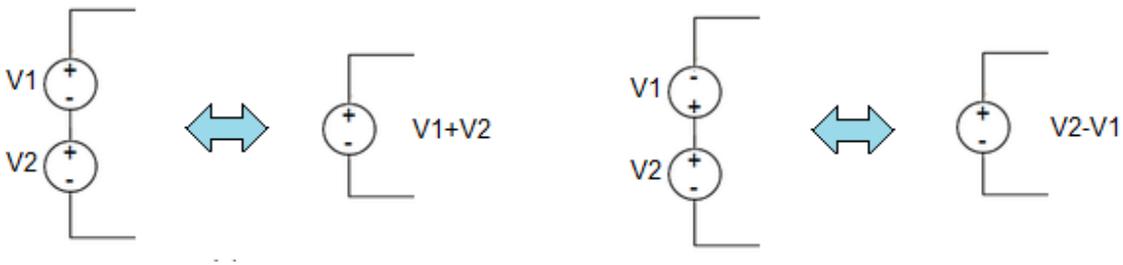
Figura 1.8: Exemplo de circuito elétrico



1.7 Associação de fontes

É comum que as fontes de tensão sejam associadas em série ou paralelo de forma a fornecer mais tensão ou corrente. A figura 1.9 apresenta a forma de determinar a tensão resultante da associação em série de duas fontes de tensão.

Figura 1.9: Associação de fontes em série



A figura 1.10 apresenta um exemplo de associação de fontes de tensão em série.

Figura 1.10: Exemplo de associação de fontes em série



É importante prestar atenção a polaridade das fontes. Fontes associadas com a mesma polaridade tem sua tensão somada. Fontes associadas com polaridade invertida tem sua tensão subtraída.

A associação de fontes em paralelo é um pouco mais delicada, pois somente é possível associar fontes com a mesma tensão. Caso as fontes sejam de tensões diferentes ocorrerá uma troca de corrente entre elas, podendo ocasionar a sobrecarga das mesmas.

A figura 1.11 apresenta a associação de fontes em paralelo.

A figura 1.12 apresenta um exemplo de associação de fontes em paralelo.

Figura 1.11: Associação de fontes em paralelo

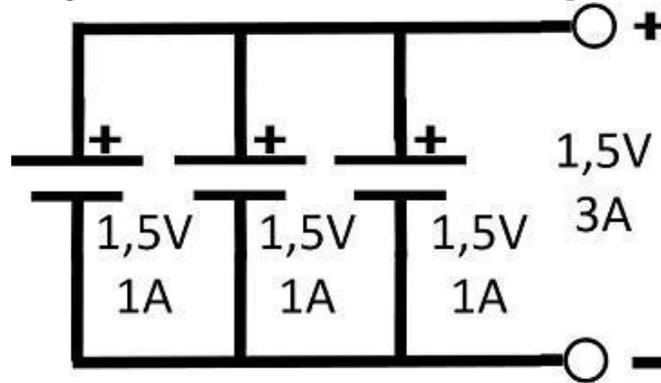
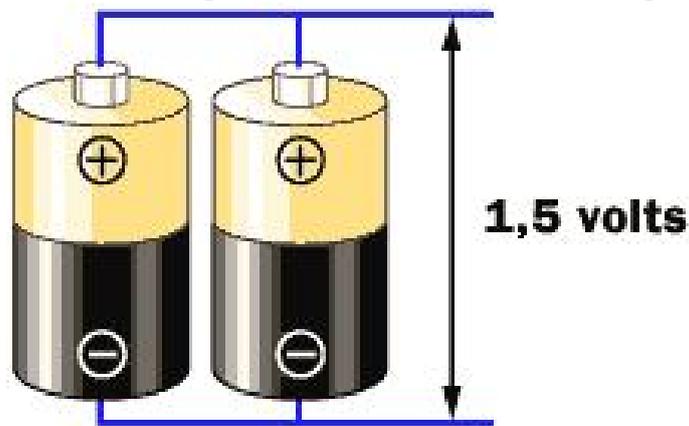


Figura 1.12: Exemplo de associação de fontes em paralelo

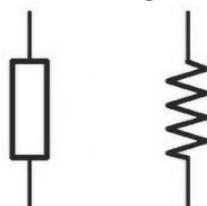


1.8 Resistência elétrica

A resistência elétrica é a capacidade de um corpo qualquer se opor à passagem de corrente elétrica mesmo quando existe uma diferença de potencial aplicada. A unidade de medida de resistência elétrica é dada em **ohms (Ω)**. A resistência é normalmente simbolizada pela letra **R**.

A resistência elétrica está presente em todos os condutores, mas existe um componente eletrônico específico chamado resistor que tem a função é adicionar resistência elétrica a um circuito. A figura 1.13 apresenta o símbolo adotado nos diagramas eletrônicos para o resistor. Estes componentes serão estudados mais a frente neste curso.

Figura 1.13: Simbologia dos resistores



A figura 1.14 ilustra a relação entre tensão, corrente e resistência.

Figura 1.14: Relação entre tensão, corrente e resistência



1.9 Lei de Ohm

A 1ª lei de Ohm revela como as 3 grandezas básicas da eletricidade (tensão, corrente e resistência) se relacionam. Esta lei é dada pela equação 1.1.

$$V = R \cdot I \quad (1.1)$$

Onde V é a tensão, R é a resistência e I é a corrente.

É fácil observar que se tivermos quaisquer duas grandezas é possível determinar a terceira, como pode-se observar nas equações 1.2 e 1.3.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.2)$$

$$I = \frac{V}{R} \quad (1.3)$$

1.10 Potência elétrica

A potência é um indicativo da quantidade de conversão de energia que pode ser realizado em um certo período de tempo. Ou seja, a quantidade de energia que está realizando trabalho. A unidade de potência é dada em **watts (W)**. A potência é normalmente simbolizada pela letra **P**.

A potência consumida por um sistema elétrico pode ser determinada em função dos valores de tensão, corrente e resistência. As equações 1.4, 1.5 e 1.6 relacionam estes três valores.

$$P = V \cdot I \quad (1.4)$$

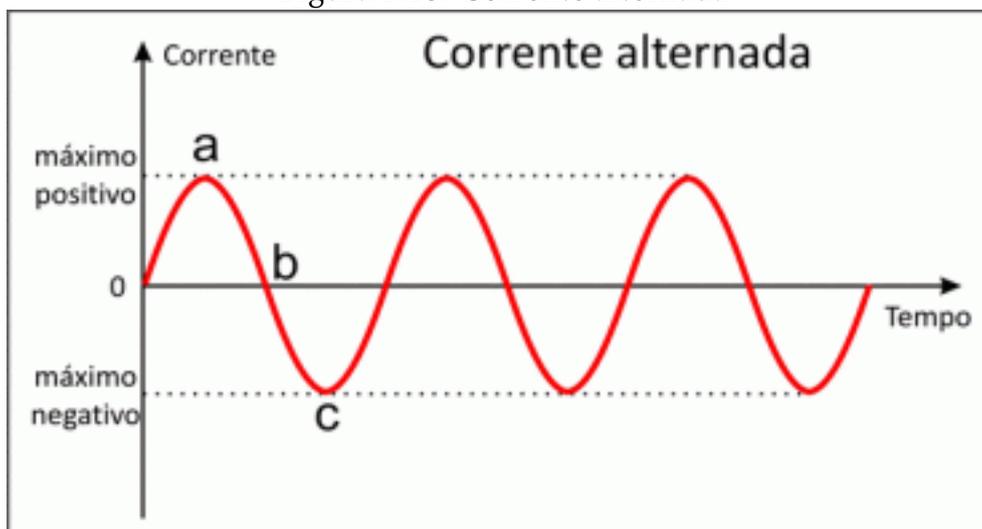
$$P = R \cdot I^2 \quad (1.5)$$

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1.6)$$

1.11 Corrente Alternada

Corrente alternada ou CA (AC em inglês) é a corrente elétrica na qual a intensidade e a direção das grandezas variam ciclicamente, diferentemente da **corrente contínua**, CC (DC em inglês) que não varia com o tempo. As figuras 1.15 e 1.16 mostram a variação no tempo de um sinal alternado e contínuo.

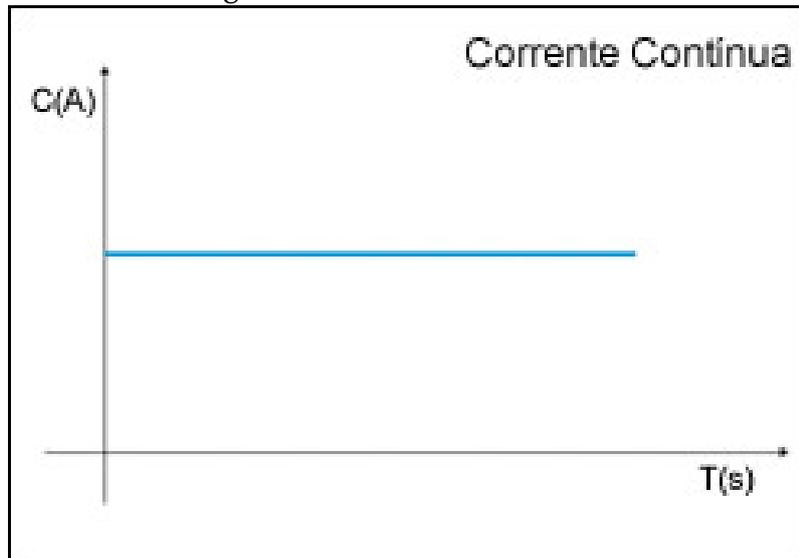
Figura 1.15: Corrente alternada



A corrente alternada apresenta várias vantagens sobre a corrente contínua, como por exemplo a possibilidade da utilização de transformadores elevadores, que possibilitam a transmissão da energia por longas distâncias minimizando as perdas.

Um sinal de corrente ou tensão alternada possui um conjunto de grandezas relacionado a suas características que não existem na tensão ou corrente contínua.

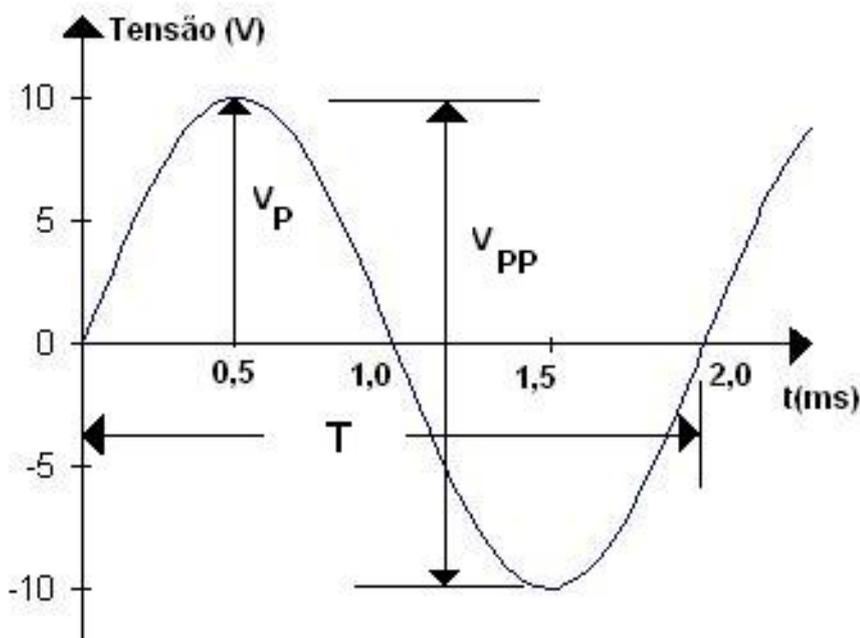
Figura 1.16: Corrente contínua



Como a corrente alternada apresenta uma forma senoidal, variando entre picos positivos e negativos regularmente é possível determinar algumas grandezas diretamente destas características.

A figura 1.17 apresenta as principais grandezas de um sinal de tensão ou corrente alternada.

Figura 1.17: Sinal alternado



Estas grandezas são:

Valor de pico (V_p). O valor de pico é o valor máximo (positivo ou negativo) atingido pelo sinal. Na figura 1.17 tem-se um sinal de tensão cujo valor de pico é 10V, $V_p = 10V$.

Valor de pico a pico (V_{pp}). O valor de pico a pico é o valor entre o pico máximo positivo e o pico máximo negativo. Normalmente o valor de pico a pico é o dobro do valor de pico. $V_{pp} = 2 \cdot V_p$. Na figura 1.17 o valor de pico a pico é 20V. $V_{pp} = 20V$.

Período (T). Outra grandeza importante é o período. O Período é a medida do tempo necessário para que o sinal complete um ciclo completo. Na figura 1.17 o período é de 2,0 ms. $T = 2,0ms$.

Frequência (F). A frequência está relacionada com o número de vezes que um sinal se repete em um segundo. Ou seja, o número de ciclos por segundo. A unidade de medida de frequência é o **Hertz (Hz)**. A frequência de um sinal pode ser obtida do período pela equação 1.7.

$$F = \frac{1}{T} \quad (1.7)$$

onde F é a frequência em **Hz** e T é o período em segundos (**s**). Assim para o exemplo anterior é possível determinar a frequência usando a equação 1.8.

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{2ms} = \frac{1}{0,002s} = 500Hz \quad (1.8)$$

Valor eficaz (V_{ef}) Geralmente, a tensão ou corrente alternada é medida por seu valor eficaz, que é o valor quadrático médio desse sinal elétrico (em inglês é chamado de *root mean square*, ou **rms**). O valor eficaz é importante pois possibilita o cálculo da potência consumida por uma carga. Se a tensão CC de valor V_{cc} transfere certa potência P para a carga dada, então uma tensão CA de valor V_{ef} irá entregar a mesma potência média P para a mesma carga. A tensão eficaz, por exemplo, é representada por V_{ef} ou V_{rms} . A unidade de medida continua sendo **Volts (V)**.

O valor eficaz de um sinal de tensão ou corrente alternada pode ser obtido facilmente de seu valor de pico através da equação 1.9.

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} \quad (1.9)$$

Para o exemplo anterior podemos obter o Valor eficaz (V_{ef}) conforme a equação 1.10.

$$V_{ef} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{10V}{1,4142} = 7,07V \quad (1.10)$$

Também é possível obter o valor de pico V_p a partir do valor eficaz V_{ef} . Por exemplo, para nossa rede de distribuição de energia elétrica o valor de tensão eficaz é de 220 V ($V_{ef} = 220V$). O valor de pico para esta tensão pode ser obtido conforme equação 1.11.

$$V_p = V_{ef} \cdot \sqrt{2} = 220V \cdot 1,4142 = 311,12V \quad (1.11)$$

1.12 Exercícios

1) Considerando o circuito da figura 1.18 calcule os valores que estão faltando na tabela 1.2 utilizando as equações apresentadas nesta aula.

Figura 1.18: Circuito do exercício 1

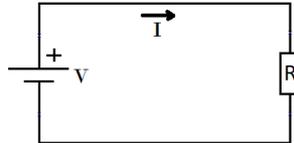


Tabela 1.2: Tabela do exercício 1

V	R	I	P
10V	2 Ω		
18V	4,5 Ω		
4,7V	2,5 Ω		
	5 Ω	3,3A	
	1,6 Ω	5A	
	1,6 Ω	8,9A	
		3,9A	7,2W
		9,7A	5,3W
		7,1A	2,2W

2) Calcule os valores que estão faltando na tabela 1.3 utilizando as equações apresentadas nesta aula.

Tabela 1.3: Tabela do exercício 2

V_p	V_{pp}	V_{ef}
10V		
18V		
4,7V		
	5V	
	1,6V	
	8,9V	
		3,9V
		9,7V

3) Calcule os valores que estão faltando na tabela 1.4 utilizando as equações apresentadas nesta aula.

Tabela 1.4: Tabela do exercício 3

T	F
4,5s	
10,8s	
7,6s	
	5,5Hz
	1,6Hz
	9,4Hz

Aula 2 Instrumentos de Medidas Eléctricas

Os instrumentos de medidas servem para mensurar grandezas físicas. Os valores medidos podem ser obtidos de forma analógica ou digital.

Analógico: No instrumento analógico, o resultado é mostrado por um ponteiro que deflete sobre uma escala graduada. A leitura é feita por meio da analogia entre o valor indicado e o valor de fundo de escala selecionado. A figura 2.1 apresenta um multímetro analógico.

Figura 2.1: Multímetro analógico



Digital: No instrumento digital, o resultado é mostrado diretamente num *display*, conforme o valor de fundo de escala selecionado. A figura 2.2 apresenta um multímetro digital.

Figura 2.2: Multímetro digital

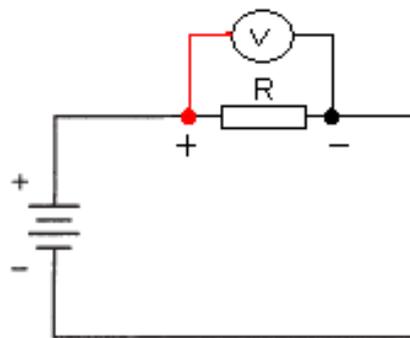


Estes instrumentos de medida nos permitem realizar vários tipos de medidas elétricas. A seguir serão apresentadas as principais medidas relacionadas a eletrônica básica.

2.1 Voltímetro

Instrumento utilizado para a medida de tensão elétrica. Possui duas pontas de prova, utilizadas para medir a tensão nos terminais de uma fonte de tensão, entre dois pontos qualquer de um circuito elétrico, ou ainda entre um ponto e uma referência. Deve ser conectado em paralelo com os pontos do circuito a serem medidos, conforme a figura 2.3.

Figura 2.3: Voltímetro

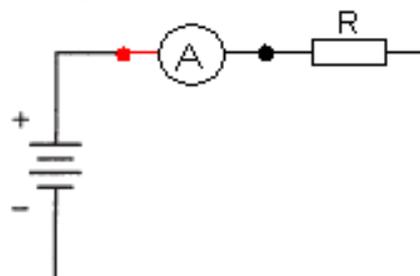


Devido o instrumento oferecer um caminho paralelo de corrente ao elemento ou circuito a ser medido, o mesmo deve apresentar uma impedância de entrada na ordem de $M\Omega$, desta forma garante menor interferência no circuito, diminuindo erros de medição.

2.2 Amperímetro

Instrumento de medida da corrente elétrica. Deve ser conectado em série com o circuito onde deseja medir a corrente, conforme a figura 2.3.

Figura 2.4: Amperímetro



Para medir a corrente, o circuito deve ser aberto no ponto desejado ligando-se assim o amperímetro em série, para que a corrente passe por ele. Um instrumento que mede corrente produz uma pequena queda de tensão em si mesmo, o que pode afetar a operação do circuito. Portanto, o amperímetro deve apresentar baixa impedância.

2.3 Alicate amperímetro

A medição de corrente pela interrupção do circuito e introdução do amperímetro em série não é possível em determinadas situações (linha de alta tensão, circuito energizado, etc.). Neste caso uma amostra da corrente pode ser obtida pelo campo magnético criado no exterior do condutor (lei de Ampère). Nele, a corrente é medida de forma indireta, a partir do campo magnético que surge em torno do condutor.

Existem alicates amperímetro que medem tanto corrente contínua quanto alternada.

A vantagem desse amperímetro é que, além de não necessitar abrir o condutor para realizar a medida, ele oferece maior proteção para o operador, principalmente quando a corrente a ser medida é de alta intensidade. A figura 2.5 apresenta um alicate amperímetro digital.

Figura 2.5: Alicate amperímetro

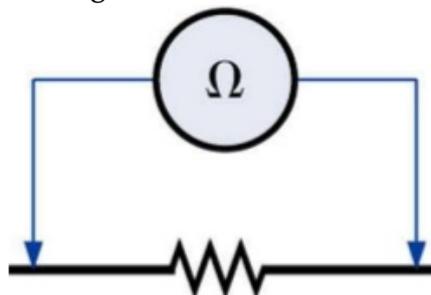


2.4 Ohmímetro

Instrumento utilizado para a medição de resistência elétrica. Deve ser ligado em paralelo com os terminais do elemento a ser medido.

Para medir a resistência elétrica de uma resistência fixa ou variável, ou ainda, de um conjunto de resistores interligados, é preciso que eles não estejam submetidos a nenhuma tensão, pois isso poderia acarretar erro de medida ou até danificar o instrumento. Assim, é necessário desconectar o dispositivo do circuito para a medida de sua resistência. A figura 2.6 apresenta este processo.

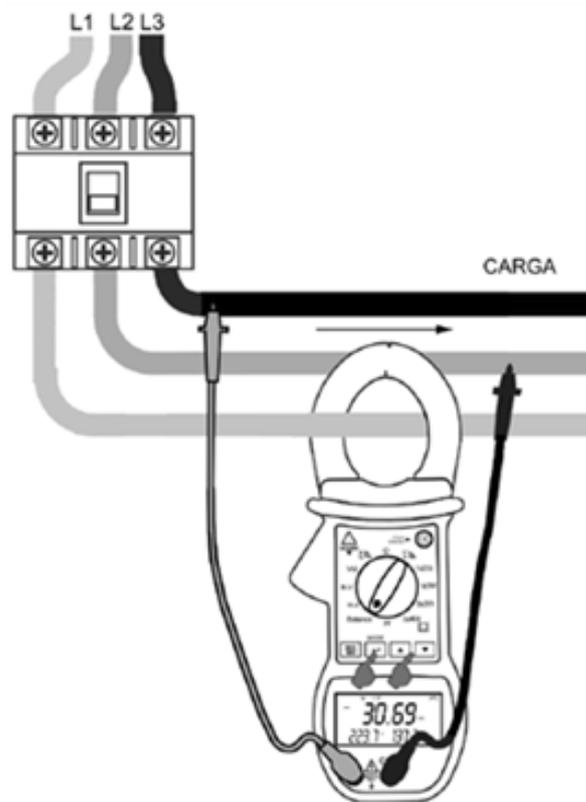
Figura 2.6: Ohmímetro



2.5 Wattímetro

O wattímetro é um instrumento que permite medir a **potência** elétrica fornecida ou consumida por um elemento. O wattímetro implementa o produto das grandezas tensão e corrente. Na figura 2.7 é apresentado um exemplo, onde utiliza-se uma Alicate Wattímetro para a medição da potência trifásica, com uma carga equilibrada conectada a um sistema trifásico a três fios.

Figura 2.7: Wattímetro



2.6 Multímetro

É um instrumento de medida multifuncional que integra funções de voltímetro, amperímetro e ohmímetro, além de outras funções relacionadas com o teste de dispositivos eletrônicos. O multímetro, seja analógico ou digital, possui dois terminais nos quais são ligadas as pontas de prova ou pontas de teste. A ponta de prova vermelha deve ser ligada ao terminal positivo do multímetro (vermelho ou marcado com o sinal +) e a ponta de prova preta deve ser ligada ao terminal comum do multímetro (preto ou marcado com sinal -). Além disso, deve-se selecionar a grandeza a ser medida, bem como o fundo de escala apropriado para a medição. Um multímetro digital com a descrição do painel frontal é apresentado na figura 2.8.

Os instrumentos comuns de medição em corrente alternada (voltímetros, amperímetros e multímetros) fornecem valores eficazes somente para sinais senoidais. Para ondas senoidais

Figura 2.8: Multímetro



com distorção e outras formas de onda alternadas como quadradas, triangulares, o multímetro deve apresentar leituras True-RMS. Os multímetros True-RMS medem com precisão formas de ondas distorcidas.

2.7 Osciloscópio

O osciloscópio é um instrumento de medida que permite visualizar em tempo real a amplitude de uma tensão elétrica variável no tempo. O eixo horizontal (eixo x) é o eixo do tempo, o eixo vertical (eixo y) é o eixo das amplitudes dos sinais.

Características: O instrumento mais utilizado para medição de grandezas em eletrônica é o multímetro, este fornece uma informação numérica sobre o sinal medido. O osciloscópio, por outro lado, mostra a forma de onda, proporcionando uma análise exata do sinal elétrico.

Dentre as inúmeras análises que podem ser feitas sobre um sinal medido com um osciloscópio, as mais comuns são:

- Valores de amplitude do sinal;
- Período e frequência de um sinal periódico;
- A componente contínua (CC) e alternada (CA) de um sinal;
- A defasagem entre duas ondas;
- A intensidade de ruído em um sinal;

O osciloscópio pode medir um grande número de fenômenos, com auxílio de um transdutor adequado (um elemento que converte uma grandeza física em sinal elétrica) é capaz de medir pressão, ritmo cardíaco, potência de saída, nível de vibração, e uma infinidade de fenômenos variáveis no tempo.

Analógico e Digital: Os osciloscópios podem ser analógicos ou digitais.

Os osciloscópios analógicos funcionam aplicando a tensão medida praticamente direta a duas placas que criam um campo elétrico, provocando o desvio de um feixe de elétrons que se desloca para a tela, gerando a imagem. Isto permite observar o valor da amplitude do sinal no eixo vertical.

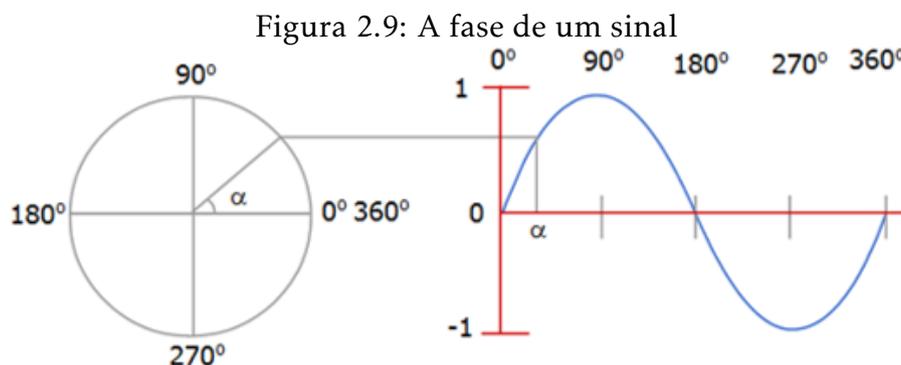
Os osciloscópios digitais retiram amostras do sinal original, convertendo-as para um formato digital, através de um conversor A/D. Esta informação digital é armazenada numa memória e seguidamente reconstruída e representada na tela.

Os osciloscópios analógicos eram normalmente preferidos para visualizar sinais com variações muito rápidas (altas frequências) em tempo-real. O desenvolvimento dos osciloscópios digitais fez com que os osciloscópios analógicos se tornassem ultrapassados. Os osciloscópios digitais permitem o armazenamento e posterior visualização das formas de onda, proporcionando analisar eventos não repetitivos (picos de tensão que são produzidos aleatoriamente). Além de funções como somar e subtrair sinais entre canais, calcular valores médios, máximos e mínimos, determinar períodos e frequências de oscilação dos sinais medidos, imprimir ou transferir para um computador o conteúdo do visor, etc.

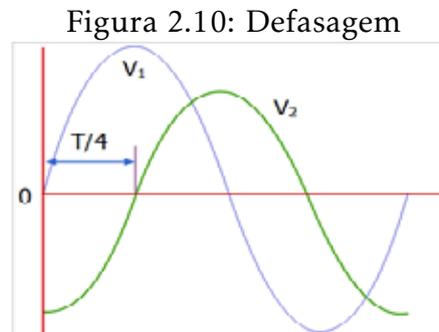
Largura de Banda (BandWidth): A especificação da largura de banda diz-nos qual a frequência máxima dos sinais que pode-se analisar. A largura de banda poderá variar desde a ordem dos 20 a 30 Mhz até 1 Ghz. À medida que a frequência dos sinais aumenta, diminui a capacidade de resposta do osciloscópio. Por convenção, a largura de banda é a frequência em que a amplitude do sinal desenhado é reduzida para 70.7% da amplitude do sinal (senoidal) de entrada. Esta redução de 70.7% equivale a -3 dB, na escala logarítmica.

Frequência de Amostragem (Sample Rate) Nos osciloscópios digitais, a frequência de amostragem indica quantas amostras são adquiridas por segundo. A frequência de amostragem máxima de um osciloscópio é normalmente expressa em Mega amostras por segundo (MS/s). Quanto maior a frequência máxima de amostragem de um osciloscópio, maior a exatidão com que ele representa os detalhes de um sinal com variações rápidas. A frequência mínima de amostragem poderá também ser relevante na medição de sinais com variações muito lentas, durante longos períodos de tempo. Tipicamente, a frequência de amostragem muda quando se altera o comando de Sec/Div, de modo a manter um número constante de pontos no registro do sinal.

Fase: Para entender o conceito, considere uma forma de onda senoidal, que pode ser entendida como um movimento circular que se propaga ao longo de um eixo, o qual pode representar uma distância ou tempo. Um ciclo do sinal senoidal abrange os 360°. Veja a figura 2.9.



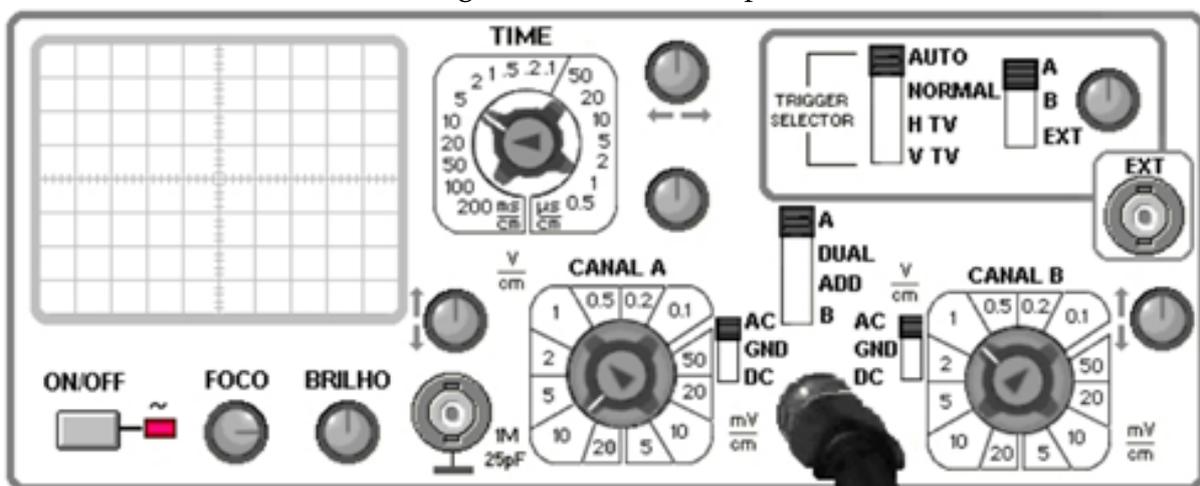
Quando se compara os sinais senoidais de uma mesma frequência pode ocorrer que ambas não estão em fase, ou seja, que não coincidam no tempo os pontos equivalentes de ambos sinais. Neste caso diz-se que ambos os sinais estão defasados. Por exemplo, na figura 2.10 as duas senoides estão defasadas em 90° .



2.7.1 Controles em um Osciloscópio

Como exemplo, vamos utilizar um osciloscópio básico representado na figura 2.11, contendo os ajustes básicos.

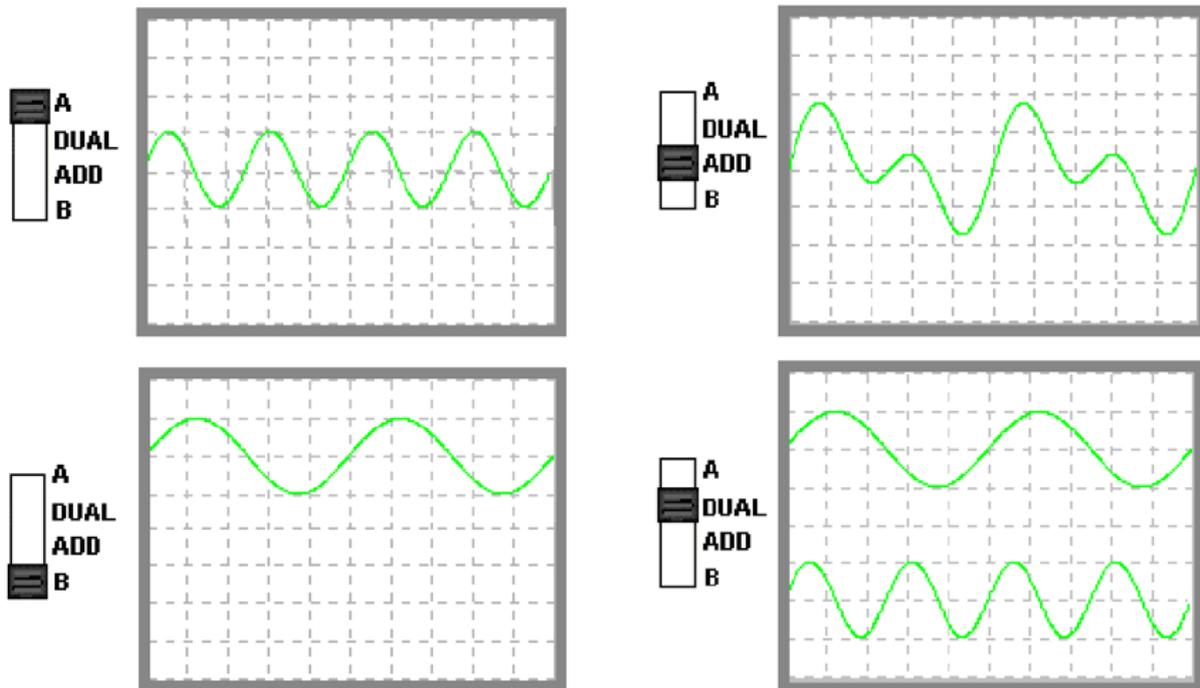
Figura 2.11: Osciloscópio



Os osciloscópios são dotados de uma ponta de prova por canal, cujos dois terminais devem ser ligados em paralelo com o elemento cuja a tensão se pretende medir.

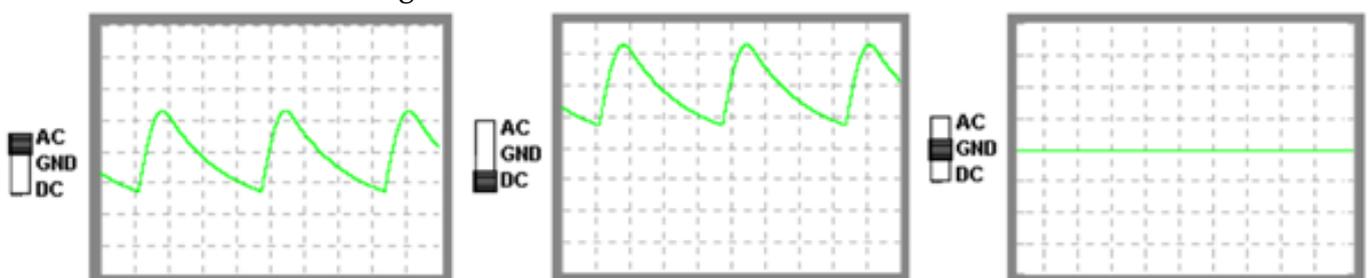
Seletor do Canal: Esta chave permite selecionar qual o canal será visualizado na tela. Na posição A ou CH1 observa-se o sinal aplicado ao canal 1 do osciloscópio. Na posição B ou CH2 observa-se o sinal aplicado ao canal 2 do osciloscópio. Na posição DUAL visualiza-se os sinais aplicados nos dois canais ao mesmo tempo. Na posição ADD pode-se obter a soma dos dois sinais aplicados no osciloscópio, veja alguns exemplos na figura 2.12.

Figura 2.12: Canais do osciloscópio



Seletor de Entrada AC/DC: É chamada chave de acoplamento de entrada. Seleciona o tipo de tensão que está sendo aplicada à entrada do osciloscópio. Em DC o sinal completo é exibido na tela. Em CA, a componente contínua (DC) é bloqueada e é mostrado somente a componente alternada do sinal. Na posição GND (terra), a entrada do sinal é desconectada e a tela passa a exibir o terra do chassi do osciloscópio, apenas um traço horizontal na tela, veja alguns exemplos na figura 2.13.

Figura 2.13: Seletor de Entrada AC/DC

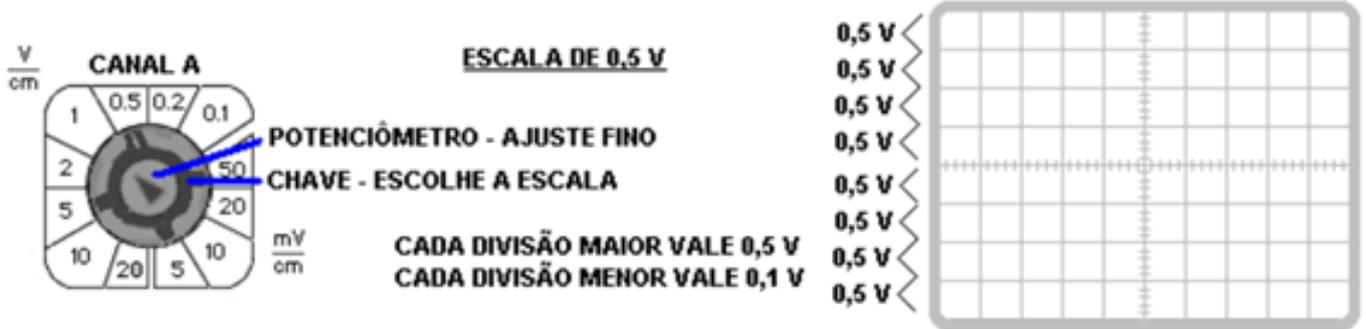


2.7.2 Medida de Tensão com o Osciloscópio

Para cada canal do osciloscópio há uma chave seletora de tensão. A tensão é lida no eixo vertical da tela (Y). Veja o exemplo na figura 2.14.

Cada posição da chave indica o valor de cada divisão (em centímetros) para cima ou para baixo do eixo central.

Figura 2.14: Medida de tensão com o osciloscópio



Observe que cada divisão possui 5 subdivisões. Observar que a ponta de prova utilizada na medição também influencia o fator de escala, ponteira pode trabalhar com fatores 10x ou 1x a amplitude do sinal, veja o exemplo na figura 2.15.

Figura 2.15: Ajuste da escala de tensão



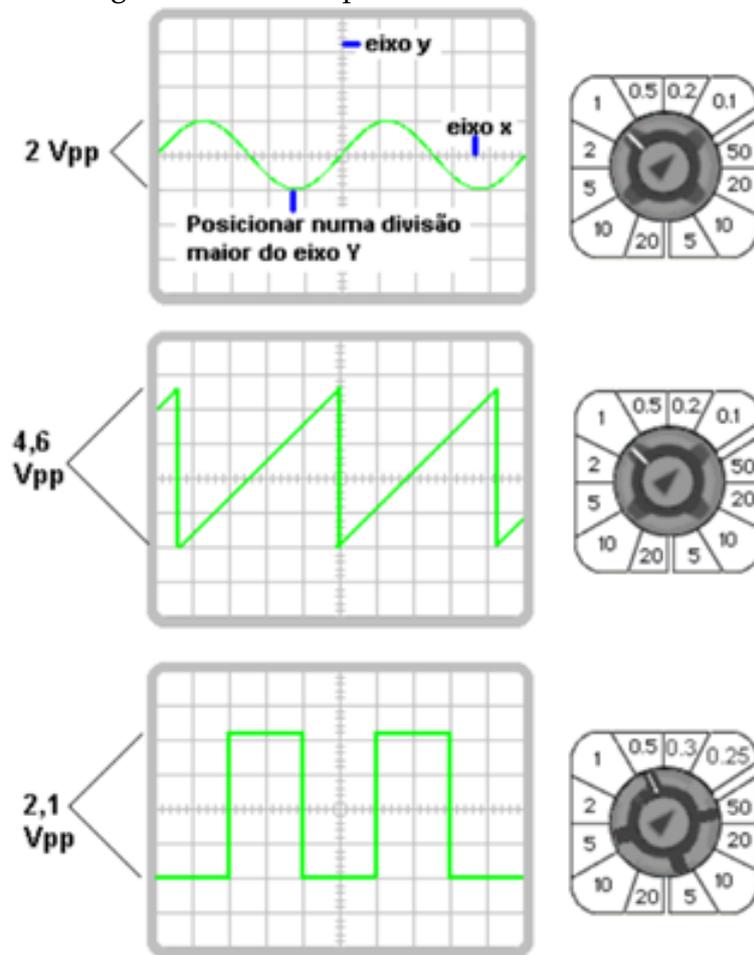
Se não se sabe o valor da tensão do sinal que vai ser medido, comece com a maior escala e use o fator $\times 10$ da ponta de prova. Após vá abaixando a escala até se conseguir uma leitura precisa do valor. Deve-se certificar também a tensão máxima que as ponteiros e osciloscópio suportam.

Para a leitura da tensão, o procedimento é basicamente o seguinte:

1. Deve-se ajustar os botões Volt/Divisão e Sec/Divisão até obter uma boa visualização do sinal.
2. Ler o número de divisões na amplitude do sinal e multiplicar pela escala V/Div selecionada.

Veja alguns exemplos na figura 2.16.

Figura 2.16: Exemplos de medida de tensão



2.7.3 Medida de frequência com o osciloscópio

No osciloscópio, a frequência é lida no eixo horizontal (x). Porém não é a frequência que se determina e sim o período do sinal.

Veja na figura 2.17 o botão que seleciona o tempo para cada divisão no eixo horizontal:

2.7.4 Posicionamento do Sinal na Tela

O osciloscópio dispõe de dois controles para movimentar o sinal indicado na tela. Um deles movimenta para cima e para baixo, sendo útil para posicionar o sinal numa divisão inteira para a leitura da tensão. O outro movimenta para os lados, sendo útil para posicionar o ciclo do sinal no início de uma divisão horizontal para a leitura do período e por consequência, da frequência do mesmo. Veja na figura 2.18

2.7.5 Trigger (Gatilhamento)

O trigger ou gatilhamento é um sinal usado para sincronizar o osciloscópio de modo a mostrar a forma de onda estável na tela. O sinal de trigger pode ser aplicado por um cabo externo ou pode ser usado o próprio sinal a ser medido para sincronizar o osciloscópio.

Figura 2.17: Medida de frequência com o osciloscópio

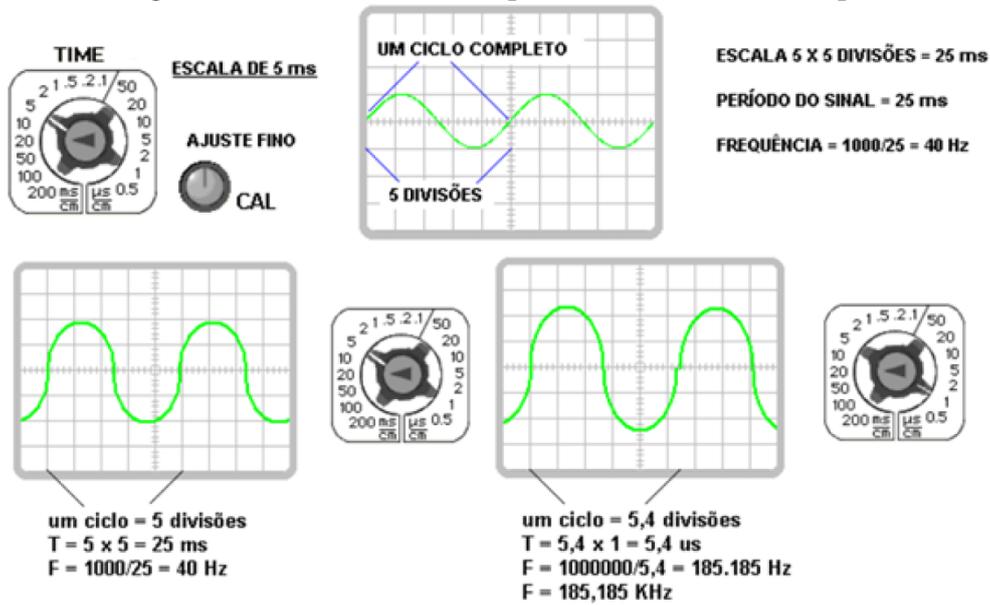
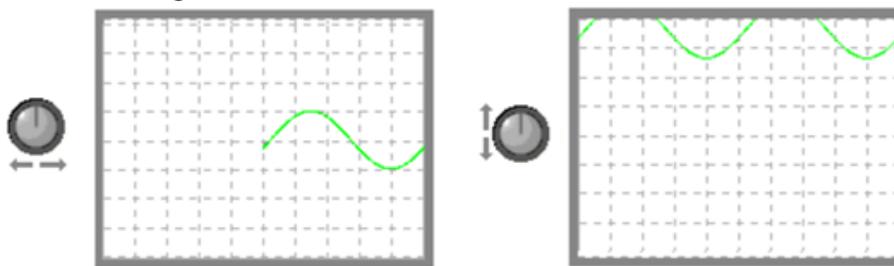


Figura 2.18: Posicionamento do Sinal na Tela



Normalmente há duas chaves no painel do osciloscópio que escolhe o tipo e a fonte de trigger para sincronizar a imagem. Veja na figura 2.19

Figura 2.19: Ajuste do trigger



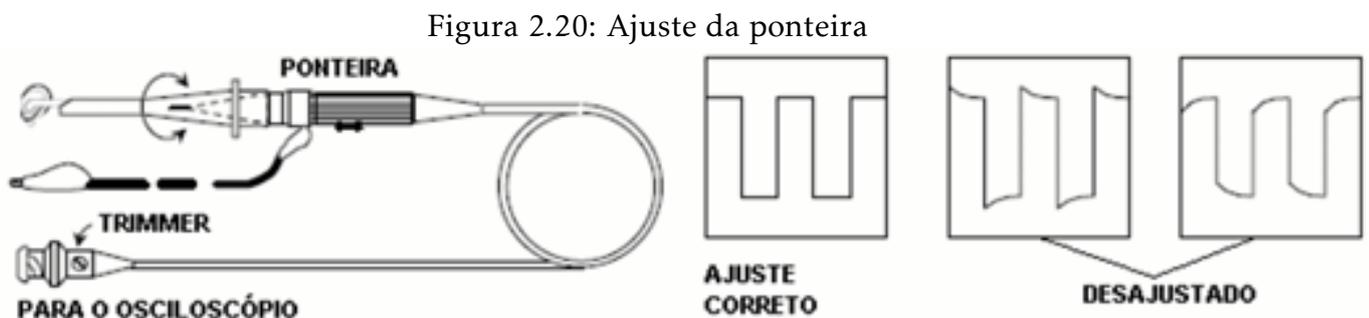
São disponibilizados os seguintes ajustes do trigger:

- Auto - O osciloscópio mostra o traço mesmo sem sinal, e mostra o sinal sem o trigger;
- Normal – Aparece o traço na tela somente na ocorrência de trigger;
- H TV - Usa o sincronismo horizontal de TV para gatilhar a forma de onda mostrada na tela;

- V TV - Usa o sincronismo vertical de TV para gatilhar a onda mostrada na tela;
- A - Seleciona o próprio sinal aplicado no canal 1 (CH1) como fonte de trigger;
- B - Seleciona o próprio sinal aplicado no canal 2 (CH2) como fonte de trigger;
- EXT - Seleciona um sinal externo (extra) para o trigger;
- Potenciômetro LEVEL – Seleciona o nível de amplitude para o trigger ocorrer, ajustando o melhor ponto de sincronismo. Ao girar todo para um lado a forma de onda começa no meio ciclo positivo e para o outro lado o meio ciclo negativo. Deve ficar na posição na qual a forma de onda mostrada na tela fique parada para uma leitura correta. Se o potenciômetro estiver desajustado ou a entrada do sinal trigger selecionada não for adequada ao sinal a ser mostrado, a imagem ficará "correndo" na tela.

Ajuste da ponteira de prova Na extremidade da ponteira que vai conectada na entrada do canal do osciloscópio há um trimmer que deve ser ajustado para apresentar imagens sem distorções. O ajuste é feito da seguinte forma:

Encoste a ponteira no terminal de ajuste. Gire a chave de tensão e de tempo até aparecer uma onda quadrada na tela. Se esta onda estiver distorcida nas bordas, gire o trimmer até a onda ficar perfeitamente quadrada. Veja na figura 2.20

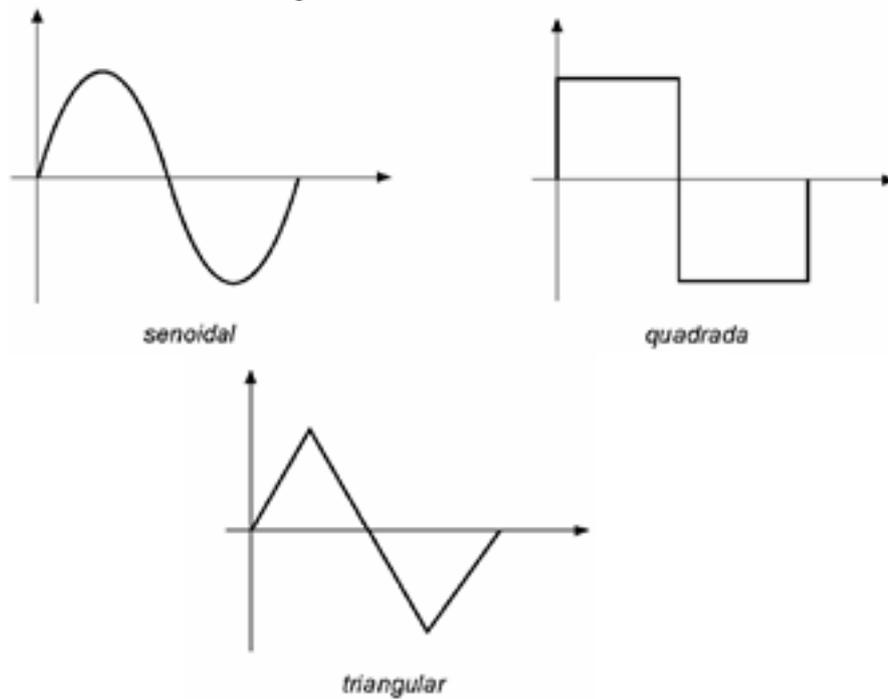


2.8 Gerador de Função

Um gerador de funções é um aparelho eletrônico utilizado para gerar sinais elétricos. Os Tipos de sinais fornecidos variam de acordo com o modelo/fabricante. Dentre os mais comuns fornecidos pelo gerador estão as formas de ondas: senoidal, quadrada e triangular, veja na figura 2.21

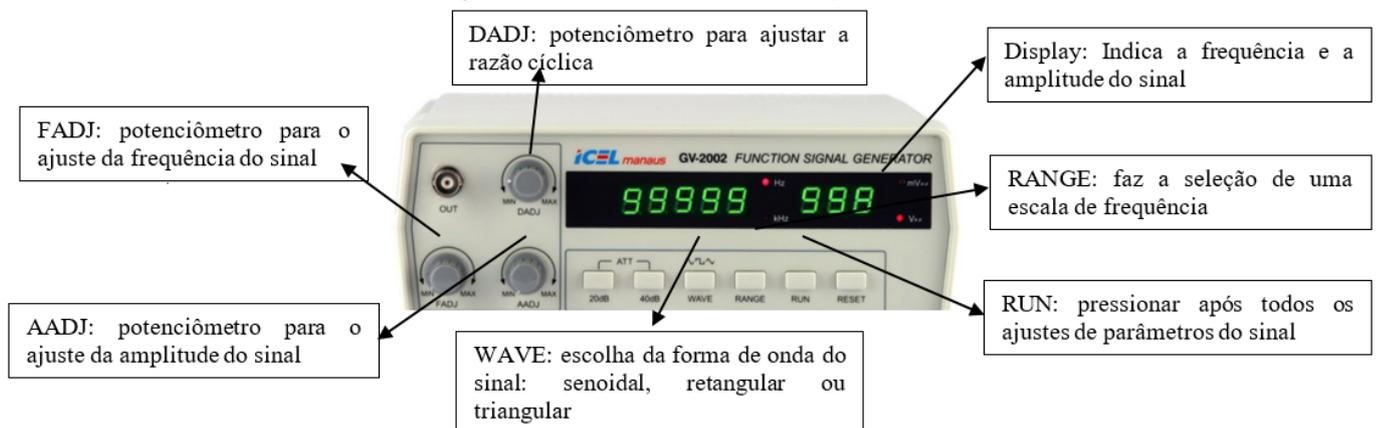
Além da forma de onda, é possível especificar outros parâmetros do sinal, tais como amplitude, frequência, razão cíclica, etc. Geralmente a faixa de frequência é de alguns hertz a alguns megahertz. A amplitude do sinal pode ser ajustada de alguns milivolts a alguns Volts.

Figura 2.21: Formas de onda



A figura 2.22 ilustra um gerador de funções, com a descrição dos principais itens do painel frontal.

Figura 2.22: Gerador de função

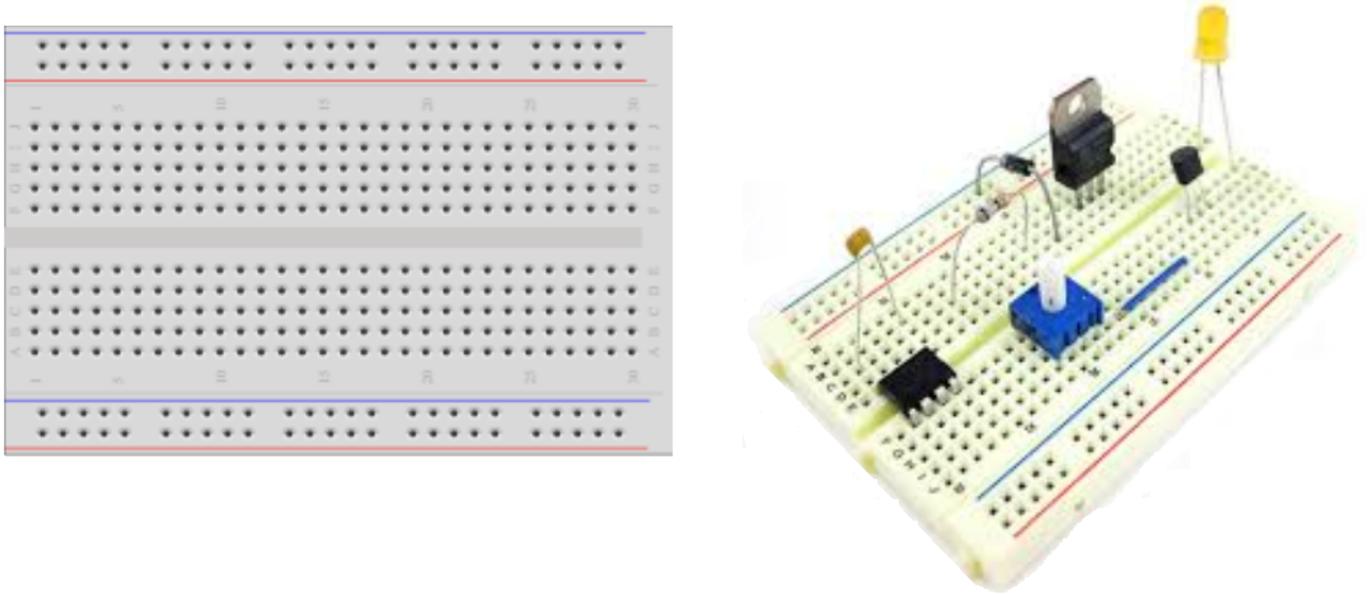


2.9 Protoboard

Protoboard ou placa de ensaio ou ainda matriz de contato, (breadboard em inglês) é uma placa com furos e conexões condutoras para montagem de circuitos eletrônicos experimentais.

A grande vantagem deste equipamento na montagem de circuitos eletrônicos é a facilidade de inserção de componentes, uma vez que não necessita soldagem. A figura 2.23 apresenta imagens de protoboards com e sem componentes.

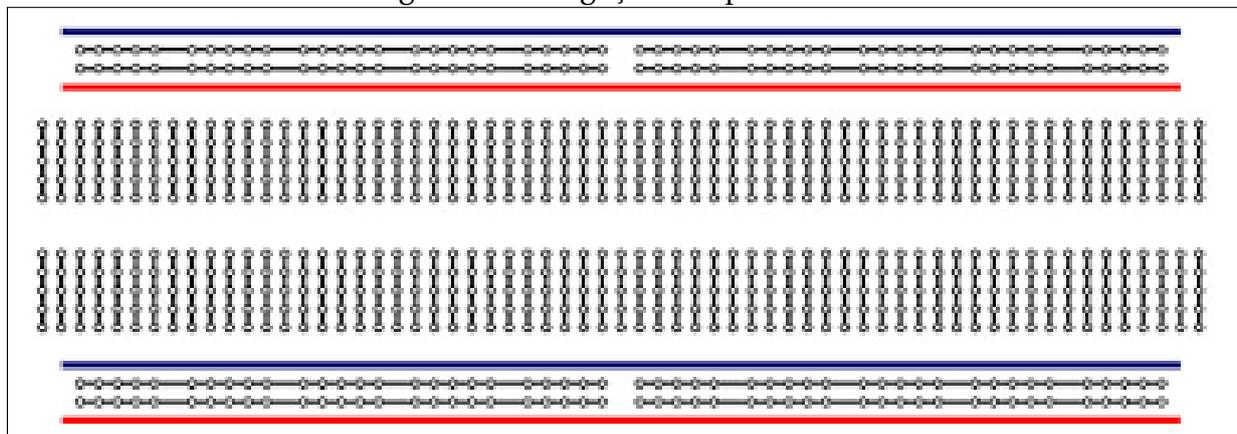
Figura 2.23: Protoboard



Estas placas variam de 800 furos até 6000 furos, tendo conexões verticais e horizontais. Na superfície de um protoboard há uma base de plástico em que existem centenas de orifícios onde são encaixados os componentes. Em sua parte inferior são instalados contatos metálicos que interligam eletricamente os componentes inseridos na placa. Geralmente suportam correntes entre 1 A e 3 A.

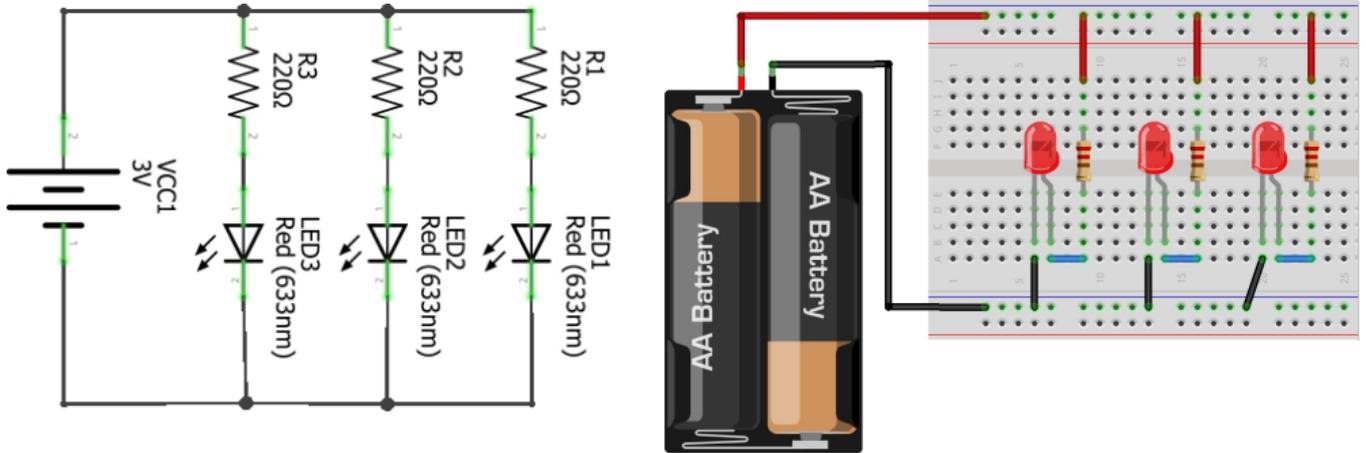
Os contatos metálicos estão em diferentes sentidos na matriz. Como você pode observar na figura 2.24, a placa de montagem possui a matriz principal em seu meio e duas linhas superiores e duas inferiores em cada matriz (alguns possuem apenas uma linha). Nestes últimos, os contatos estão na horizontal, enquanto na matriz principal eles estão na vertical.

Figura 2.24: Ligações no protoboard



Na figura 2.25 é possível observar um circuito na forma de desenho esquemático e sua montagem no protoboard.

Figura 2.25: Exemplo de circuito no protoboard



Aula 3 Resistores

3.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar um dos componentes mais comuns da eletrônica, o resistor. O resistor tem várias aplicações, sendo utilizado principalmente para limitar a corrente que circula em um determinado circuito.

3.2 Os resistores na eletrônica

Resistor é um componente formado por um corpo cilíndrico de cerâmica sobre o qual é depositada uma camada de material resistivo. Esse material determina o tipo e o valor de resistência nominal do resistor. Ele é dotado de dois terminais colocados nas extremidades do corpo em contato com o filme resistivo. Os resistores são utilizados nos circuitos eletrônicos para limitar a corrente elétrica e, conseqüentemente, reduzir ou dividir tensões.

Os símbolos da figura 3.1 representam os resistores nos diagramas eletrônicos.

Figura 3.1: Simbologia dos resistores

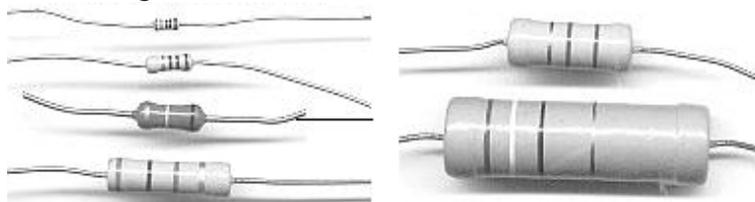


Os resistores são componentes que formam a maioria dos circuitos eletrônicos. Eles são fabricados com materiais de alta resistividade com a finalidade de oferecer maior resistência à passagem da corrente elétrica. Dificilmente se encontrará um equipamento eletrônico que não use resistores.

Existem quatro tipos de resistores fixos, que são:

Resistor de filme de carbono: também conhecido como resistor de película, apresenta formatos e tamanhos variados como mostra a figura 3.2. Esse tipo de resistor constitui-se por um corpo cilíndrico de cerâmica que serve de base à fabricação do componente. Sobre o corpo do componente é depositada uma fina camada de filme de carbono, que é um material resistivo.

Figura 3.2: Resistor de filme de carbono



Resistor de fio: constitui-se de um corpo de porcelana ou cerâmica, sobre este corpo enrola-se um fio especial, geralmente de níquel-cromo. O comprimento e seção desse fio

determinam o valor do resistor, que tem capacidade para operar com valores altos de corrente elétrica. Aplicado em circuitos de grande potência. A figura 3.3 ilustra este tipo de resistores.

Figura 3.3: Resistor de fio



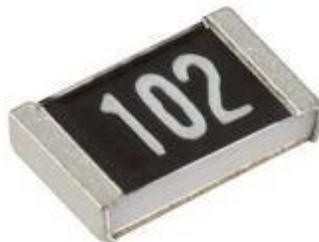
Resistor de filme metálico: tem o mesmo formato que os resistores de filme de carbono o que diferencia é o fato do material resistivo é uma película de níquel, que resulta em valores ôhmicos mais precisos. Aplicação em circuitos de precisão, computadores, circuitos lógicos. A figura 3.4 ilustra este tipo de resistores.

Figura 3.4: Resistor de filme metálico



Resistor SMD: resistor montado em superfície é constituído de um minúsculo corpo de cerâmica com alto grau de pureza no qual é depositada uma camada vítrea metalizada formada por uma liga de cromo-silício. Aplicação em circuitos eletrônicos, através de máquinas de inserção automática, por tamanho muito pequeno. Potência pequenas. A figura 3.5 ilustra este tipo de resistores.

Figura 3.5: Resistor SMD



Produzidos pôr máquinas especiais que utilizam raios laser para o ajuste final da resistência nominal. Pôr isso, dificilmente, são encontrados no mercado resistores para uso geral com percentual de tolerância maior do que $\pm 5\%$.

3.3 Resistência nominal

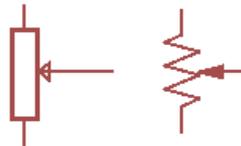
É o valor da resistência elétrica especificada pelo fabricante. Esse valor é expresso em ohms (Ω), em valores padronizados estabelecidos pela norma IEC63.

Assim, por exemplo, pode-se ter resistores de 18Ω , 120Ω , $4k7\Omega$, $1M\Omega$. Ou seja, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82 e 91. Como esses números determinam os valores comerciais dos resistores, eles devem ser memorizados para facilitar a identificação e especificação desses componentes. Dependendo do tipo de resistor e de sua aplicação, a faixa de valores comerciais pode variar. Portanto, os manuais de fabricantes devem ser consultados a fim de que sejam obtidas as informações mais específicas sobre os componentes.

3.4 Resistores variáveis

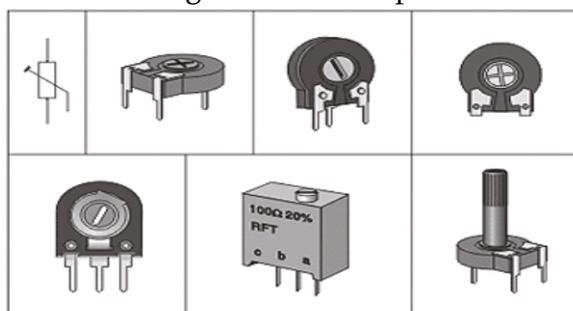
São resistores que tem uma faixa variável de resistência, sendo esta ajustada através de um mecanismo mecânico. Estes dispositivos são chamados de potenciômetros. A figura 3.6 mostra a simbologia adotada para estes componentes.

Figura 3.6: Resistores variáveis



As figuras 3.7 mostram a aparência de alguns potenciômetros encontrados no mercado.

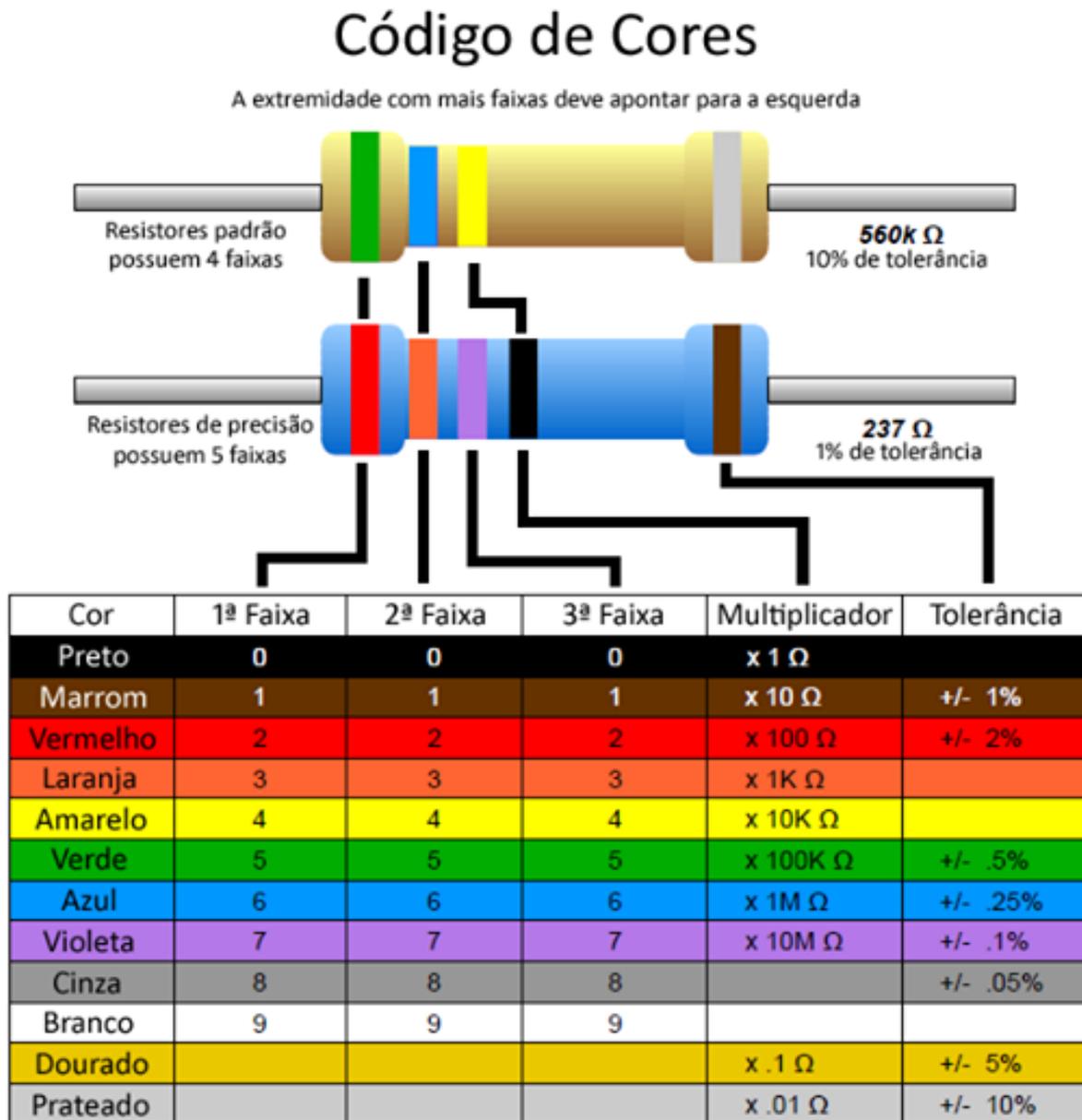
Figura 3.7: exemplos de resistores variáveis



3.5 O Código de cores

É usado para identificar visualmente o valor da resistência de um resistor. A figura 3.8 mostra os valores de cada uma das cores para resistores com quatro ou cinco anéis de identificação.

Figura 3.8: O Código de cores



3.6 Associação de resistores

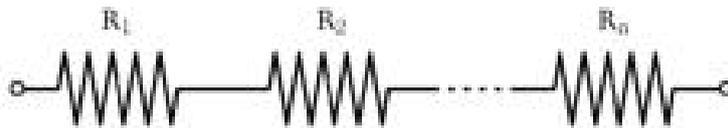
É um recurso útil para que se possa atingir valores de resistores diferentes dos comerciais. A associação de resistores consiste em ligar dois ou mais resistores de forma a conseguir o valor de resistência desejado.

As principais formas de associar resistores são: associação em série e associação em paralelo.

3.6.1 Associação de resistores em série

A associação de resistores em série se dá quando os elementos estão conectados conforme a figura 3.9.

Figura 3.9: Associação de resistores em série



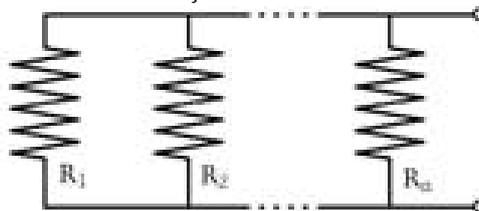
A resistência equivalente R_{eq} é dada pela equação 3.1.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (3.1)$$

3.6.2 Associação de resistores em Paralelo

A associação de resistores em Paralelo se dá quando os elementos estão conectados conforme a figura 3.10.

Figura 3.10: Associação de resistores em Paralelo



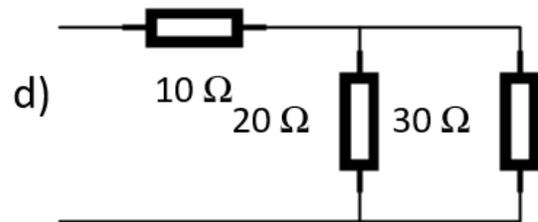
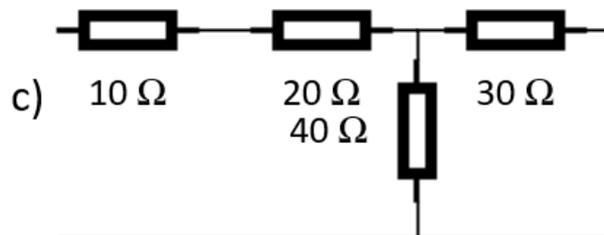
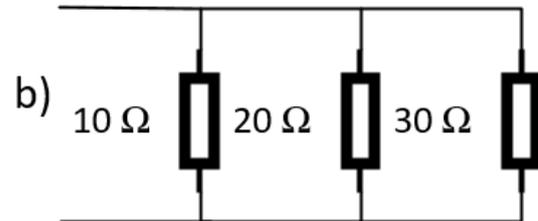
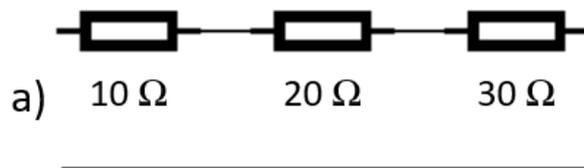
A resistência equivalente R_{eq} é dada pela equação 3.2.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (3.2)$$

3.7 Exercícios

- 1) Determine o valor da resistência equivalente R_{eq} para os circuitos da figura 3.11.

Figura 3.11: Exercício associação de resistores



Aula 4 Capacitores

4.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar outro dos componentes importantes da eletrônica, o capacitor. O capacitor tem várias aplicações, sendo utilizados principalmente para armazenar energia, remover ou evitar ruídos e filtrar sinais.

4.2 Os capacitores

Capacitores são dispositivos que armazenam energia elétrica na forma de campo elétrico, armazenando cargas elétricas em suas armaduras. Forma-se então uma ddp (diferença de potencial) entre estas armaduras. Esta ddp muda, sempre que a quantidade de cargas armazenadas é alterada. Esse movimento de cargas, para dentro e para fora das armaduras do capacitor, constitui uma corrente elétrica.

Existe uma interdependência entre a variação da tensão e a corrente que atravessa o capacitor. Quanto mais rapidamente variar a tensão sobre o capacitor, maior será a corrente que o atravessa. Para variações de tensão num intervalo de tempo extremamente pequeno, a corrente através do capacitor tende a infinito. Como na prática não é possível obter-se correntes infinitas, concluímos que a tensão nos terminais do capacitor não pode variar instantaneamente.

A figura 4.1 a seguir apresenta a simbologia adotada para os capacitores.

Figura 4.1: simbologia dos capacitores



Capacitância de um capacitor: é uma propriedade característica de cada capacitor. Ela é constante e diretamente proporcional à diferença de potencial aplicada ao componente e é definida como sendo a razão entre a carga (Q) armazenada no capacitor e a tensão ou ddp (V) aplicada nas armaduras. A equação 4.1 relaciona estas grandezas.

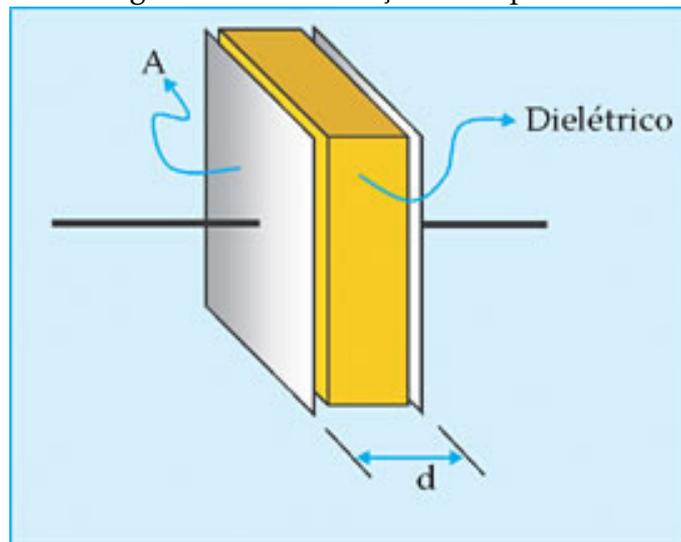
$$C = \frac{Q}{V} \quad (4.1)$$

No Sistema Internacional de Unidades a capacitância é medida em **farad**, representado pela letra F , no entanto é muito comum a utilização de submúltiplos, como o microfarad ($1\mu F = 10^{-6}F$), por exemplo.

Apesar de ser constante, a capacitância depende de alguns fatores que são próprios do capacitor, são estes fatores que determinam seu valor. A área das armaduras influencia na capacitância, veja a figura 4.2. A capacitância é diretamente proporcional à área de cada uma das placas que constituem o capacitor. Esta característica é importante principalmente na construção de capacitores variáveis.

Outro fator determinante para a capacitância é a espessura do dielétrico. É possível verificar que a capacitância será cada vez maior quanto menor for a distância entre as placas do capacitor, ou seja, a capacitância é inversamente proporcional à distância entre as placas. O dielétrico também é um fator determinante na capacitância, de modo que a sua natureza influencia no valor do capacitor.

Figura 4.2: Construção do capacitor

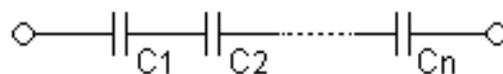


4.3 Associação de capacitores

Assim com nos resistores é um recurso útil para que se possa atingir valores de capacitâncias diferentes das comerciais. A associação de capacitores consiste em ligar dois ou mais elementos de forma a conseguir o valor de capacitância desejado. As principais formas de associar capacitores são: associação em série e associação em paralelo.

A associação de capacitores em série: se da quando os elementos estão conectados conforme a figura 4.3.

Figura 4.3: Capacitores em série



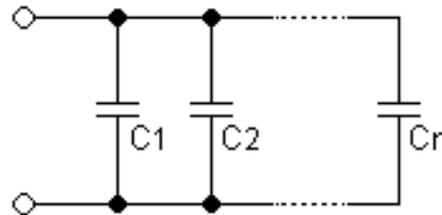
A capacitância equivalente C_{eq} é dada pela equação 4.2.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \quad (4.2)$$

A associação de capacitores em Paralelo: se da quando os elementos estão conectados conforme a figura 4.4.

A capacitância equivalente C_{eq} é dada pela equação 4.3.

Figura 4.4: Capacitores em paralelo



$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n \quad (4.3)$$

Os capacitores comuns apresentam-se com tolerâncias de 5 % ou 10 %. Capacitores são frequentemente classificados de acordo com o material usados como dielétrico. Os seguintes tipos de dielétricos são usados:

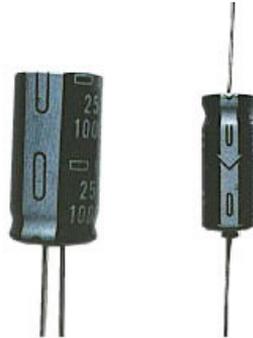
- cerâmica (valores baixos até cerca de 1 μF) Baixo preço e tamanho pequeno.
- poliestireno (geralmente na escala de picofarads)
- poliéster (de aproximadamente 1 nF até 10 μF)
- polipropilêno (baixa perda. alta tensão, resistente a avarias)
- tântalo (compacto, dispositivo de baixa tensão, de até 100 μF aproximadamente)
- eletrolítico (de alta potência, compacto mas com muita perda, na escala de 1 μF a 100000 μF)

4.4 Propriedades importantes dos capacitores

Além de sua capacitância, existem outras propriedades importantes, como a máxima tensão de trabalho e a quantidade de energia perdida no dielétrico. Para capacitores de alta potência a corrente máxima e a resistência equivalente em Série (ESR) são também importantes. Um ESR típico para a maioria dos capacitores está entre 0,0001 ohm e 0,01 ohm, valores baixos são importantes para aplicações com altas correntes. Estas características permitem aos capacitores entregar correntes enormes em curtos circuitos, o que pode ser perigoso. Por segurança, todos os capacitores grandes deveriam ser descarregados antes do manuseio. Isso é feito colocando-se um resistor pequeno de 1 ohm a 10 ohm entre seus terminais.

Capacitores também podem ser fabricados em circuitos integrados semicondutores, usando linhas metálicas e isolantes num substrato. Tais capacitores são usados para armazenar sinais analógicos em filtros chaveados por capacitores, e para armazenar dados digitais em memória dinâmica de acesso aleatória (DRAM).

Figura 4.5: Polaridade dos capacitores



4.4.1 A polaridade dos capacitores

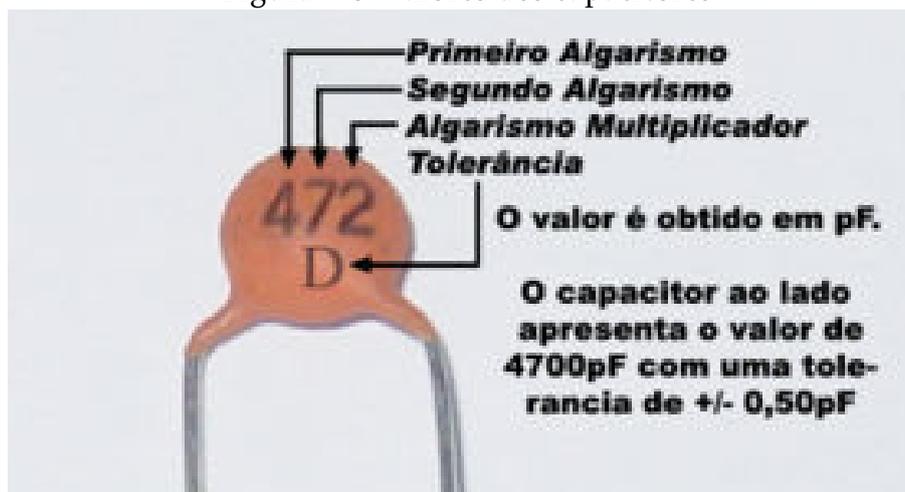
A polaridade dos capacitores também é uma informação muito importante, pois determinados tipos de capacitores, como os eletrolíticos por exemplo, explodem se conectados de forma incorreta. A figura 4.5 mostra um capacitor eletrolítico e sua indicação de polaridade.

Neste tipo de indicação de polaridade o sinal (-) apresentado na faixa mais clara indica o terminal negativo.

4.5 Valores dos capacitores

A maioria dos capacitores tem seu valor expresso numericamente em sua carcaça, porém para capacitores menores é utilizado um código. A figura 4.6 apresenta a codificação utilizada nos capacitores cerâmicos.

Figura 4.6: Valores dos capacitores

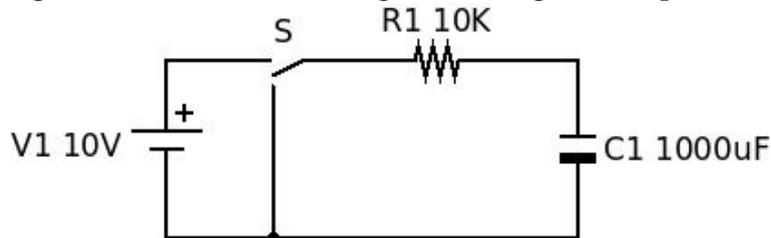


Existem ainda outras codificações para capacitores, mas não serão abordadas aqui.

4.6 Carga e Descarga de Capacitores

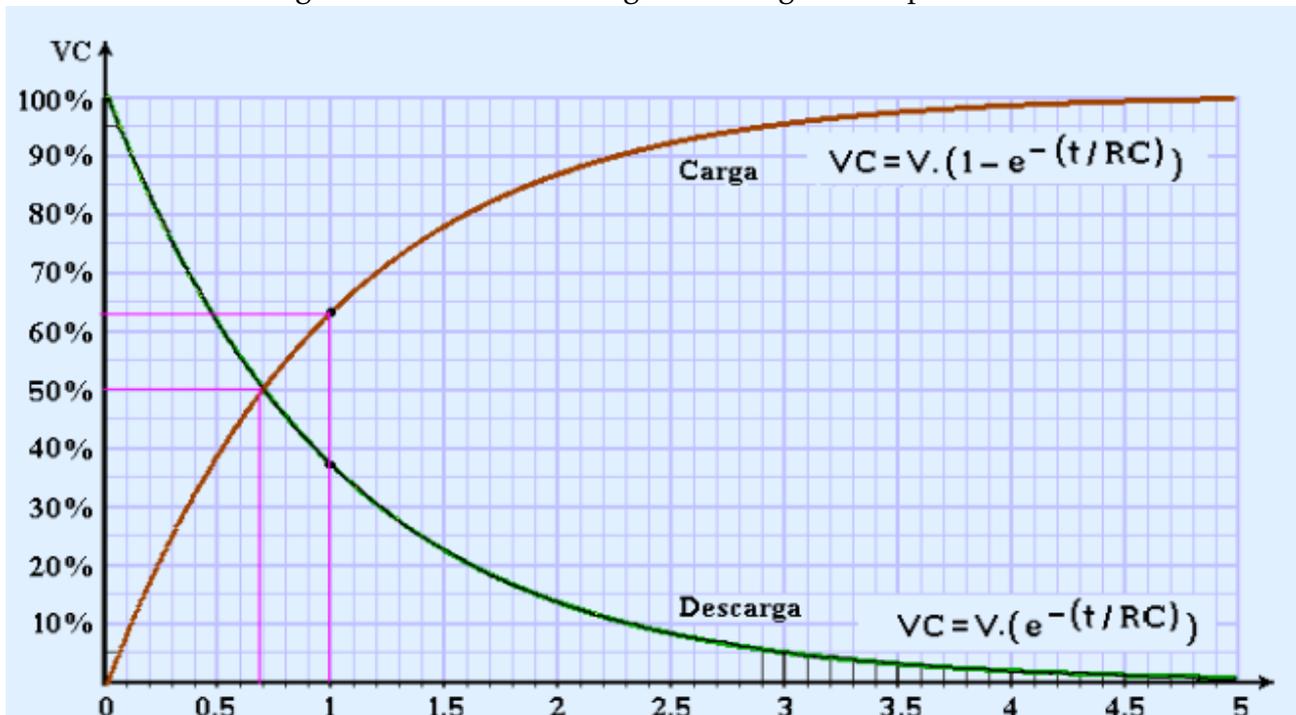
O processo de armazenar energia no capacitor é chamado de **Carga**, enquanto o processo de drenagem da energia armazenada no capacitor é chamado de **Descarga**. Para limitar a corrente de carga e de descarga de um capacitor normalmente é utilizado um resistor. Veja o circuito da figura 4.7.

Figura 4.7: Circuito de carga e descarga dos capacitores



A curva que apresenta a tensão no capacitor em função do tempo de carga ou descarga é chamada de curva de carga ou curva de descarga, respectivamente. A figura 4.8 apresenta a curva de carga e a curva de descarga de um capacitor típico.

Figura 4.8: Curvas de carga e descarga dos capacitores



Para que se possa utilizar os capacitores de forma eficiente na construção de circuitos eletrotécnicos é necessário que se possa calcular a tensão em qualquer momento durante

o processo de carga ou descarga do mesmo. Da mesma forma é necessário que saibamos quanto tempo um capacitor necessita para se carregar até uma determinada tensão.

Os valores de tempo e tensão envolvidos na carga e descarga dos capacitores estão relacionados com o valor da capacitância do capacitor e com o valor da resistência do circuito que carrega ou descarrega o mesmo.

As equações 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7 relacionam estas grandezas.

4.6.1 Equações para carga do capacitor

Tempo necessário para o capacitor atingir a tensão V_c .

$$t = R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V}{V - V_c}\right) \quad (4.4)$$

Tensão no capacitor após um tempo t .

$$V_c = V \cdot \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{R \cdot C}\right)}\right) \quad (4.5)$$

Onde:

t = tempo transcorrido

V_c = tensão no capacitor após um tempo t

V = tensão da fonte

e = base do logaritmo neperiano (2,7182818...)

R = Resistência do resistor

C = Capacitância do capacitor

4.6.2 Equações para descarga do capacitor

Tempo necessário para o capacitor atingir a tensão V_c .

$$t = R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V}{V_c}\right) \quad (4.6)$$

Tensão no capacitor após um tempo t .

$$V_c = V \cdot \left(e^{-\left(\frac{t}{R \cdot C}\right)}\right) \quad (4.7)$$

Onde:

t = tempo transcorrido

V_c = tensão no capacitor após um tempo t

V = tensão da fonte

e = base do logaritmo neperiano (2,7182818...)

R = Resistência do resistor

C = Capacitância do capacitor

Exemplo 1

Para o circuito da figura 4.7 qual é a tensão no capacitor ($V_C = ?$) 8 segundos após a chave S ser ligada a fonte?

Resposta:

Figura 4.9: Resolução do exemplo 1

$$C := 0,001$$

$$R := 10000$$

$$V := 10$$

$$T := 8$$

$$V_C := V \cdot \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{T}{R \cdot C}\right)\right)\right)$$

$$V_C := 10 \cdot \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{8}{10000 \cdot 0,001}\right)\right)\right)$$

$$V_C = 5,5067$$

Assim, a tensão no capacitor é de **5,5067 V**.

Exemplo 2

Para o circuito da figura 4.7 determine quanto tempo ($t = ?$), após a chave S ser ligada a fonte, é necessário para que o capacitor atinja 8 V?

Resposta:

Figura 4.10: Resolução do exemplo 2

$$C := 0,001$$

$$R := 10000$$

$$V := 10$$

$$V_C := 8$$

$$T := R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V}{V - V_C}\right)$$

$$T := 10000 \cdot 0,001 \cdot \ln\left(\frac{10}{10 - 8}\right)$$

$$T = 16,0944$$

Assim, o tempo necessário é de **16,0944 s**.

Exemplo 3

Para o circuito da figura 4.7, supondo que o capacitor está inicialmente carregado com 10 V, quanto tempo, após a chave S ser ligada a terra ($t = ?$), é necessário para que o capacitor se descarregue até 1 V?

Resposta:

Figura 4.11: Resolução do exemplo 3

$$C := 0,001$$

$$R := 10000$$

$$V := 10$$

$$V_C := 1$$

$$T := R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V}{V_C}\right)$$

$$T := 10000 \cdot 0,001 \cdot \ln\left(\frac{10}{1}\right)$$

$$T = 23,0259$$

Assim, o tempo necessário é de **23,0259 s**.

Exemplo 4

Para o circuito da figura 4.7, considerando o capacitor inicialmente carregado com 10 V, qual a tensão no capacitor ($V_C = ?$) 5 segundos após a chave S ser ligada a terra?

Resposta:

Figura 4.12: Resolução do exemplo 4

$$C := 0,001$$

$$R := 10000$$

$$V := 10$$

$$T := 5$$

$$V_C := V \cdot \left(\exp\left(-\left(\frac{T}{R \cdot C}\right)\right) \right)$$

$$V_C := 10 \cdot \left(\exp\left(-\left(\frac{5}{10000 \cdot 0,001}\right)\right) \right)$$

$$V_C = 6,0653$$

Assim, a tensão no capacitor é de **6,0653 V**.

4.6.3 Constante de tempo do circuito

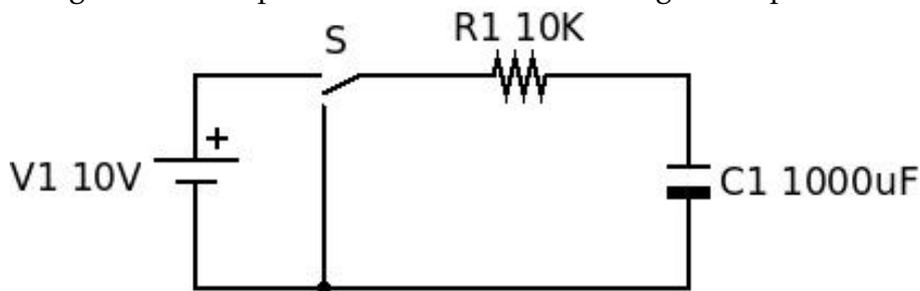
Outra característica importante em um circuito composto por um resistor e um capacitor é a constante de tempo. Esta constante de tempo é simbolizada por τ e é obtida multiplicando a resistência do resistor pela capacitância do capacitor. Esta constante representa o tempo necessário para o capacitor atingir 63 % da carga total.

$$\text{Assim: } \tau = R \cdot C$$

4.7 Experimento: carga e descarga de capacitores.

Monte o circuito da figura 4.13, lembrando que o capacitor eletrolítico tem polaridade correta para ser montado.

Figura 4.13: Experimento de carga e descarga de capacitores



Após a montagem do circuito conecte um voltímetro de forma a medir a tensão sobre o capacitor C1. Como o capacitor está inicialmente descarregado esta tensão sobre ele deve ser zero.

Feche o circuito no interruptor S de forma que a tensão da fonte V1 circule através do resistor R1 e comece a carregar o capacitor C1.

Utilize a tabela fornecida e com a ajuda de um cronômetro anote a tensão a cada 5 segundos.

Terminado este experimento e com o capacitor ainda carregado faça o seguinte.

Conecte a chave S ao negativo, descarregando assim o capacitor, e anote novamente os valores de tensão a cada 5 segundos na segunda tabela fornecida.

Faça os cálculos necessários para completar as tabelas de forma a verificar se os valores medidos estão corretos.

Utilizando os dados da tabela elabore os gráficos e na sequência responda a questão do exercício.

Esta atividade deve ser realizada em equipes de até 3 alunos, entregue a folha com as tabelas preenchida ao professor.

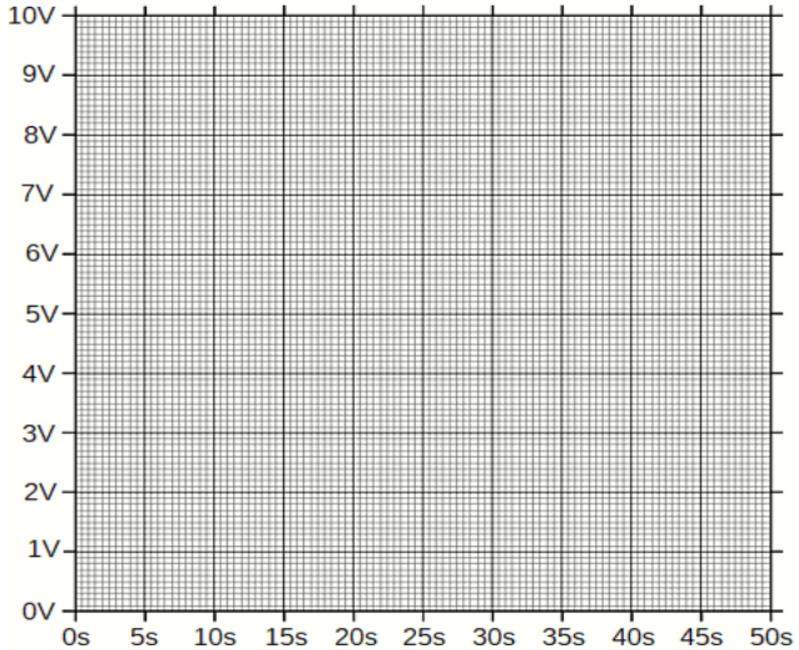
4.7. EXPERIMENTO: CARGA E DESCARDA DE CAPACITORES.AULA 4. CAPACITORES

Aluno: _____
 Aluno: _____
 Aluno: _____

Calcule os valores que faltam para preencher as tabelas e elabore os gráficos.

Curva de carga do capacitor.

Tempo (s)	Tensão (V)	
	Medido	Calculado
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		



Curva de carga do capacitor.

Tempo (s)	Tensão (V)	
	Medido	Calculado
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		



Para onde foi a energia que estava armazenada no capacitor?

Aula 5 Indutores

5.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar mais um dos componentes importantes da eletrônica, o Indutor. O indutor é um dispositivo elétrico passivo que armazena energia na forma de campo magnético, normalmente combinando o efeito de vários loops da corrente elétrica.

5.2 Os indutores

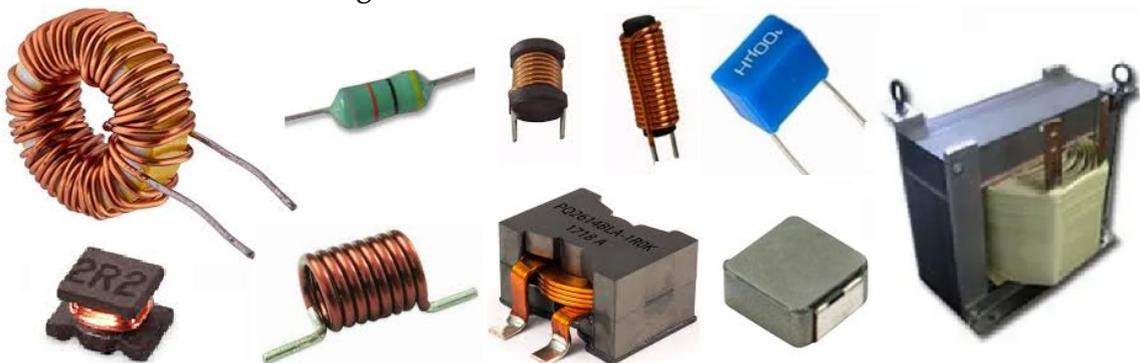
Um indutor é geralmente construído como uma bobina de material condutor, por exemplo, fio de cobre. Um núcleo de material ferromagnético aumenta a indutância concentrando as linhas de força de campo magnético que fluem pelo interior das espiras. Pequenos indutores usados para frequências muito altas são algumas vezes feitos com um fio passando através de um cilindro de ferrite. A figura 5.1 mostra o símbolo utilizado para os indutores nos diagramas eletrônicos.

Figura 5.1: Simbologia dos indutores



Os indutores podem ter vários formatos, alguns são apresentados na figura 5.2.

Figura 5.2: Formatos dos indutores



5.3 Indutância

Indutância é a grandeza física associada aos indutores, é simbolizada pela letra L , medida em Henry (H). Em outras palavras é um parâmetro dos circuitos lineares que relaciona a tensão induzida por um campo magnético variável à corrente responsável pelo campo. A

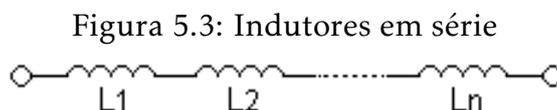
tensão entre os terminais de um indutor é proporcional à taxa de variação da corrente que o atravessa.

5.4 Associação de Indutores

Assim como a associação de resistores é um recurso útil para que se possa atingir valores de indutância diferentes dos comerciais. A associação de indutores consiste em ligar dois ou mais indutores de forma a conseguir o valor de indutância desejado. As principais formas de associar indutores são: associação em série e associação em paralelo.

5.4.1 Associação de indutores em série

A associação de indutores em série se dá quando os elementos estão conectados conforme a figura 5.3.



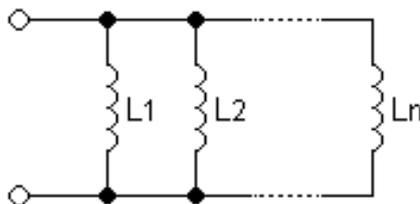
A indutância equivalente L_{eq} é dada pela equação 5.1.

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + \dots + L_n \quad (5.1)$$

5.4.2 Associação de indutores em paralelo

A associação de indutores em paralelo se dá quando os elementos estão conectados conforme a figura 5.4.

Figura 5.4: Indutores em paralelo



A indutância equivalente L_{eq} é dada pela equação 5.2.

$$\frac{1}{L_{eq}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n} \quad (5.2)$$

Se forem apenas dois indutores pode-se utilizar a equação 5.3.

$$L_{eq} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad (5.3)$$

5.5 Aplicações dos indutores

Indutores são usados em circuitos sintonizadores. Com a ajuda de indutores, os circuitos de sintonia podem selecionar a frequência desejada, permitindo assim a recepção de sinais de rádio, por exemplo.

Indutores também são usados como sensores. Os sensores de proximidade indutivos são muito confiáveis e são amplamente utilizados na automação industrial. A indutância é o princípio principal por trás do funcionamento deste tipo de sensor, quando um objeto metálico se aproxima da bobina a amplitude do sinal varia permitindo a detecção deste objeto.

Também é usado para armazenar energia. Os indutores podem armazenar energia por um pequeno período de tempo, esta energia é armazenada como campo magnético, e desaparecerá quando a fonte de alimentação for removida. Sua utilização é comum nas fontes de alimentação, como filtros.

São também utilizados como transformador. A combinação de vários indutores com um campo magnético compartilhado da origem a um transformador. Transformadores servem para alterar o nível de tensão de um sinal e sua principal utilização é nos sistemas de transmissão de energia.

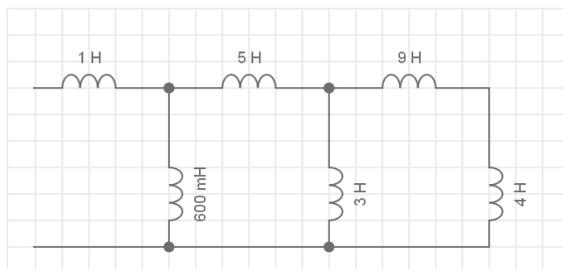
Indutores são usados como filtros. Os indutores quando combinados com capacitores são usados como filtros. Estes filtros podem ser projetados para permitir a passagem ou bloquear determinadas faixas de frequência em um sinal.

Estes são apenas alguns exemplos da utilização de indutores na eletrônica. Por se tratar de um componente simples e versátil o indutor tem inúmeras aplicações.

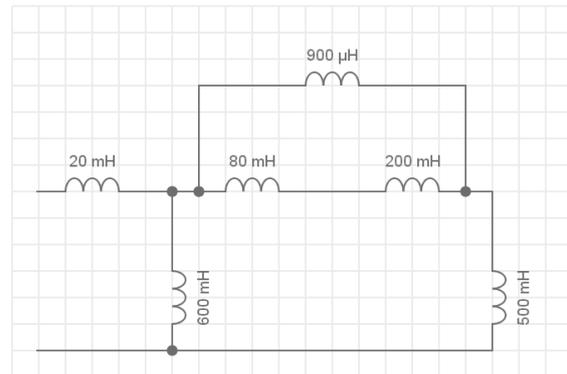
5.6 Exercícios

- 1) Determine o valor da indutância equivalente L_{eq} para os circuitos da figura 5.5.

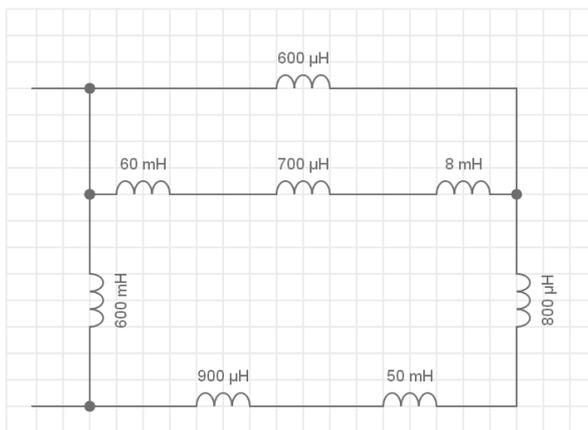
Figura 5.5: Exercício associação de indutores



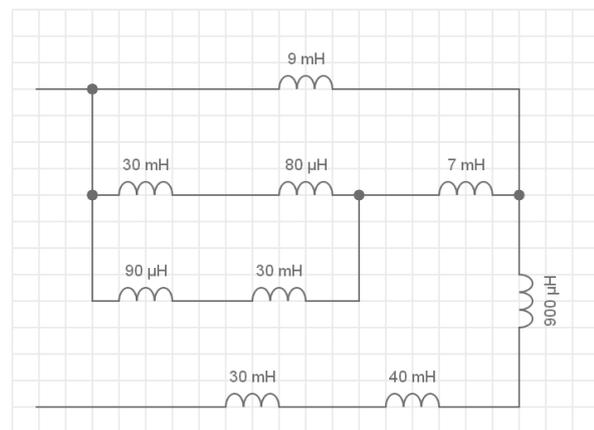
a)



b)



c)



d)

Aula 6 Diodos

6.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar mais um dos componentes importantes da eletrônica, o diodo. O diodo é um dispositivo elétrico semicondutor que tem a característica de permitir a passagem de corrente apenas em um sentido. Esta característica o torna indispensável para uma série de aplicações, como circuitos retificadores por exemplo.

6.2 Os diodos

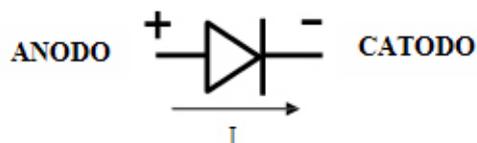
O tipo mais comum de diodo é o diodo semicondutor, no entanto, existem outras tecnologias de diodo. Diodos semicondutores são simbolizados em diagramas esquemáticos como na figura 6.1.

Figura 6.1: Símbolo do diodo



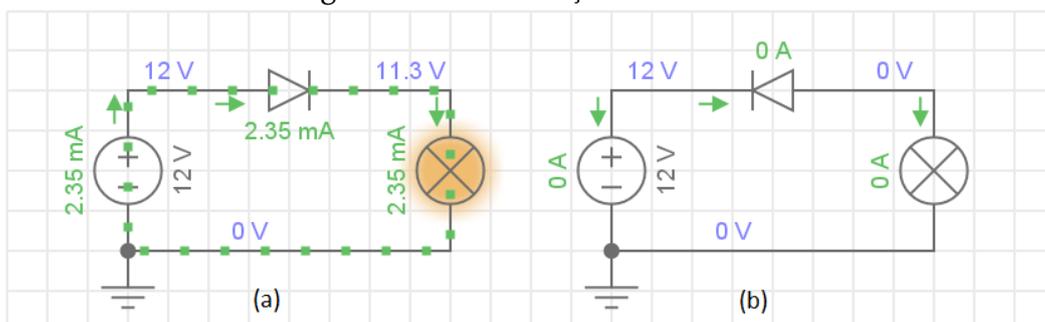
Os diodos possuem dois terminais, um chamado de **anodo** e outro chamado de **catodo**. A corrente flui no sentido do anodo para o catodo, e é bloqueada no sentido contrário, veja a figura 6.2.

Figura 6.2: Terminais do diodo



A figura 6.3 apresenta o comportamento de um diodo polarizado diretamente (a) e polarizado reversamente (b). Na polarização direta a corrente pode circular e a lâmpada acende.

Figura 6.3: Polarização dos diodos



Quando polarizados diretamente os diodos possuem uma queda de tensão de aproximadamente, 0,3 V (germânio) e 0,7 V (silício).

Embalagens dos diodos

Os diodos são disponibilizados em várias embalagens, como mostrado na figura 6.4.

Figura 6.4: Embalagens dos diodos



LEDs

Os diodos emissores de luz (LEDs) são tipos especiais de diodos que tem o objetivo de transformar energia elétrica em luz. A figura 6.5 apresenta o símbolo e a imagem deste componente.

É importante salientar que para limitar a corrente consumida por um LED é necessário ligá-lo a um circuito apropriado, normalmente um resistor com valor apropriado.

Outros tipos de diodos

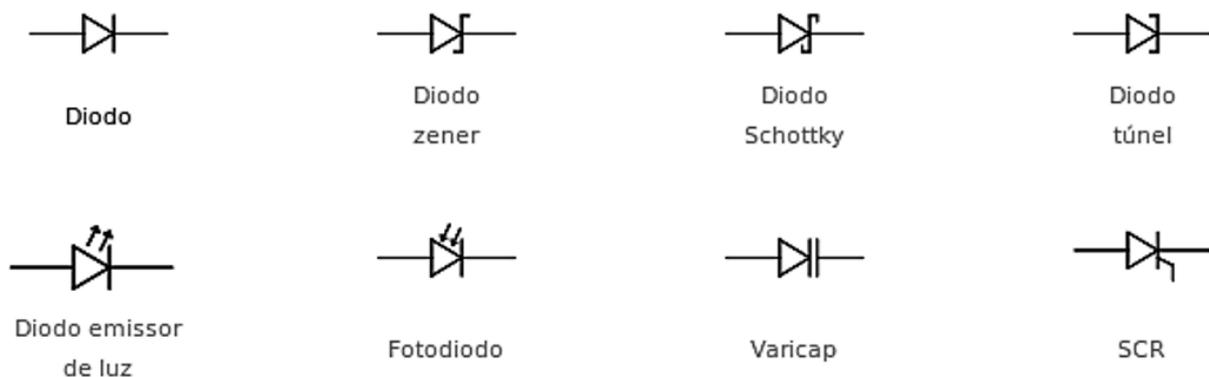
Outros tipos de diodos semicondutores são projetados para assumir diferentes características: diodos retificadores são capazes de conduzir altas correntes elétricas em baixa frequência, diodos de sinal caracterizam-se por retificar sinais de alta frequência, diodos

Figura 6.5: Diodos emissores de luz (LEDs)



de chaveamento são indicados na condução de altas correntes em circuitos chaveados. Dependendo das características dos materiais e dopagem dos semicondutores há uma gama de dispositivos eletrônicos variantes do diodo. A figura 6.6 mostra algumas destas variações.

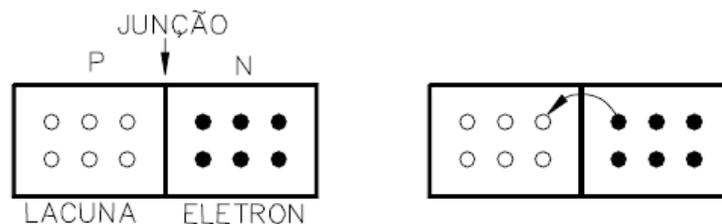
Figura 6.6: Tipos de diodos



6.3 A construção dos diodos

O diodo é construído através da união de um cristal semicondutor tipo p e um cristal semicondutor tipo n, normalmente silício ou germânio, assim obtém-se uma junção pn, que da origem a um dispositivo de estado sólido simples, o diodo semicondutor de junção. A figura 6.7 mostra sua estrutura.

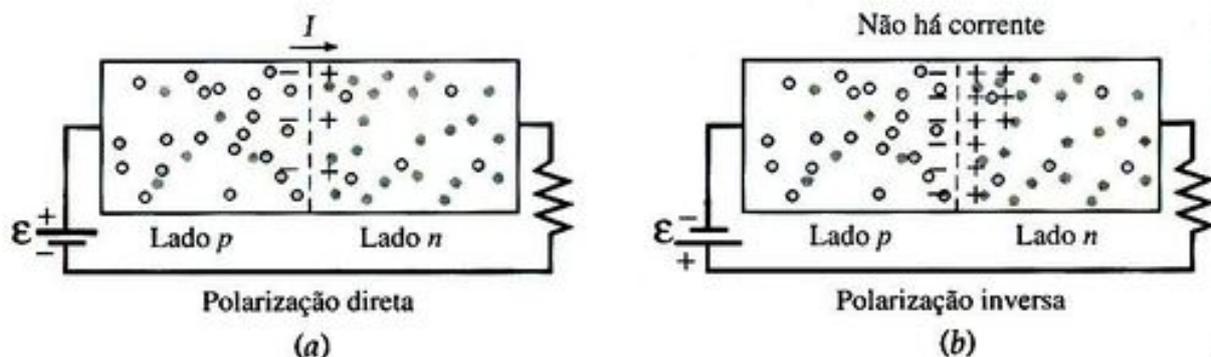
Figura 6.7: Construção dos diodos



6.4 Polarização dos diodos

Polarizar um diodo significa aplicar uma diferença de potencial às suas extremidades. Supondo uma bateria sobre os terminais do diodo, há uma polarização direta se o polo positivo da bateria for colocado em contato com o material tipo p e o polo negativo em contato com o material tipo n. Veja a figura 6.8.

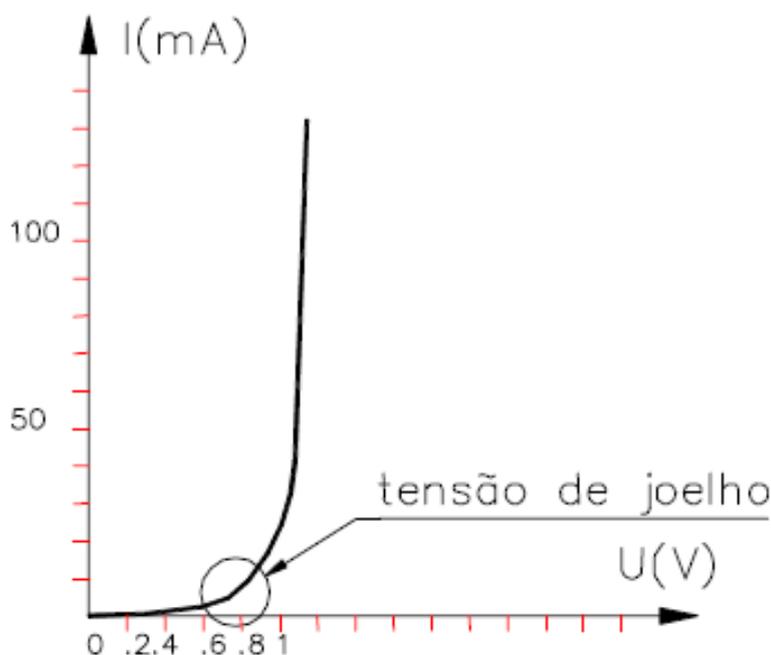
Figura 6.8: Polarização dos diodos



Curva característica

A curva característica de um diodo é um gráfico que relaciona cada valor da tensão aplicada com a respectiva corrente elétrica que atravessa o diodo. Isso é válido para a polarização direta. A figura 6.9 mostra a curva característica de um diodo típico.

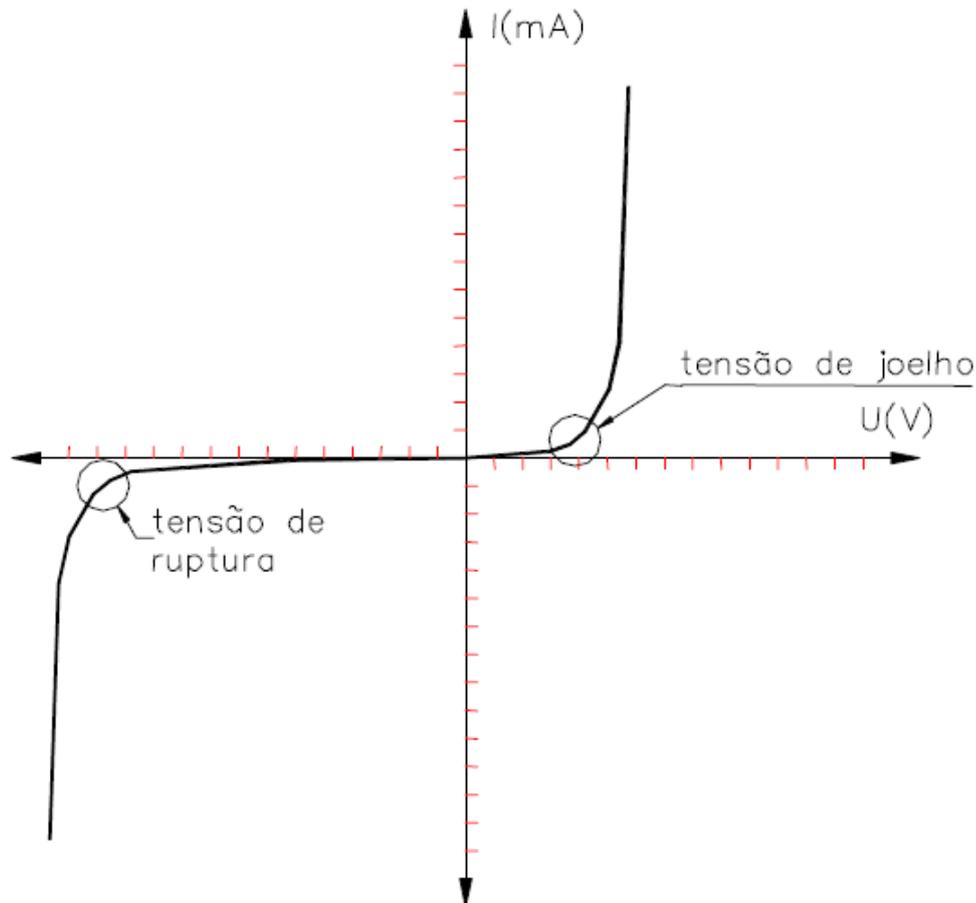
Figura 6.9: Curva característica de um diodo



Quando o diodo é polarizado reversamente, uma corrente elétrica extremamente pequena o atravessa, esta corrente é chamada de corrente de fuga. Se a tensão reversa aplicada sobre o diodo for aumentada, chega-se a um momento em que é atingida a tensão de ruptura, a partir da qual a corrente aumenta rapidamente. Salvo o diodo feito para tal, os diodos não podem trabalhar na região de ruptura, sob pena de serem destruídos.

A figura 6.10 apresenta a curva característica completa dos diodos.

Figura 6.10: Curva característica completa de um diodo



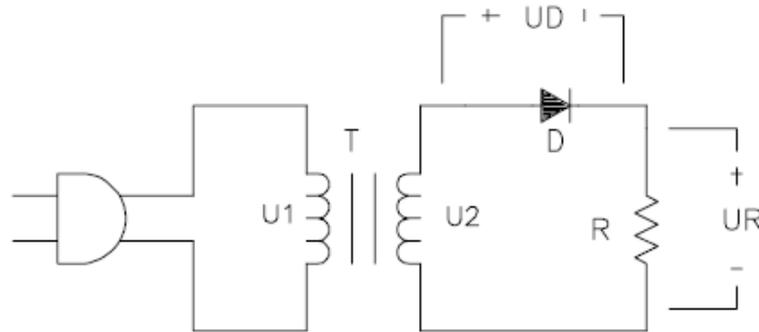
6.5 Circuitos com diodos

Existem uma infinidade de aplicações para os diodos, porém neste capítulo serão estudados os mais comuns.

Circuito retificador de meia onda

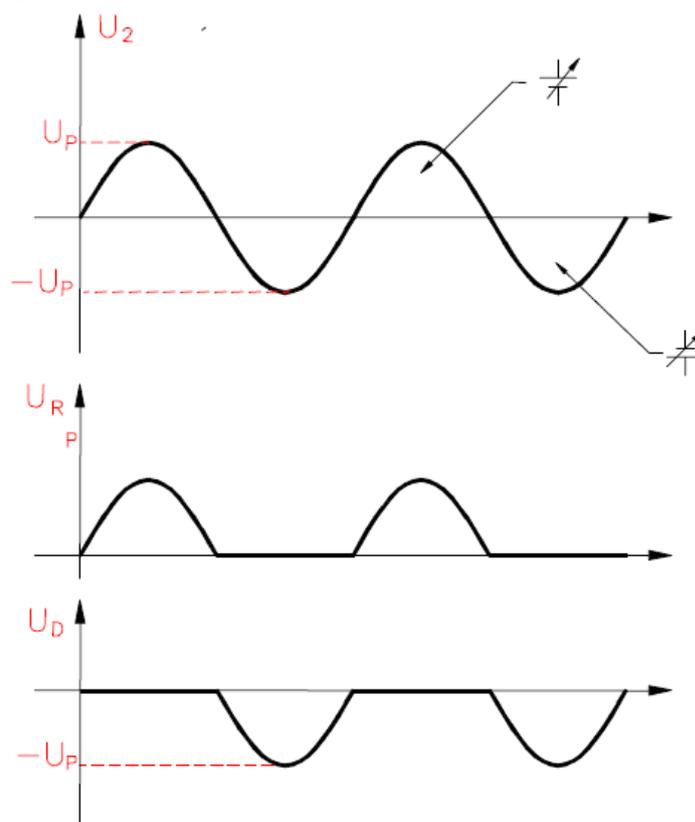
O Circuito retificador de meia onda converte a tensão alternada de entrada numa tensão pulsante positiva. Este processo de conversão de CA para CC, é conhecido como "retificação". Na Figura 6.11 é mostrado um circuito retificador de meia onda, conectado a um transformador e tendo como carga um resistor.

Figura 6.11: Circuito retificador de meia onda



Considerando o diodo como ideal (ignorando os 0,7 V de queda no diodo), as curvas são as mostradas na figura 6.12.

Figura 6.12: Sinais do circuito retificador de meia onda

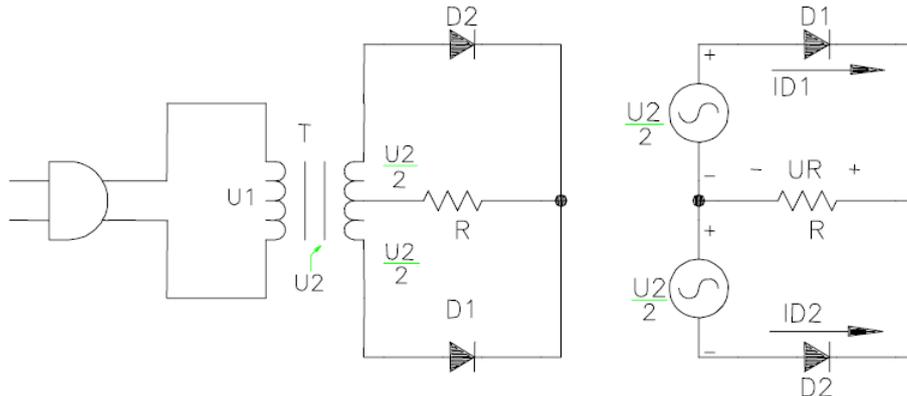


A saída no secundário do transformador tem dois semiciclos de tensão, um semiciclo positivo e um negativo. Durante o semiciclo positivo o diodo está polarizado no sentido direto e age como uma chave fechada, toda a tensão do secundário incide no resistor R. Durante o semiciclo negativo o diodo está polarizado reversamente e não há corrente circulando no circuito. Assim não há tensão sob o resistor e toda a tensão do secundário fica no diodo. Este circuito é conhecido como retificador de meia onda porque só o semiciclo positivo é aproveitado na retificação.

Retificador de onda completa

A figura 6.13 apresenta um retificador de onda completa. Observe que a tomada central no enrolamento secundário do transformador conectada a carga. Por causa dessa tomada, o circuito é equivalente a dois retificadores de meia onda.

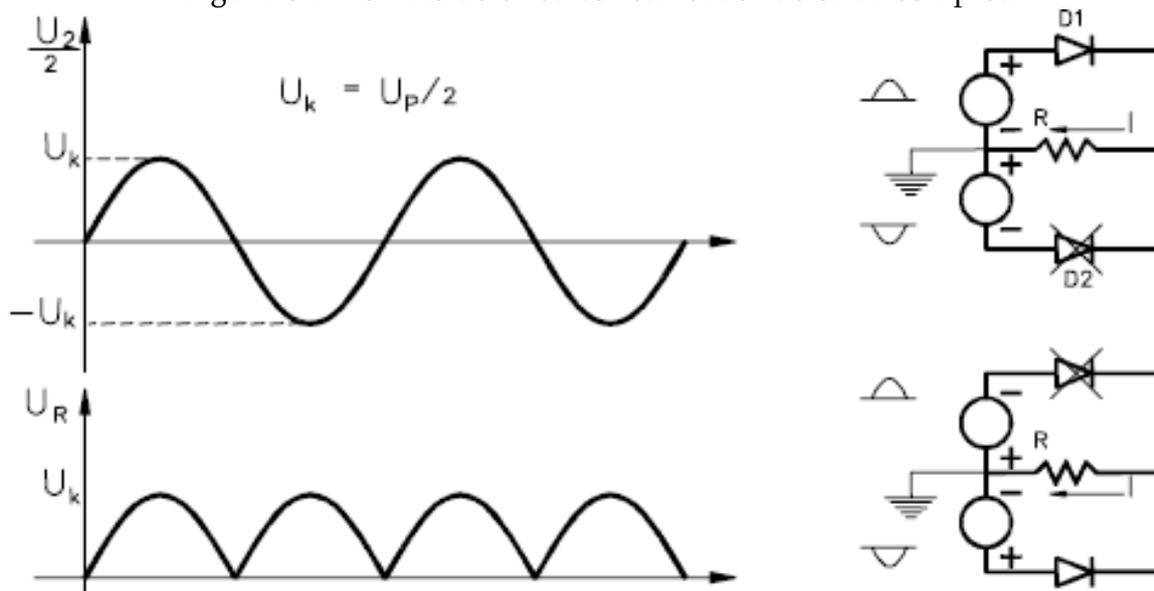
Figura 6.13: Circuito retificador de onda completa



O retificador superior retifica o semiciclo positivo da tensão do secundário, enquanto o retificador inferior retifica o semiciclo negativo da tensão do secundário.

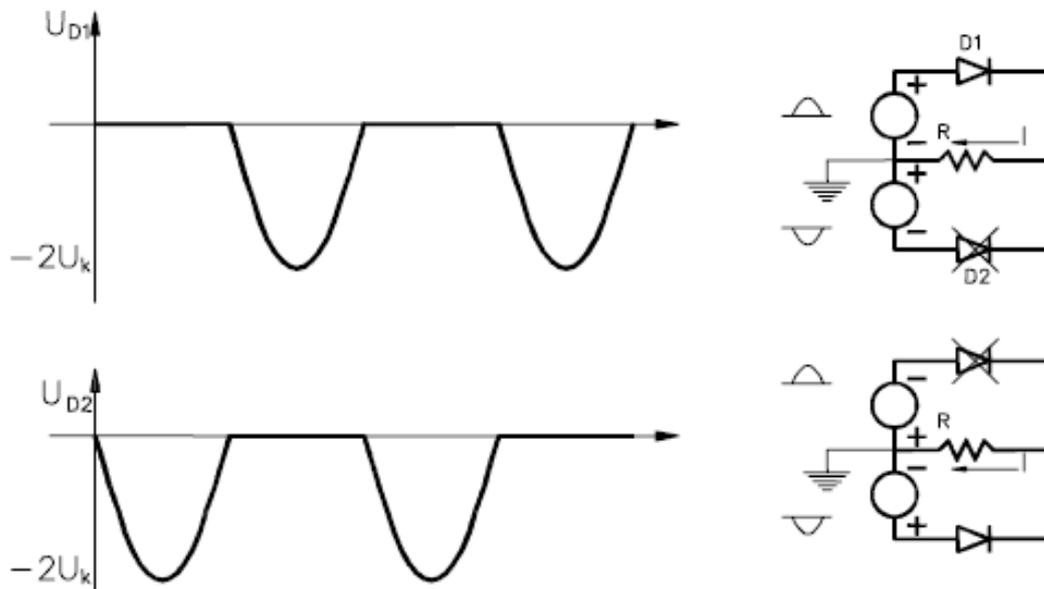
As duas tensões denominadas de $U_2/2$ na figura são idênticas em amplitude e fase. O transformador ideal pode ser, portanto, substituído por duas fontes de tensão idênticas, como mostra a figura à direita, sem alteração no funcionamento elétrico do circuito. Quando $U_2/2$ é positiva, D1 está diretamente polarizado e conduz e D2 está reversamente polarizado e não conduz. Analogamente, quando $U_2/2$ é negativa, D2 conduz e D1 não. Considerando os dois diodos ideais, temos a curva de tensão sobre o resistor de carga mostrada na figura 6.14.

Figura 6.14: Sinais do circuito retificador de onda completa



As curvas da tensão sobre os diodos podem ser observadas na figura 6.15.

Figura 6.15: Sinais nos diodos do retificador de onda completa

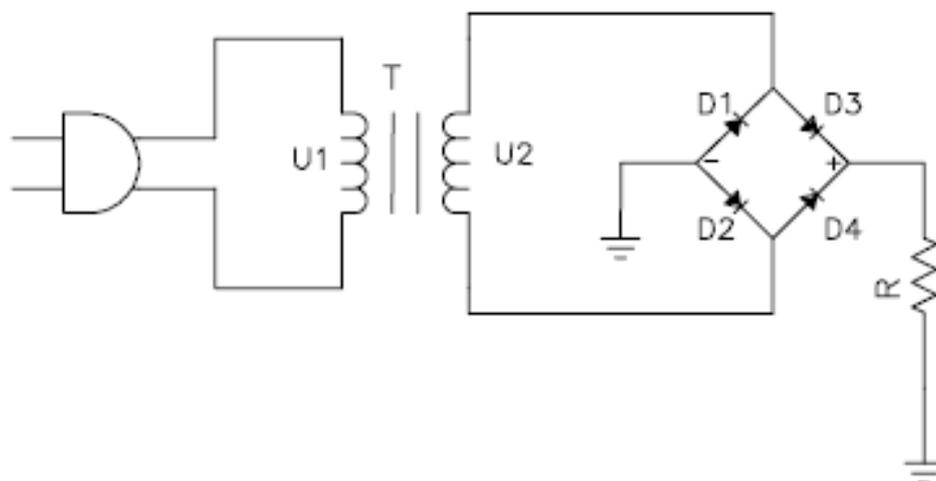


A frequência de saída de onda completa é o dobro da frequência de entrada, pois a definição de ciclo completo diz que uma forma de onda completa seu ciclo quando ela começa a repeti-lo. Na figura, a forma de onda retificada começa a repetição após um semiciclo da tensão do secundário. Supondo que a tensão de entrada tenha uma frequência de 60Hz, a onda retificada terá uma frequência de 120Hz e conseqüentemente um período de 8,33ms.

Retificador de onda completa em ponte

Um retificador de onda completa em ponte é construído com quatro diodos no lugar de dois, conforme a figura 6.16. Com esta topologia de circuito elimina-se o uso da tomada central do transformador.

Figura 6.16: Retificador de onda completa em ponte

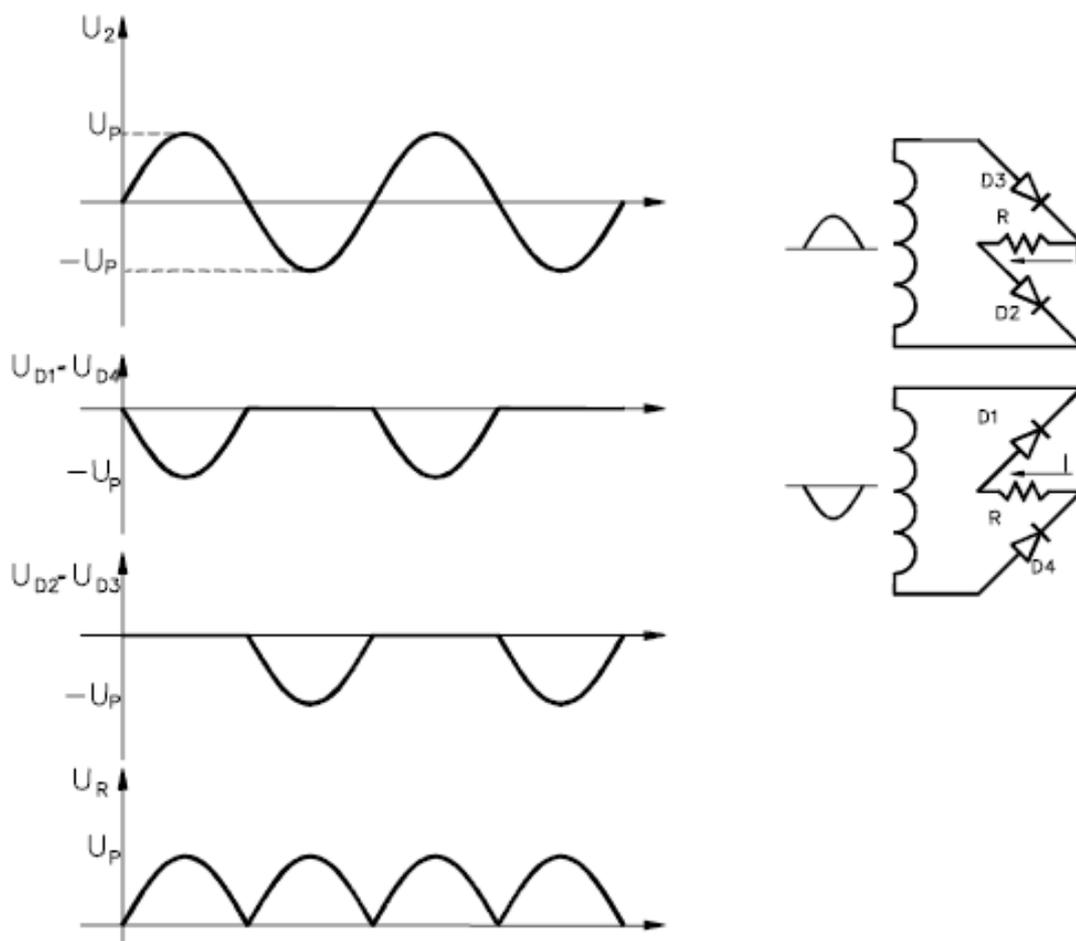


Durante o semiciclo positivo da tensão U_2 , o diodo D_3 recebe um potencial positivo em seu anodo, e o D_2 um potencial negativo no catodo. Dessa forma, D_2 e D_3 conduzem, D_1 e D_4 ficam reversamente polarizado e o resistor de carga R recebe todo o semiciclo positivo da tensão U_2 .

Durante o semiciclo negativo da tensão U_2 , o diodo D_4 recebe um potencial positivo em seu anodo, e o diodo D_1 um potencial negativo no catodo, devido à inversão da polaridade de U_2 . Os diodos D_1 e D_4 conduzem e os diodos D_2 e D_3 ficam reversamente polarizado.

A corrente I percorre o resistor de carga sempre num mesmo sentido. Portanto a tensão é sempre positiva. Na figura 6.17 são mostradas as formas de ondas sobre o resistor de carga e os diodos, considerando os diodos ideais.

Figura 6.17: Sinais do retificador de onda completa em ponte

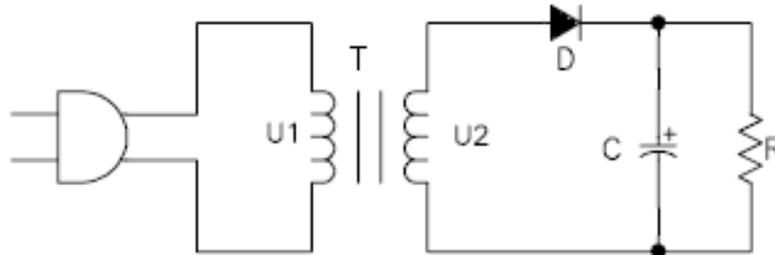


Filtros para retificadores

A tensão de saída de um retificador sobre um resistor de carga é pulsante como mostrado anteriormente. Durante um ciclo completo na saída, a tensão no resistor aumenta a partir de zero até um valor de pico e depois diminui de volta a zero. No entanto, uma tensão contínua deve ser estável. Para obter esse tipo de tensão retificada na carga, torna-se necessário o uso de filtro.

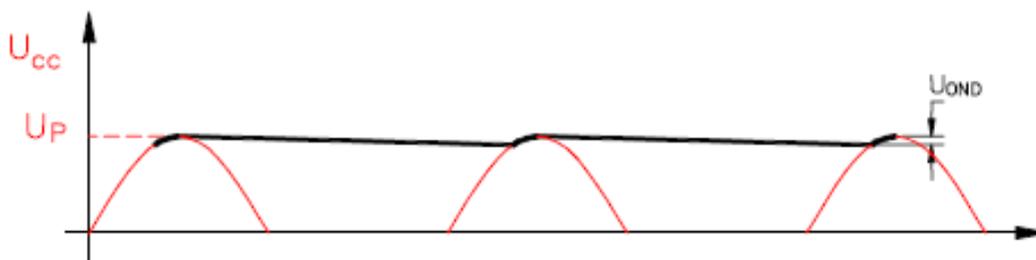
O tipo mais comum de filtro para circuitos retificadores é o filtro com capacitor mostrado na figura 6.18.

Figura 6.18: Filtros para retificadores



O capacitor é colocado em paralelo ao resistor de carga. Para o entendimento do funcionamento do filtro vamos supor o diodo como ideal e que, antes de ligar o circuito, o capacitor esteja descarregado. Ao ligar, durante o primeiro quarto de ciclo da tensão no secundário, o diodo está diretamente polarizado. Idealmente, ele funciona como uma chave fechada. Como o diodo conecta o enrolamento secundário ao capacitor, ele carrega até o valor da tensão de pico U_P . Logo após o pico positivo, o diodo para de conduzir, comportando-se como uma chave aberta. Isto devido ao fato de o capacitor ter uma tensão de pico U_P . Como a tensão no secundário é ligeiramente menor que U_P , o diodo fica reversamente polarizado e não conduz. Com o diodo aberto, o capacitor se descarrega por meio do resistor de carga. A ideia do filtro é a de que o tempo de descarga do capacitor seja muito maior que o período do sinal de entrada. Com isso, o capacitor perderá somente uma pequena parte de sua carga durante o tempo que o diodo estiver em corte. O diodo só voltará a conduzir no momento em que a tensão no secundário iniciar a subir e seja igual a tensão no capacitor. Ele conduzirá deste ponto até a tensão no secundário atingir o valor de pico U_P . O intervalo de condução do diodo é chamado de ângulo de condução do diodo. Durante o ângulo de condução do diodo, o capacitor é carregado novamente até U_P . Nos retificadores sem filtro cada diodo tem um ângulo de condução de 180° . Veja as formas de onda na figura 6.19.

Figura 6.19: Sinal do retificador com filtro



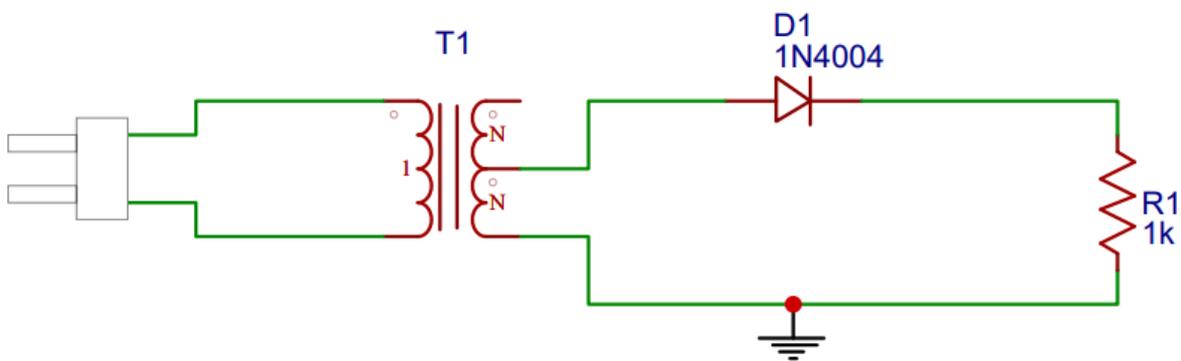
Na figura é mostrada a tensão sob a carga. A tensão na carga é agora uma tensão CC mais estável. A diferença para uma tensão CC pura é uma pequena ondulação (Ripple) causada pela carga e descarga do capacitor.

Aluno: _____
Aluno: _____
Aluno: _____

6.6 Práticas com Diodos

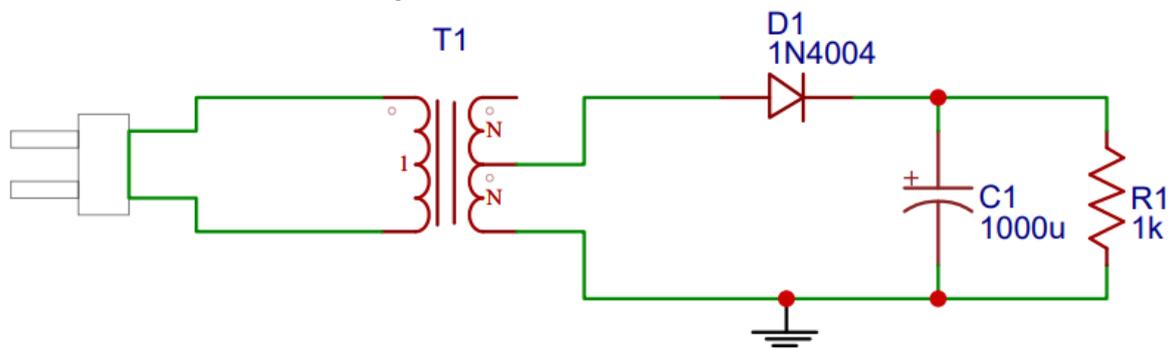
Prática 1: Construa o circuito da figura 6.20 e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.20: Prática 1 com diodos



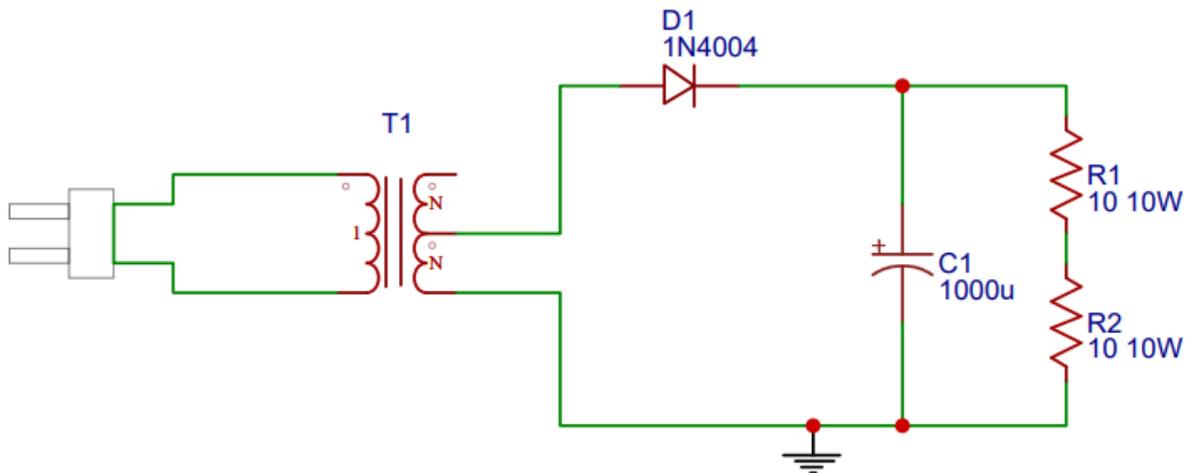
Prática 2: Adicione ao circuito da figura anterior um capacitor de filtro, conforme a figura 6.21, e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.21: Prática 2 com diodos



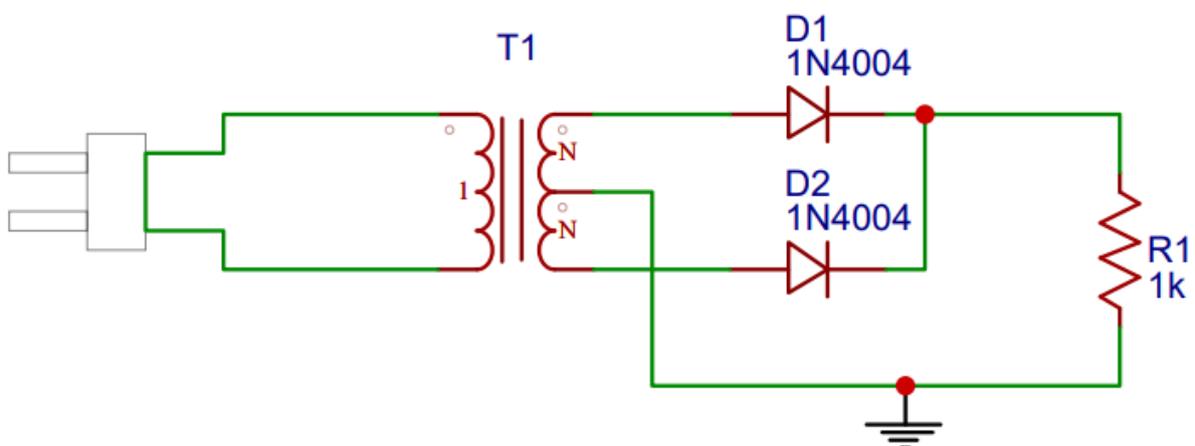
Prática 3: Construa o circuito da figura 6.22 utilizando resistores de potência e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento, principalmente a ondulação da tensão de saída.

Figura 6.22: Prática 3 com diodos



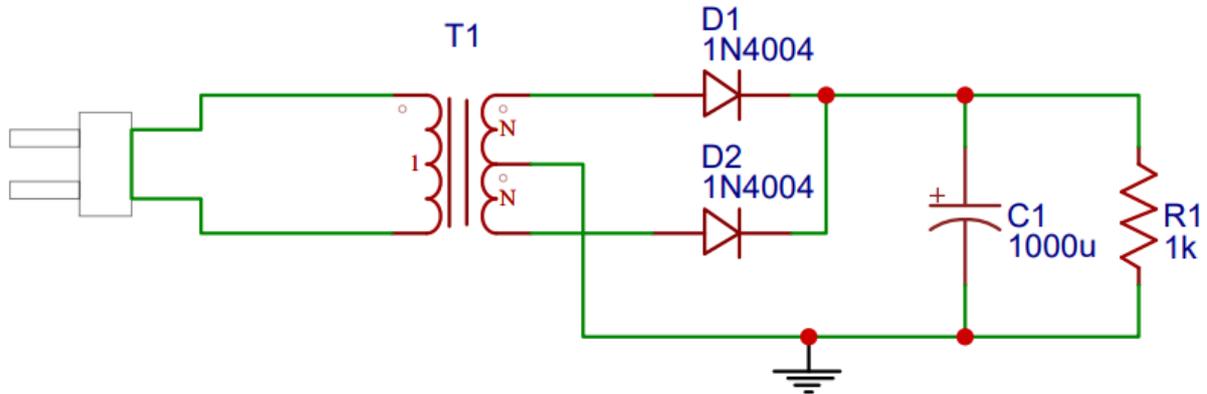
Prática 4: Construa o circuito da figura 6.23 e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.23: Prática 4 com diodos



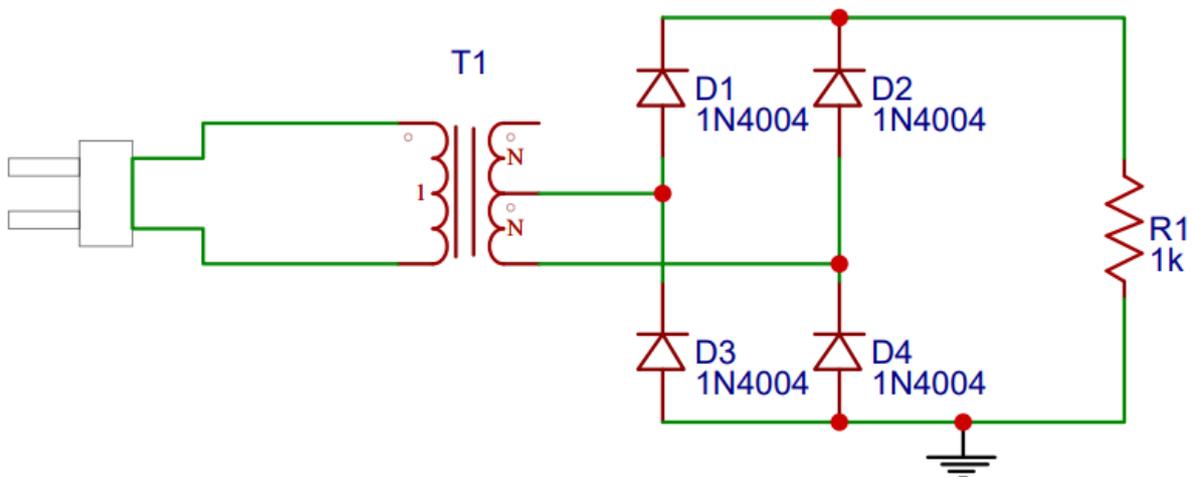
Prática 5: Adicione ao circuito da figura anterior um capacitor de filtro, conforme a figura 6.24, e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.24: Prática 5 com diodos



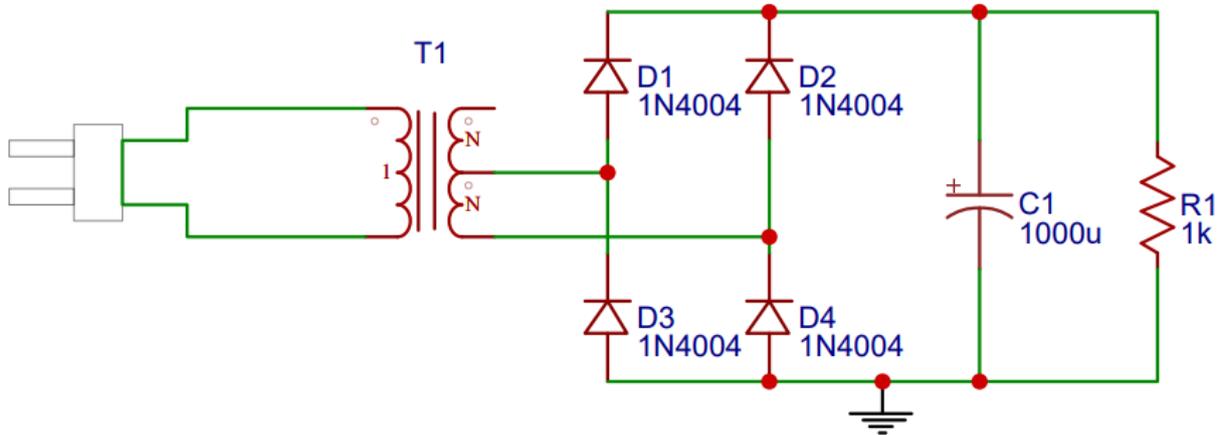
Prática 6: Construa o circuito da figura 6.25 e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.25: Prática 6 com diodos



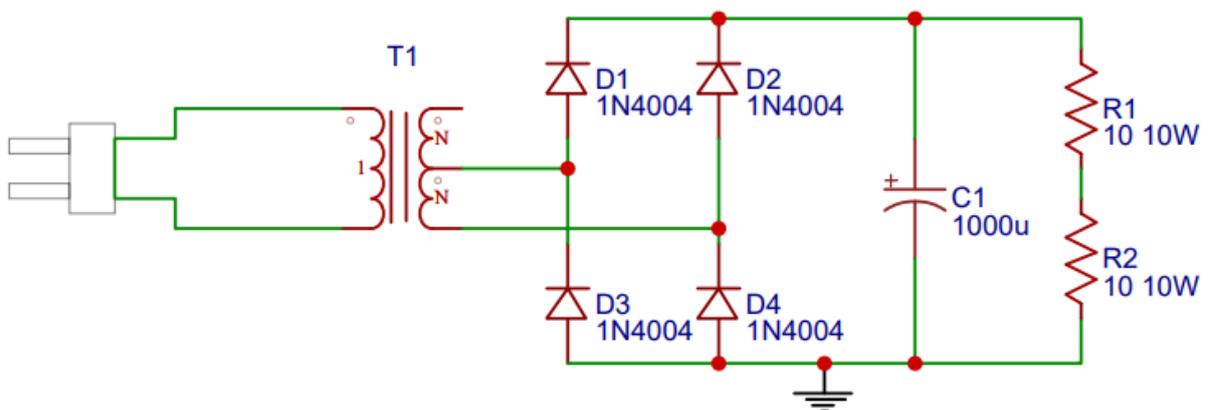
Prática 7: Adicione ao circuito da figura anterior um capacitor de filtro, conforme a figura 6.26, e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

Figura 6.26: Prática 7 com diodos



Prática 8: Adicione ao circuito da figura anterior um capacitor de filtro, conforme a figura 6.27, e com a ajuda do osciloscópio verifique seu funcionamento.

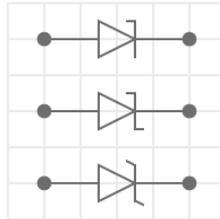
Figura 6.27: Prática 8 com diodos



6.7 Diodo Zener

O diodo Zener é um dispositivo ou componente eletrônico semelhante a um diodo semicondutor, especialmente projetado para trabalhar sob o regime de condução inversa, ou seja, acima da tensão de ruptura da junção PN. Alguns dos principais símbolos do diodo zener são apresentados na figura 6.28.

Figura 6.28: Simbologia do diodo Zener



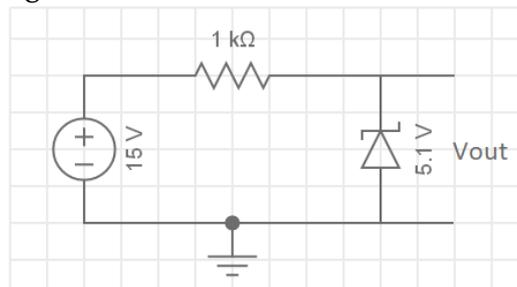
Qualquer diodo inversamente polarizado praticamente não conduz corrente desde que não ultrapasse a tensão de ruptura. No diodo Zener acontece a mesma coisa. A diferença é que, no diodo convencional, ao atingir uma determinada tensão inversa, a corrente inversa aumenta bruscamente, destruindo o dispositivo. No diodo Zener, por outro lado, ao atingir uma tensão chamada de Zener (V_z), o dispositivo passa a permitir a passagem de correntes bem maiores que a de saturação inversa, mantendo constante a tensão entre os seus terminais. Cada diodo Zener possui uma tensão de Zener específica como, por exemplo, 5,1 Volts, 6,3 Volts, 9,1 Volts, 12 Volts e 24 Volts. A figura 6.29 apresenta a aparência física dos diodos zener.

Figura 6.29: Embalagem do diodo Zener



Um dado importante na especificação do componente a ser utilizado é a potência do dispositivo. Por exemplo, existem diodos Zener de 400 mili Watts e 1 Watt. O valor da corrente máxima admissível depende dessa potência e da tensão de Zener. É por isso que o diodo Zener se encontra normalmente associado com uma resistência ligada em série, destinada precisamente a limitar a corrente a um valor admissível. Veja a imagem 6.30.

Figura 6.30: Circuito com diodo Zener

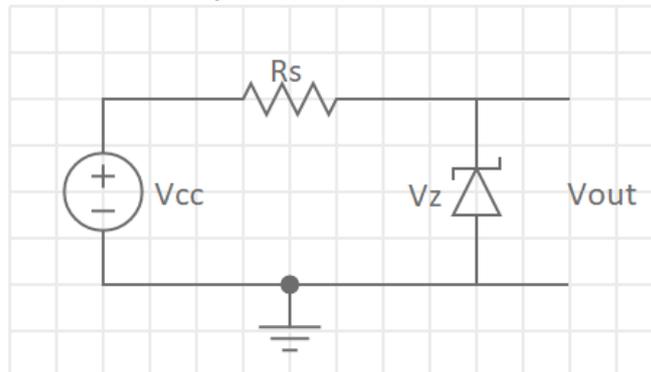


Devido a suas características, os diodos Zener são frequentemente usados como reguladores de tensão, podendo também operar polarizado diretamente, funcionando como outro diodo comum. A seguir são apresentadas algumas fórmulas para o cálculo do resistor de polarização do diodo zener. O primeiro passo é determinar a corrente máxima suportada pelo zener em função da potência que ele suporta, veja a equação 6.1.

$$I_{z_{max}} = \frac{P_z}{V_z} \quad (6.1)$$

Onde $I_{z_{max}}$ é a corrente máxima suportada pelo zener, V_z é a tensão do zener fornecida pelo fabricante e P_z é a potência suportada pelo zener, também fornecida pelo fabricante. Para evitar a sobrecarga do diodo zener é adicionado um resistor em série, R_s , conforme a figura 6.31.

Figura 6.31: Configuração do circuito com diodo Zener



Para determinar o valor deste resistor são utilizadas as formulas da figura 6.32.

Figura 6.32: Formulas para cálculo do resistor do Zener

$$I_{z_{min}} = I_{z_{max}} \cdot 0,10$$

$$R_{z_{min}} = \frac{V_{cc} - V_z}{I_{z_{max}}}$$

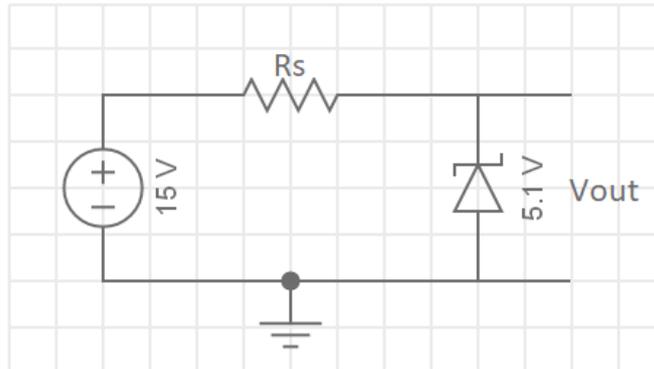
$$R_{z_{max}} = \frac{(V_{cc} - V_z)}{I_{z_{min}}}$$

$$R_s = \frac{(R_{z_{min}} + R_{z_{max}})}{2}$$

Onde, V_{cc} é a tensão da fonte, V_z é a tensão do zener, $I_{z_{max}}$ é a corrente máxima suportada pelo zener, $R_{z_{min}}$ é a resistência mínima, $I_{z_{min}}$ é a corrente mínima no zener, $R_{z_{max}}$ é a resistência máxima e finalmente R_s é a resistência do resistor utilizado em série com o zener.

A seguir temos um exemplo de cálculo do resistor para um zener de 5,1V e 0.5 W em uma fonte de 15V. Veja a figura 6.33.

Figura 6.33: Exemplo de cálculo do resistor do Zener



Aplicando as fórmulas temos a resolução da figura 6.34.

Figura 6.34: Resolução do cálculo do resistor do Zener

$$V_z := 5,1 \quad I_{zmax} := \frac{P_z}{V_z}$$

$$V_{CC} := 15$$

$$P_z := 0,5 \quad I_{zmax} := \frac{0,5}{5,1} = 0,098$$

$$I_{zmin} := I_{zmax} \cdot 0,1 = 0,0098$$

$$R_{zmin} := \frac{V_{CC} - V_z}{I_{zmax}}$$

$$R_{zmin} := \frac{15 - 5,1}{0,098} = 101,0204$$

$$R_{zmax} := \frac{V_{CC} - V_z}{I_{zmin}}$$

$$R_{zmax} := \frac{15 - 5,1}{0,0098} = 1010,2041$$

$$R_s := \frac{R_{zmax} + R_{zmin}}{2}$$

$$R_s := \frac{1010,2 + 101,02}{2} = 555,61$$

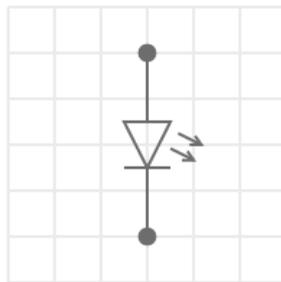
Assim o resistor que deve ser colocado em série com o zener é de 555,6 Ω , pode-se adotar o valor comercial de 560 Ω .

É importante enfatizar que este cálculo não considera o consumo de corrente de uma eventual carga conectada ao circuito. Neste caso a corrente da carga deve ser considerada no cálculo do resistor.

6.8 Diodos Emissores de Luz (LEDs)

Um diodo emissor de luz (LED) é uma fonte de luz semicondutora de dois terminais. É fisicamente um diodo de junção pn que emite luz quando ativado. Quando uma corrente é aplicada aos seus terminais, os elétrons são capazes de se recombinar com as lacunas dentro do dispositivo, liberando energia na forma de fótons (luz). Esse efeito é chamado de eletroluminescência, e a cor da luz (correspondente à energia do fóton) é determinada pelas características do semicondutor. O símbolo adotado nos diagramas eletrônicos para o LED é apresentado na figura a 6.35.

Figura 6.35: Símbolo do LED



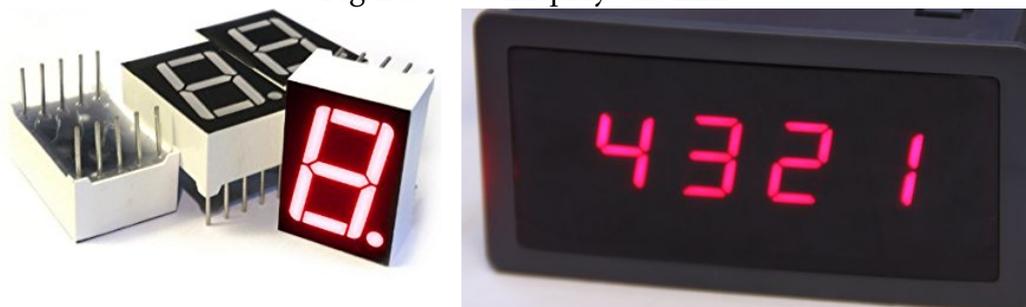
Os LEDs são fabricados em diversas cores e formatos, a figura 6.36 apresenta alguns LEDs típicos.

Figura 6.36: Exemplos de LEDs



Uma aplicação importante dos LEDs são os displays de sete segmentos, a figura 6.37 apresenta alguns deles.

Figura 6.37: Displays de LED



Desenvolvimentos recentes produziram LEDs adequados para iluminação ambiente e de tarefas. A figura 6.38 mostra lâmpadas LED típicas.

Figura 6.38: Lâmpadas LED



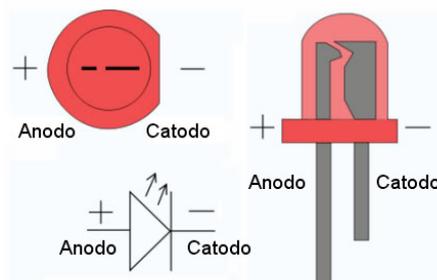
Os LEDs costumam operar com nível de tensão de 1,6 a 3,3 V. É interessante notar que a tensão é dependente do comprimento da onda emitida (Cor). A potência necessária está na faixa típica de 10 a 150 mW, com um tempo de vida útil de 100.000 ou mais horas. A tabela da figura 6.39 apresenta a tensão e a corrente de operação de alguns LEDs, em função da cor da luz emitida. É importante lembrar que estes valores variam de fabricante para fabricante.

Figura 6.39: Características dos LEDs

LEDs		
Cor do LED	Tensão em Volts (V)	Corrente em Miliamperes (mA)
Vermelho	1,8V – 2,0V	20 mA
Amarelo	1,8V – 2,0V	20 mA
Laranja	1,8V – 2,0V	20 mA
Verde	2,0V – 2,5V	20 mA
Azul	2,5V – 3,0V	20 mA
Branco	2,5V – 3,0V	20 mA

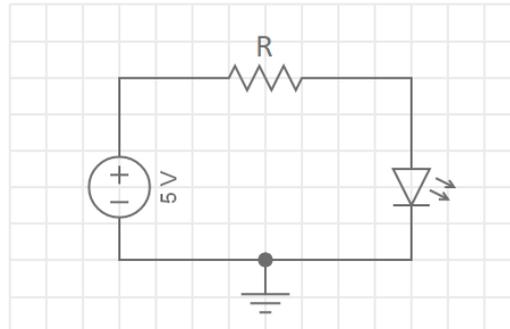
O LED como componente eletrônico tem um formato que permite diferenciar a polaridade de seus terminais. A figura 6.40 apresenta estas características.

Figura 6.40: Polaridade do LED



Para que possamos utilizar os LEDs em nossos circuitos é necessário garantir que a corrente consumida por este componente não exceda sua capacidade máxima, tipicamente 20 mA. O circuito da figura 6.41 apresenta a ligação típica de um LED, onde um resistor é utilizado para limitar a corrente do circuito.

Figura 6.41: Circuito típico com LED



O valor do resistor que deve ser colocado em série com o LED é obtido facilmente pela fórmula da equação 6.2.

$$R = \frac{V - V_L}{I_L} \quad (6.2)$$

Onde: R é o valor do resistor, V é a tensão da fonte, V_L é a tensão do LED e I_L é a corrente no LED.

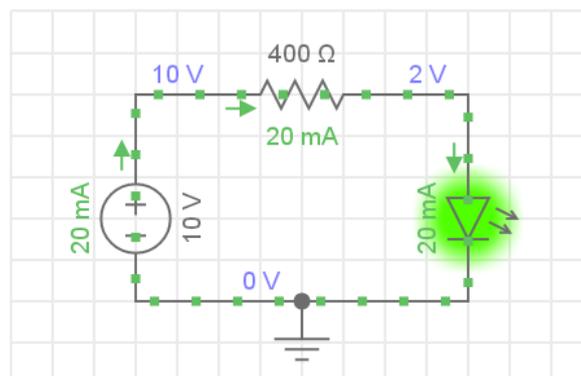
Por exemplo, digamos que se deseja alimentar um LED que tem uma tensão de operação (V_L) de 2,0 V e uma corrente de operação (I_L) de 20 mA, com uma fonte (V) de 10 V. Para estas características o resistor indicado é calculado na figura 6.42.

Figura 6.42: Cálculo do resistor do LED

$$R = \frac{V - V_L}{I_L} \quad R = \frac{10 - 2}{0,02} \quad R = 400 \Omega$$

O circuito resultante é apresentado na figura 6.43.

Figura 6.43: Circuito final do LED



Aluno: _____

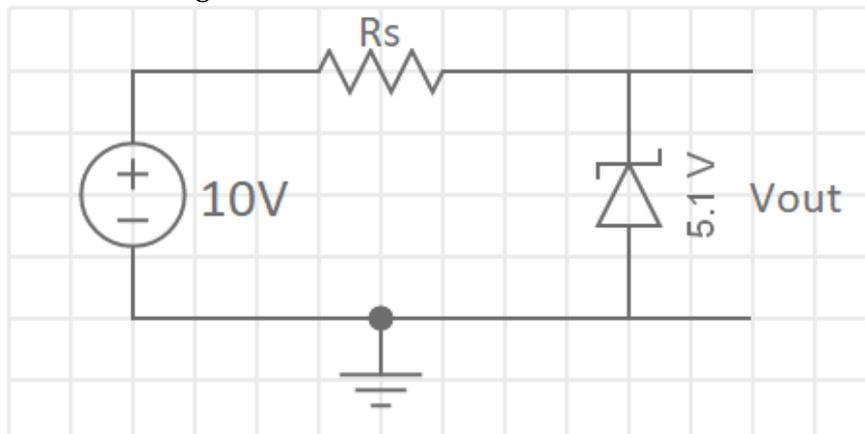
Aluno: _____

Aluno: _____

6.9 Práticas com Diodo Zener e LEDs

Prática 1: Construa o circuito da figura 6.44 e com a ajuda de um multímetro verifique seu funcionamento. Para isso calcule o valor do resistor R_s e aproxime o valor calculado para um resistor comercial. Considere a potência do Zener como 0,5 W.

Figura 6.44: Prática 1 com diodo Zener

Qual o valor de R_s ? _____

Qual a tensão no Zener? _____

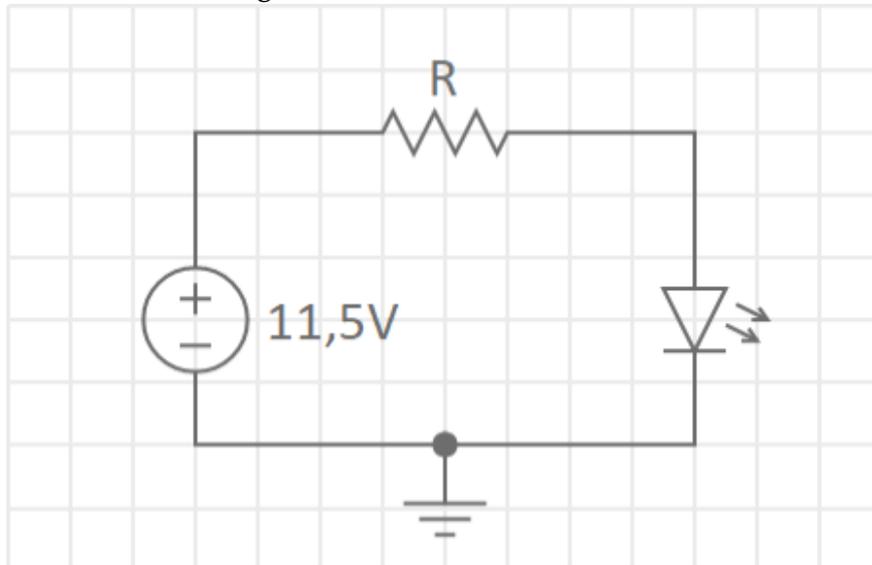
Qual a corrente no circuito? (meça a tensão no resistor e calcule a corrente) _____

Qual a potência dissipada no resistor? _____

Qual a potência dissipada no zener? _____

Prática 2: Construa o circuito da figura 6.45 e com a ajuda de um multímetro verifique seu funcionamento. Para isso calcule o valor do resistor R e aproxime o valor calculado para um resistor comercial. Considere a corrente do LED de 20 mA e a tensão no LED de 2 V.

Figura 6.45: Prática 2 com LED



Qual o valor de R ? _____

Qual a tensão no LED? _____

Qual a corrente no circuito? (meça a tensão no resistor e calcule a corrente) _____

Qual a potência dissipada no resistor? _____

Qual a potência dissipada no LED? _____

Aula 7 Transistor

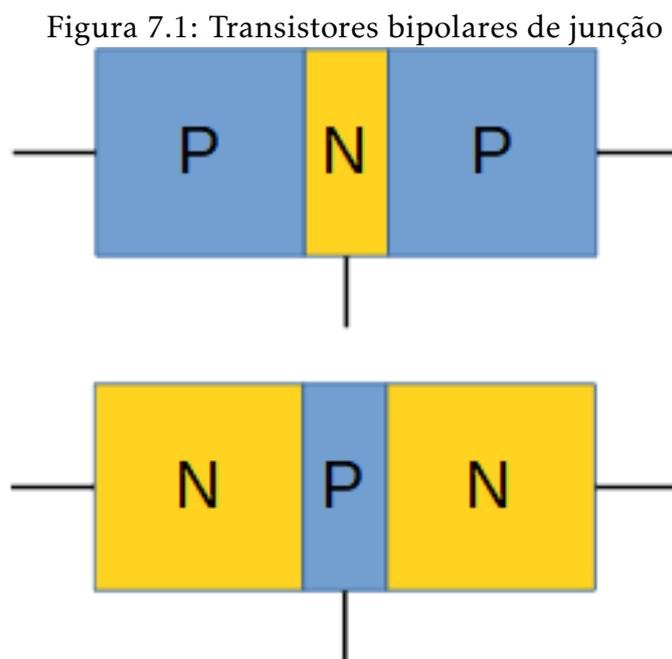
7.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar o transistor, que é um dos componentes mais importantes na eletrônica moderna. O transistor é um dispositivo elétrico semiconductor que tem a característica de permitir o controle da passagem de corrente. Esta característica o torna indispensável para uma série de aplicações, permitindo por exemplo, o desenvolvimento dos circuitos digitais modernos.

7.2 Os transistores

Existem vários tipos de transistores, abordaremos aqui apenas os transistores bipolares de junção (BJTs, Bipolar Junction Transistor em inglês). Os transistores BJT são dispositivos eletrônicos construídos com três camadas de semiconductor, nas configurações NPN ou PNP.

A figura 7.1 apresenta as características construtivas deste tipo de transistor.

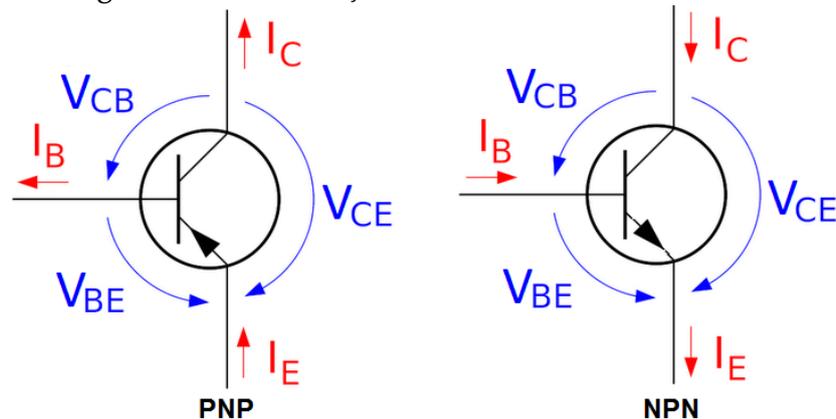


O transistor possui várias funções, dentre elas pode-se destacar: amplificador de sinal; comutador; e regulador de corrente.

O transistor tem um papel muito importante pois sua invenção possibilitou a criação de dispositivos eletrônicos cada vez mais avançados, como circuitos integrados e computadores.

Existem diversos tipos de embalagens para os transistores. O tamanho e o formato destas embalagens varia principalmente em função da capacidade de corrente e da potência dissipada no componente. A figura 7.2 apresenta algumas delas.

Figura 7.4: Polarização dos transistores PNP e NPN



Na figura é possível observar as seguintes grandezas.

- V_{cb} = Tensão entra coletor e base.
- V_{be} = Tensão entre base e emissor.
- V_{ce} = Tensão entre coletor e emissor.
- I_b = Corrente na base.
- I_e = Corrente no emissor.
- I_c = Corrente no coletor.

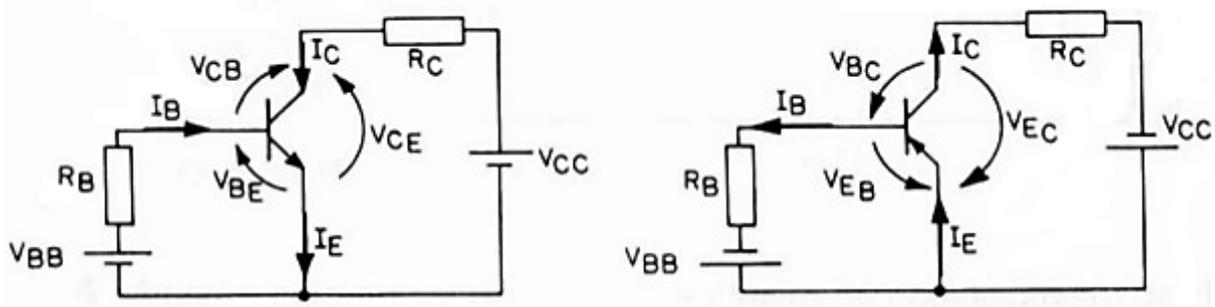
7.3 Funcionamento do Transistor

No transistor BJT, o controle da corrente entre coletor e emissor é feito controlando a corrente na base. Neste caso, uma pequena corrente de base é suficiente para estabelecer uma corrente entre os terminais do coletor e do emissor. Esta corrente será tão maior quanto maior for a corrente de base, de acordo com o ganho beta (β). Isso permite que o transistor funcione como amplificador pois ao se injetar uma pequena corrente na base se obtém uma alta corrente no coletor. No entanto, o transistor de silício só permite seu funcionamento com uma tensão entre base e emissor acima de 0,7 V. Nesta condição, o sentido de circulação da corrente e a polaridade das tensões é diferente para transistores PNP e NPN.

7.4 Polarização dos transistores

A polarização de um transistor e o estabelecimento da corrente de coletor, da corrente de base e da tensão V_{ce} , ou seja, do ponto de trabalho do transistor. Para melhor aproveitamento, devemos polarizar a junção base emissor diretamente e a junção base coletor reversamente. Para tanto, são aplicadas as tensões, V_{ss} e V_{cc} , bem como resistores limitadores de corrente. A figura 7.5 apresenta esta ligação.

Figura 7.5: Circuitos de polarização dos transistores



Observando o sentido de circulação das correntes no transistor pode-se notar que tanto a corrente de base como a corrente de coletor passam através do emissor, desta forma podemos afirmar que a corrente do emissor é expressa pela equação 7.1.

$$I_e = I_c + I_b \tag{7.1}$$

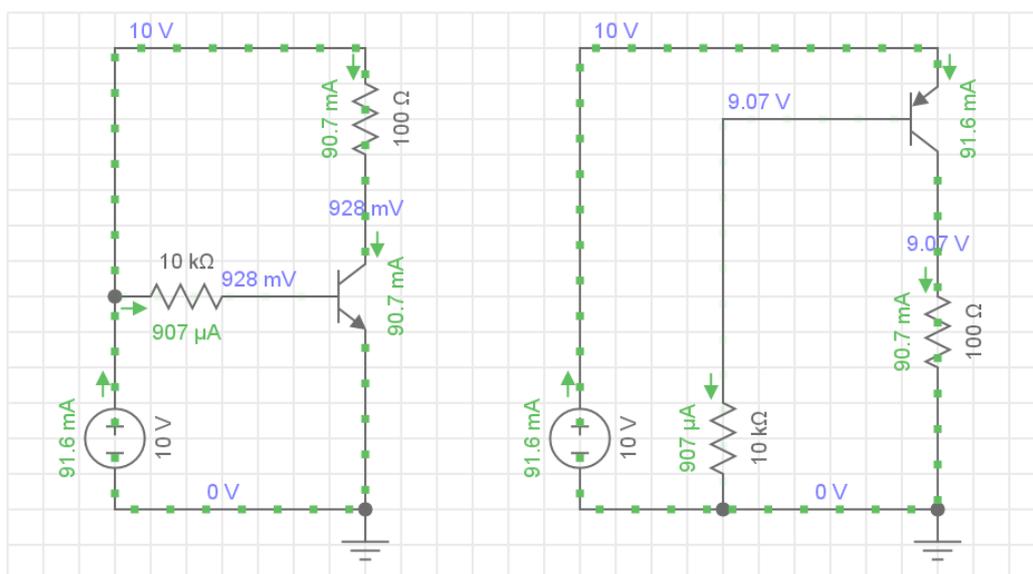
A principal característica do transistor é que uma corrente de base (pequena) exerce um controle eficiente sobre a corrente no coletor. Assim, se I_b aumenta, I_c também aumenta e se I_b diminui, I_c também diminui. Esta relação é chamada de ganho de corrente do transistor.

A corrente do coletor ou corrente controlada (I_c) e a corrente da base ou controle de controle (I_b) podem ser relacionadas entre si para determinar quantas vezes uma é maior que outra. A equação 7.2 apresenta esta relação, onde o ganho de corrente é simbolizado pela letra grega beta (β).

$$I_c = \beta \cdot I_b \tag{7.2}$$

A figura 7.6 apresenta um circuito exemplificando as correntes que circulam no transistor, quando o mesmo está devidamente polarizado.

Figura 7.6: Exemplo de polarização de transistor

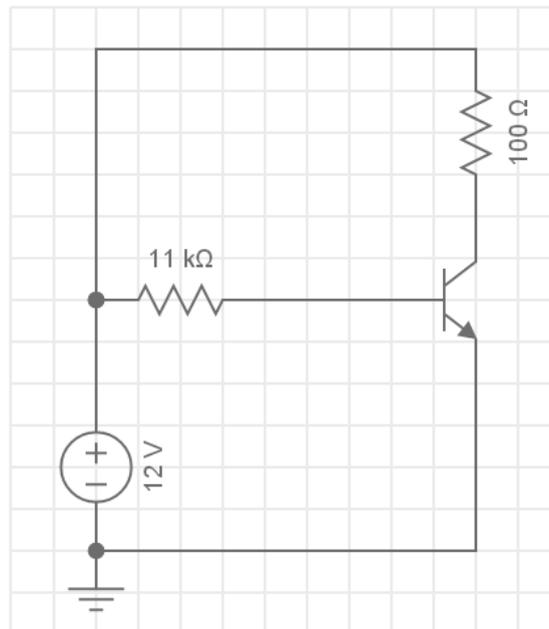


Na configuração apresentada na figura 7.6 o transistor é utilizado como amplificador de corrente.

A seguir temos um exemplo da utilização das fórmulas apresentadas anteriormente no cálculo das grandezas envolvidas na polarização do transistor.

Observando o circuito da figura 7.7 determine as correntes I_b , I_c e I_e e a tensão no coletor do transistor. Considere $V_{be} = 0,7V$ e $\beta = 100$.

Figura 7.7: Exemplo de cálculo da polarização de transistor



$$V_{be} := 0,7$$

$$R_b := 11000$$

$$R_c := 100$$

$$\beta := 100$$

A corrente da base é a mesma corrente do resistor da base

$$I_{rb} := \frac{V_{rb}}{R_b}$$

$$I_{rb} := \frac{12 - V_{be}}{R_b}$$

$$I_b := I_{rb}$$

$$I_b = 0,001027A$$

$$I_c := \beta \cdot I_b$$

$$I_c = 0,102727A$$

$$I_e := I_c + I_b$$

$$I_e = 0,103755A$$

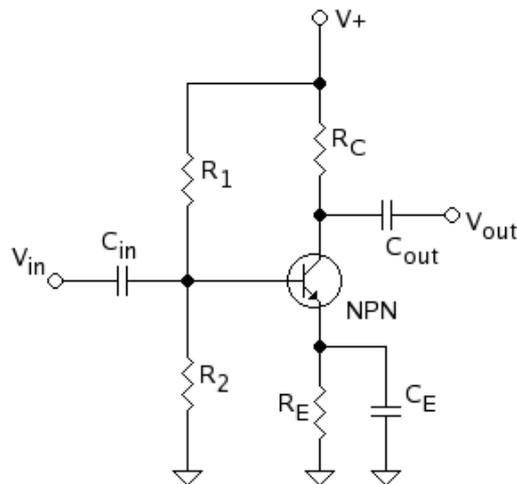
$$V_c := 12 - R_c \cdot I_c$$

$$V_c = 1,727273V$$

7.5 Aplicação do transistor como amplificador

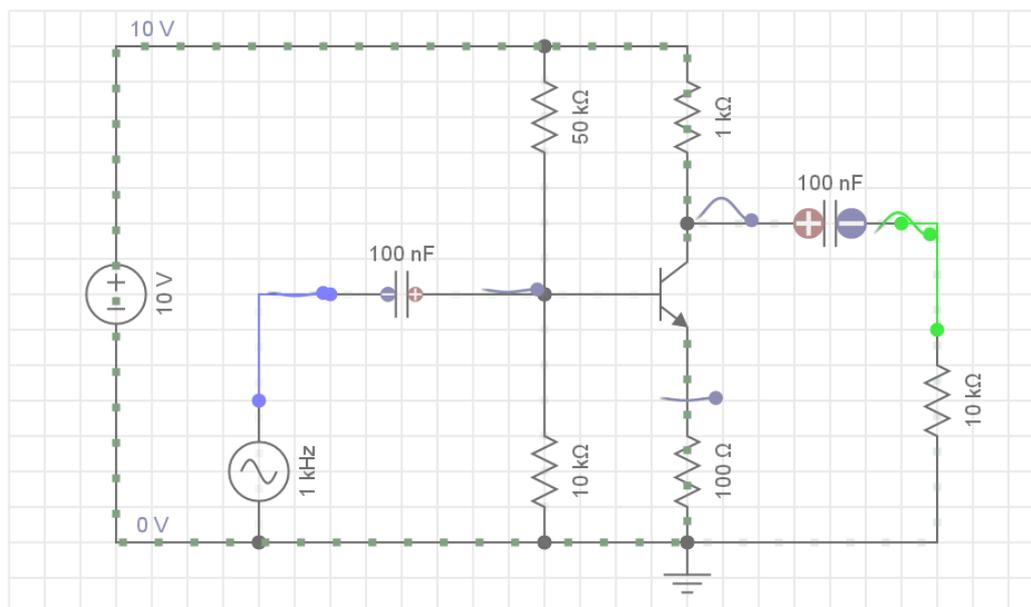
As características de operação do transistor permitem sua utilização como amplificador de sinais. Anteriormente foi apresentado um circuito onde o transistor operou como amplificador de corrente, porém o transistor também pode operar como amplificador de tensão. Existem diversas configurações de circuitos que permitem utilizar o transistor como amplificador de tensão. A figura 7.8 apresenta um exemplo de amplificador de tensão com transistor.

Figura 7.8: Amplificador de tensão com transistor



Na figura 7.9 é apresentado um circuito com esta topologia em funcionamento.

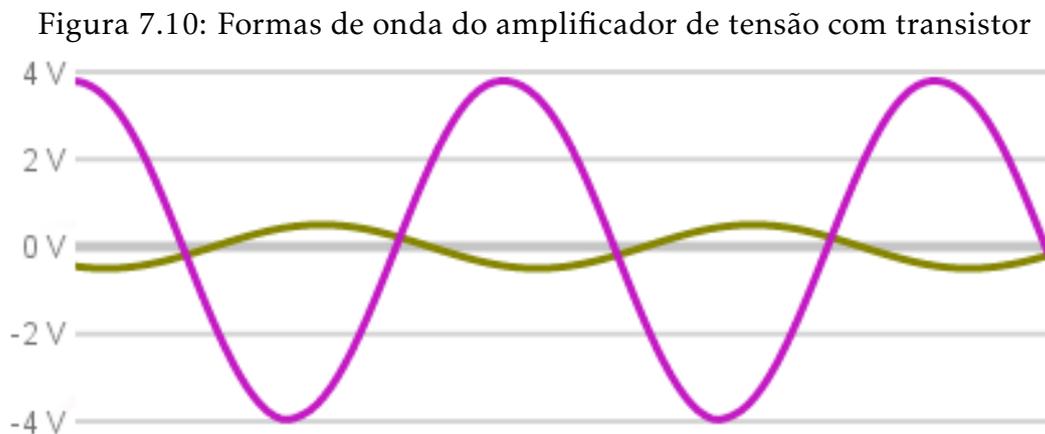
Figura 7.9: Amplificador de tensão com transistor



Quando um transistor está trabalhando como amplificador costuma-se dizer que ele está

na **região ativa** de polarização.

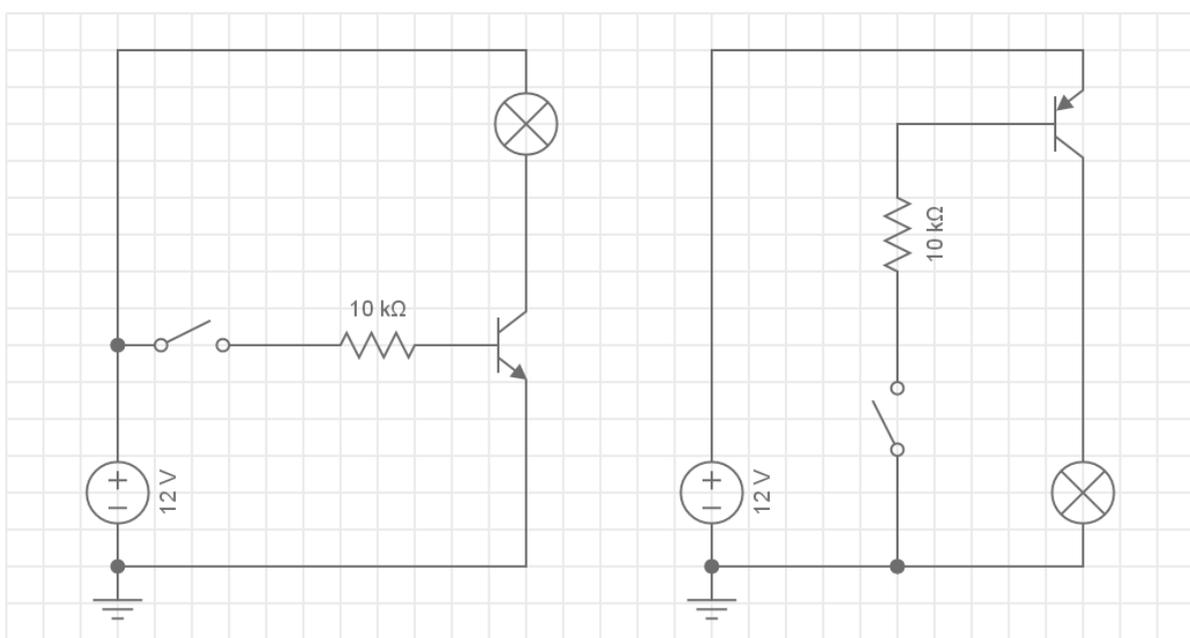
As tensões de entrada e saída do circuito são apresentadas na figura 7.10.



7.6 Aplicação do transistor como chave

O transistor também pode ser utilizado como uma chave, servindo para ligar e desligar cargas. A utilização do transistor como chave tem algumas vantagens, como a velocidade de operação e a ausência de centelhas. A polarização do transistor quando operando como chave é mais simples, pois a corrente da base não necessita de um controle tão preciso. Basta que se utilizem um resistor de base que garanta uma corrente de base maior que a corrente de coletor dividida pelo ganho do transistor. Os circuitos apresentados na figura 7.11 mostram dois transistores operando como chave para controlar uma lâmpada.

Figura 7.11: Transistor operando como chave



É importante salientar que nestas configurações a corrente que alimenta a lâmpada não passa pelo interruptor, esta corrente passa pelo transistor. O interruptor é responsável apenas por fornecer uma pequena corrente para polarizar a base do transistor. Esta configuração pode ser usada sempre que um circuito de baixa corrente necessite alimentar uma carga que consome uma corrente maior. Ou ainda quando a tensão do circuito de controle é diferente da tensão da carga.

Quando o transistor está polarizado de forma a não conduzir corrente costuma-se dizer que o transistor está em **corte**, já quando está polarizado de forma a fornecer toda a corrente da carga costuma-se dizer que o transistor está em **saturação**.

Aluno: _____

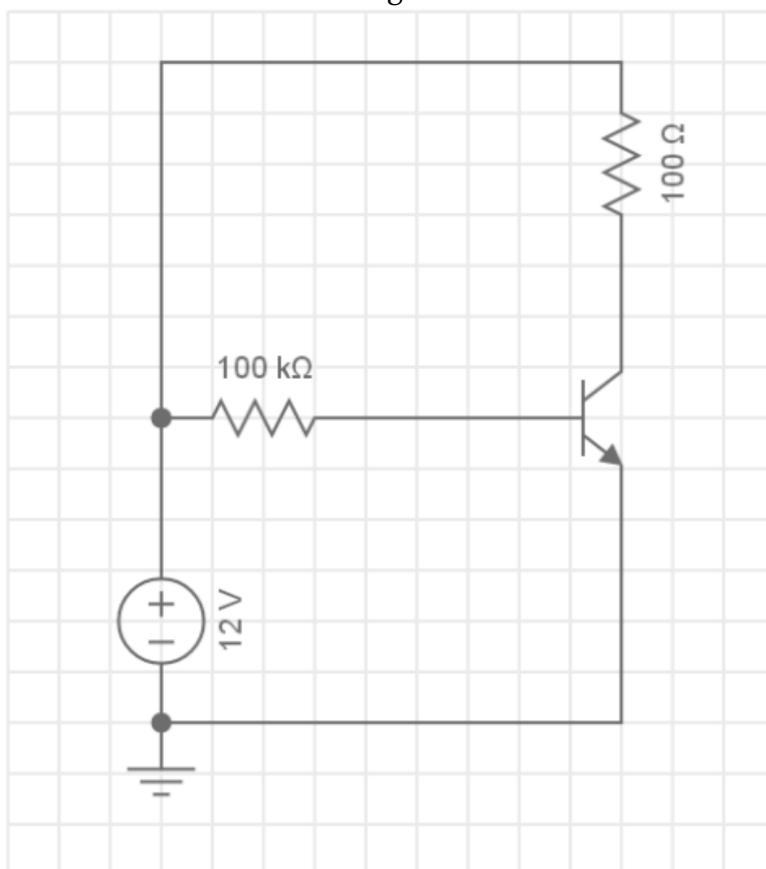
Aluno: _____

Aluno: _____

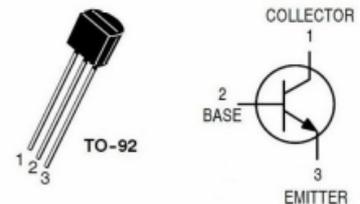
7.7 Práticas com Transistor

Prática 1: Construa o circuito amplificador de corrente da figura 7.12 e com a ajuda de um multímetro faça as medidas e responda as perguntas.

Figura 7.12: Prática 1 com transistor



Transistor BC337



Qual a tensão na base? _____

Qual a tensão no coletor? _____

Qual a corrente na base? (meça a tensão no resistor e calcule a corrente) _____

Qual a corrente no coletor? (meça a tensão no resistor e calcule a corrente) _____

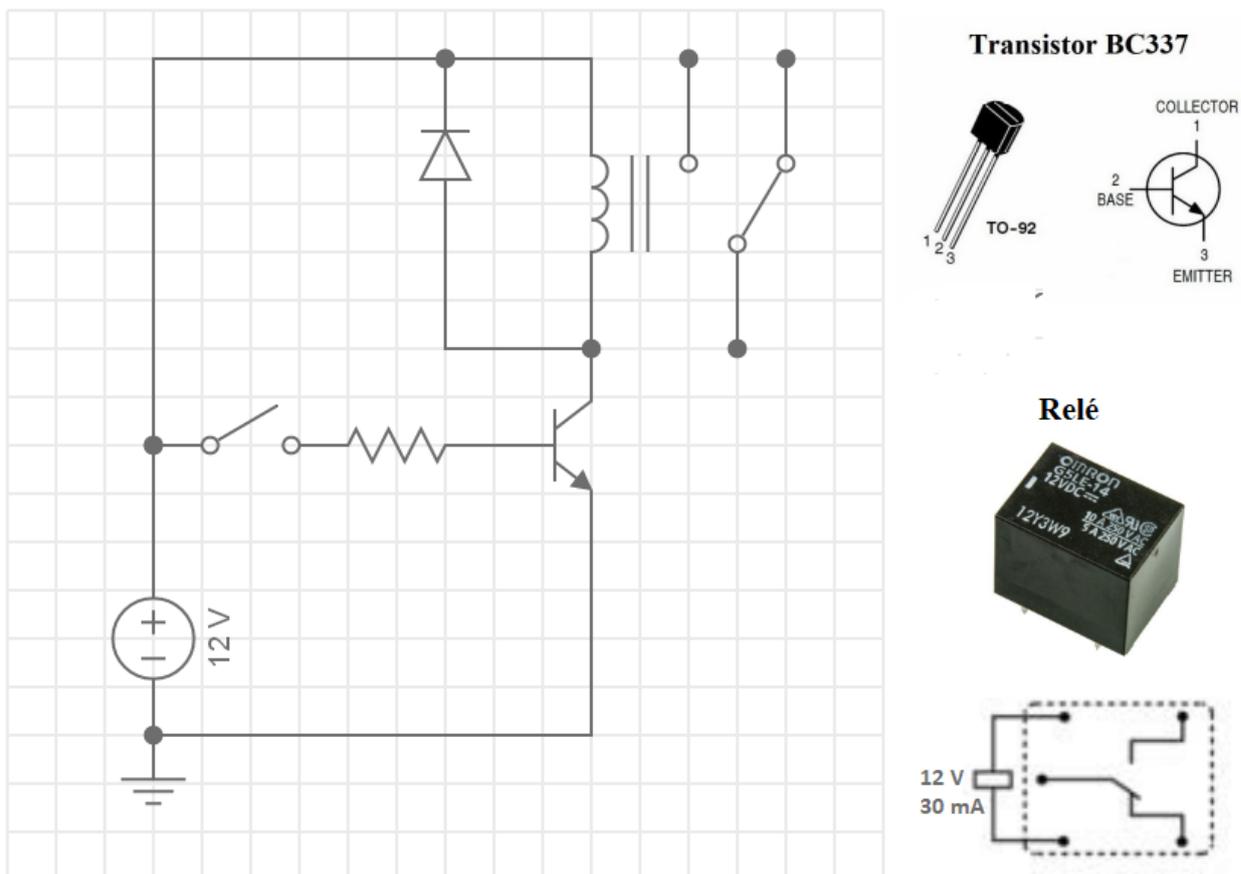
Qual é o ganho do transistor (β)? _____

Prática 2: Construa o circuito da figura 7.13 onde o transistor opera como chave para acionar um relé. O resistor de base deve ser calculado em função da corrente consumida pelo relé. Considere a corrente da base como o dobro da corrente mínima necessária para fornecer a corrente consumida pelo relé, garantindo assim a saturação do transistor. O diodo é necessário para dissipar a energia armazenada na bobina do relé, evitando assim a destruição do transistor durante a abertura do circuito.

Considere para os cálculos a corrente consumida pela bobina do relé igual a **30 mA**. Utilize também para os cálculos o ganho β do transistor calculado na prática anterior.

(Observação: O relé é um interruptor eletromecânico que comuta um conjunto de contatos quando uma corrente é aplicada a sua bobina.)

Figura 7.13: Prática 2 com transistor



Qual o valor do resistor utilizado no circuito? _____

Aula 8 Amplificadores Operacionais

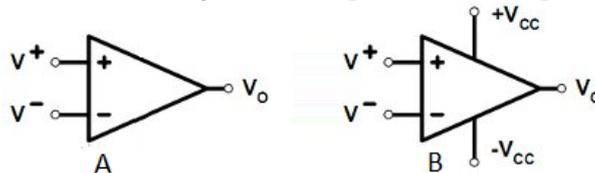
8.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar os amplificadores operacionais, que são circuitos integrados compostos por vários componentes e que possuem uma grande variedade de aplicações na eletrônica. Sua principal característica é amplificar a diferença das tensões aplicadas a seus terminais de entrada. Os amplificadores operacionais estão entre os circuitos integrados mais utilizados na eletrônica analógica, devido principalmente a grande variedade de aplicações a que ele se destina.

8.2 Amplificadores operacionais

Amplificadores operacionais são circuitos eletrônicos integrados (CI) compostos por vários componentes e encapsulados em uma embalagem prática e funcional. Um amplificador operacional (amp op) é um circuito amplificador com ganho muito elevado, tendo dois terminais de entrada: um identificado como terminal inversor(-) e o outro identificado como terminal não inversor(+) e um terminal de saída. A figura 8.1 apresenta os símbolos utilizados para este componente nos diagramas eletrônicos.

Figura 8.1: Simbologia dos amplificadores operacionais



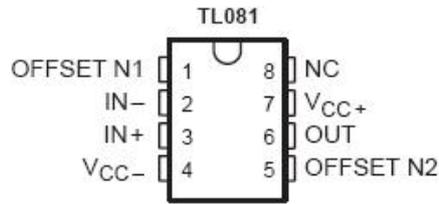
Nesta figura o símbolo A não apresenta os terminais de alimentação do componente, já o símbolo B apresenta estes terminais. Para que o componente funcione é necessária sua correta alimentação através destes terminais. A figura 8.2 apresenta algumas embalagens típicas para os amplificadores operacionais.

Figura 8.2: Embalagens dos amplificadores operacionais



Nestas embalagens os terminais do componente são conectados conforme a figura 8.3. Mas é importante salientar que a posição dos pinos varia de um modelo para outro, conforme o manual do fabricante, neste caso o amplificador operacional é do modelo TL081.

Figura 8.3: Pinagem de um amplificador operacional

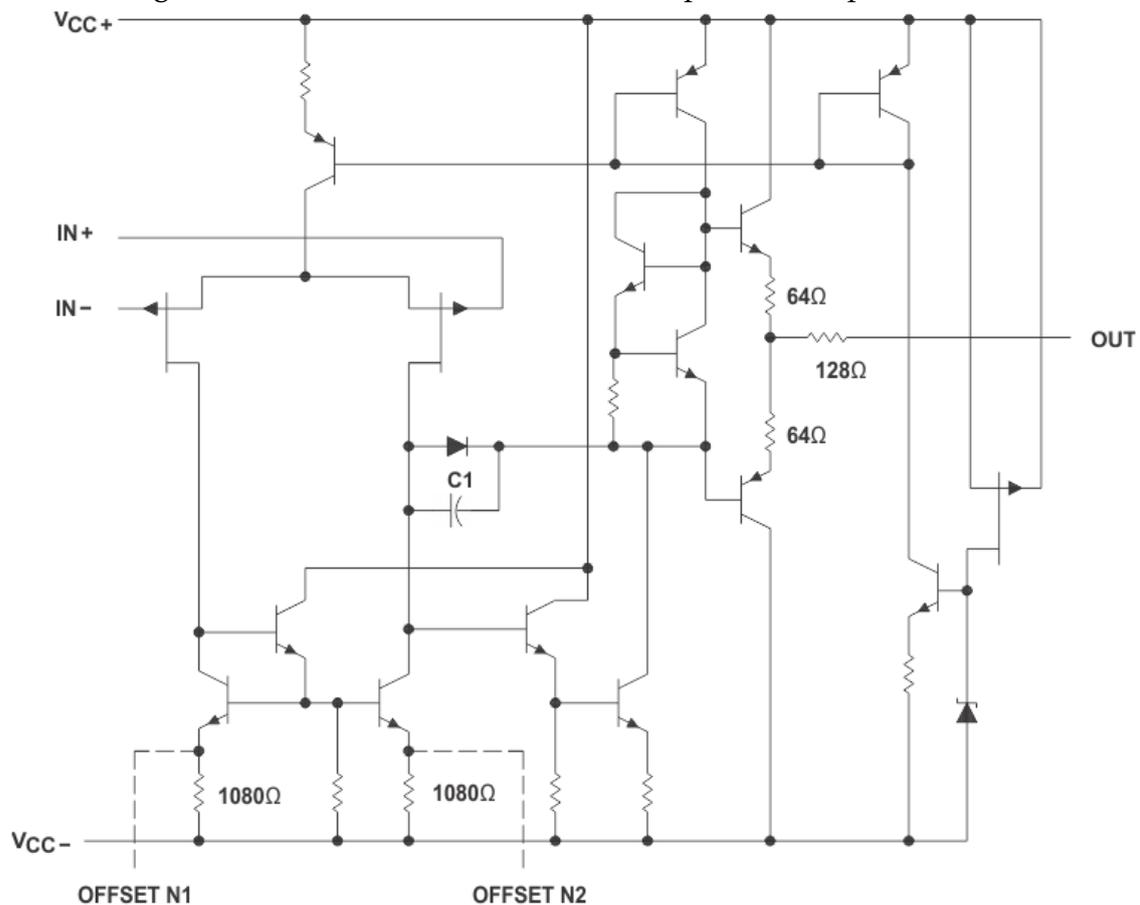


Nos amplificadores operacionais a tensão de saída é a diferença entre as entradas (+) e (-), multiplicado pelo ganho (muito grande) em malha aberta, conforme a equação 8.1.

$$V_{out} = (V_+ - V_-) \cdot G \quad (8.1)$$

Onde V_{out} é a tensão de saída, V_+ é a tensão na entrada não inversora, V_- é a tensão na entrada inversora e G é o ganho de malha aberta do Amplificador operacional. A figura 8.4 mostra, a título de curiosidade, a estrutura interna de um amplificador operacional típico.

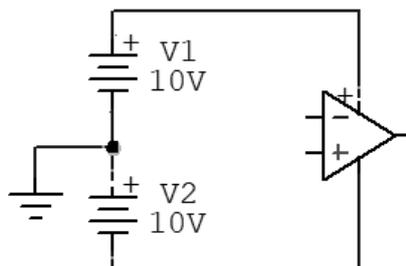
Figura 8.4: Estrutura interna de um amplificador operacional



8.3 Alimentação do circuito

A alimentação dos amplificadores operacionais normalmente não é simples, necessitando de uma fonte de tensão simétrica. A figura 8.5 apresenta um circuito típico para a alimentação deste componente.

Figura 8.5: Alimentação de um amplificador operacional

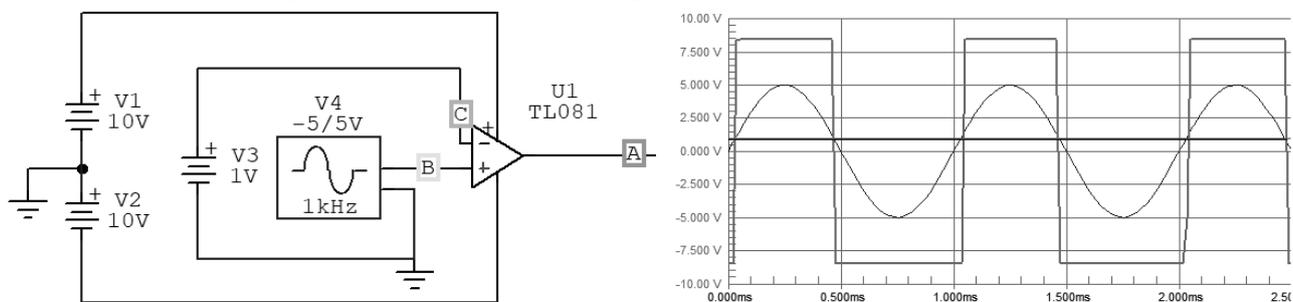


A tensão simétrica de alimentação do amplificador operacional desempenha um papel importante em seu funcionamento. Apesar do ganho do amplificador operacional ser elevado a tensão no seu terminal de saída não ultrapassa as tensões de alimentação. Assim para o exemplo da figura anterior, a máxima tensão positiva de saída é de 10 V e a máxima tensão negativa de saída é de -10 V. Na maioria dos casos também devem ser consideradas algumas perdas internas do componente.

8.4 Comparador

O amplificador operacional tem várias aplicações como veremos nas próximas seções, a primeira aplicação do amplificador a ser estudada é a aplicação como comparador. Na configuração de comparador o sinal é conectado a entrada não inversora do amplificador operacional e referência a ser comparada é conectado a entrada inversora. Quando o resultado da diferença entre ($V+ - V-$) for positiva, a saída fornecerá o nível da alimentação positiva, caso contrário fornecerá o nível da alimentação negativa, veja um exemplo na figura 8.6.

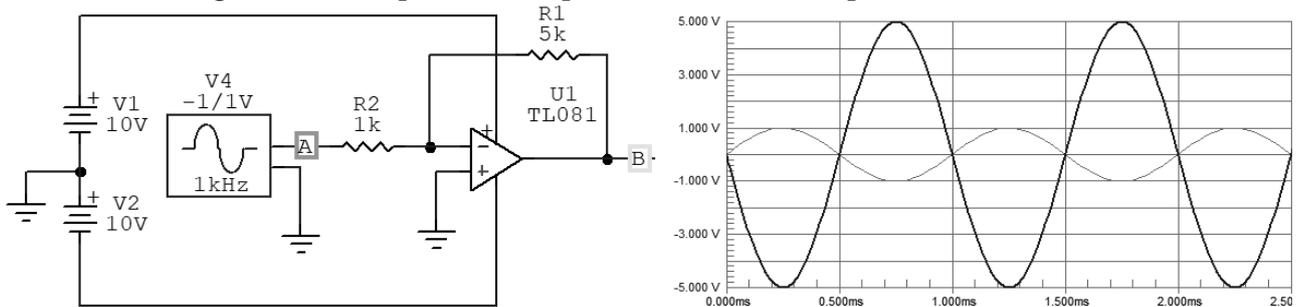
Figura 8.6: Amplificador operacional como comparador



8.5 Amplificador Inversor

Na configuração de amplificador inversor o sinal a ser amplificado é aplicado à entrada inversora do amplificador operacional, enquanto a entrada não inversora é conectada ao terra do circuito. Esta conexão com o terra fornece uma referência para os sinais de entrada e saída. A figura 8.7 apresenta esta configuração.

Figura 8.7: Amplificador operacional como amplificador inversor



Os resistores R_1 e R_2 fornecem um sinal de realimentação ao circuito, limitando assim o ganho do amplificador. O valor do ganho para esta configuração pode ser obtido através da equação 8.2.

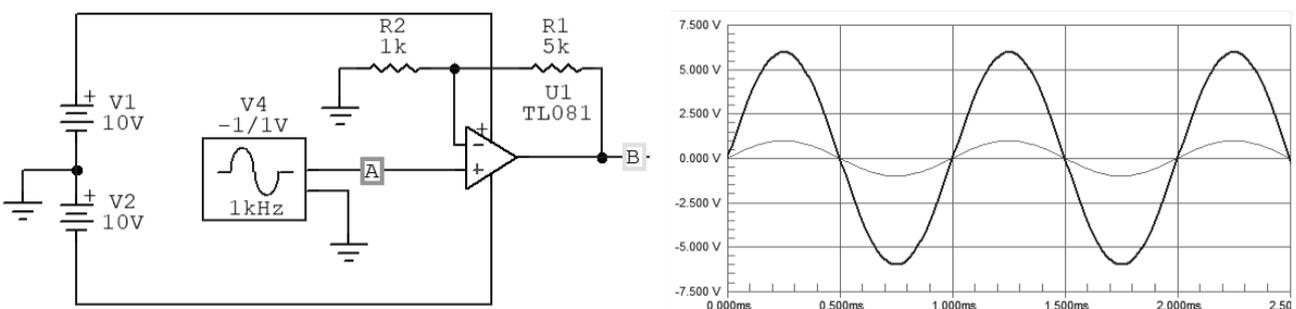
$$V_s = -\frac{R_1}{R_2} \cdot V_e \quad (8.2)$$

Onde V_s é a tensão de saída, V_e é a tensão de entrada e R_1 e R_2 são os resistores de realimentação. É importante lembrar que a saída está limitada pela tensão de alimentação.

8.6 Amplificador não Inversor

Na configuração de amplificador não inversor o sinal a ser amplificado é aplicado à entrada não inversora do amplificador operacional, enquanto a entrada inversora é conectada ao circuito de realimentação. A figura 8.8 apresenta esta configuração.

Figura 8.8: Amplificador operacional como amplificador não inversor



Assim como na configuração anterior os resistores R_1 e R_2 fornecem um sinal de realimentação ao circuito, limitando assim o ganho do amplificador. O valor do ganho para esta configuração pode ser obtido através da equação 8.3.

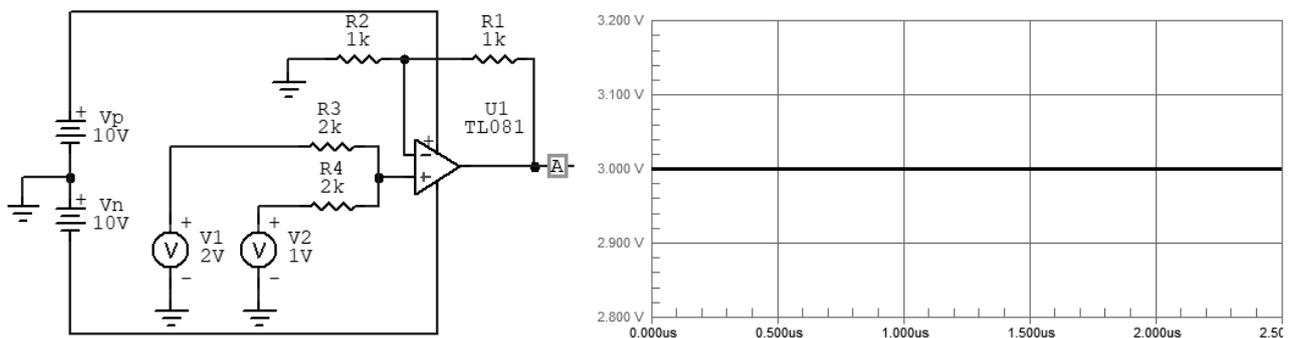
$$V_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot V_e \quad (8.3)$$

Onde V_s é a tensão de saída, V_e é a tensão de entrada e R_1 e R_2 são os resistores de realimentação. É importante lembrar que a saída está limitada pela tensão de alimentação. Esta configuração tem duas vantagens sobre a anterior, o sinal não sofre inversão e a impedância da entrada do amplificador é muito maior.

8.7 Somador

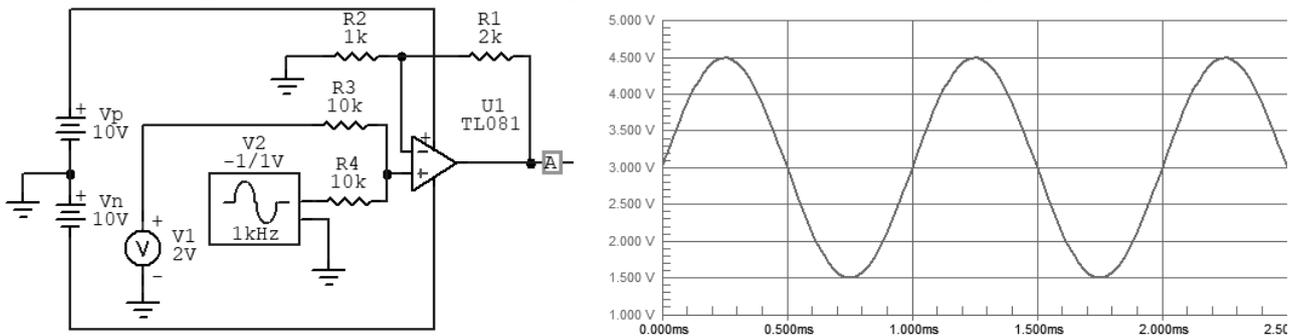
Na configuração de somador os sinais a serem somados são aplicados à entrada não inversora do amplificador operacional, enquanto a entrada inversora é conectada ao circuito de realimentação. A figura 8.9 apresenta esta configuração.

Figura 8.9: Amplificador operacional como somador



Neste exemplo duas tensões contínuas são somadas e o resultado aparece na saída do amplificador operacional. A figura 8.10 apresenta um circuito somador com amplificador operacional onde além da soma é realizada uma amplificação do sinal.

Figura 8.10: Amplificador operacional como somador amplificador



Neste exemplo uma tensão alternada é somada a uma tensão contínua, e ambas são amplificadas.

Assim como nas configurações anteriores os resistores R_1 e R_2 fornecem um sinal de realimentação ao circuito, limitando e controlando o ganho do amplificador. O valor do ganho para esta configuração pode ser obtido através da equação 8.4.

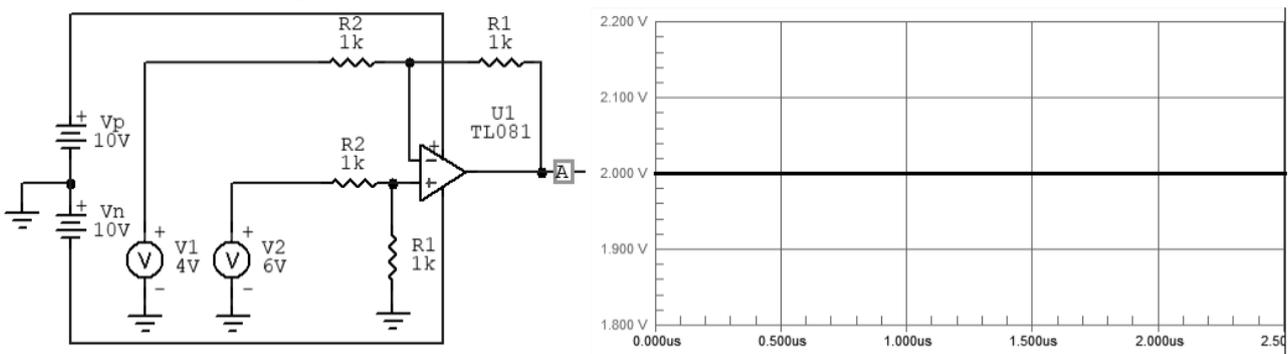
$$V_s = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot \left(\frac{V_1}{R_3} + \frac{V_2}{R_4}\right) \quad (8.4)$$

Onde V_s é a tensão de saída, V_1 e V_2 são as tensões de entrada, R_1 e R_2 são os resistores de realimentação que definem o ganho e R_3 e R_4 são os resistores de entrada. É importante lembrar que a saída está limitada pela tensão de alimentação.

8.8 Subtrator

Na configuração de subtrator os sinais são conectados as entradas através de resistores, conforme apresentado na figura 8.11.

Figura 8.11: Amplificador operacional como subtrator



Nesta configuração são utilizados dois resistores R_1 e dois resistores e R_2 , esta notação foi utilizada para informar que os valores dos resistores devem ser os mesmos em ambas as entradas.

O valor do ganho para esta configuração pode ser obtido através da equação 8.5.

$$V_s = \frac{R_1}{R_2} \cdot (V_2 - V_1) \quad (8.5)$$

Onde V_s é a tensão de saída, V_1 e V_2 são as tensões de entrada e R_1 e R_2 são os resistores de realimentação. É importante lembrar que a saída está limitada pela tensão de alimentação.

Aluno: _____

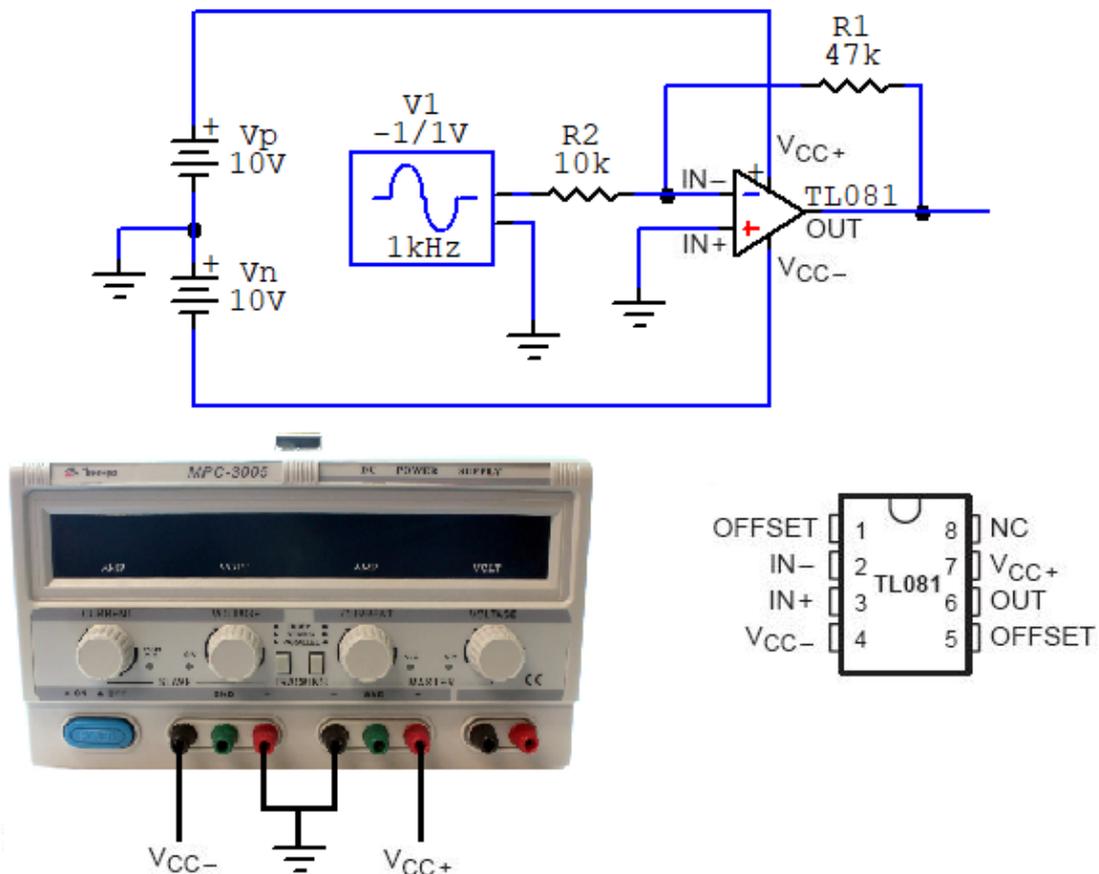
Aluno: _____

Aluno: _____

8.9 Práticas

Prática 1: Construa o circuito da figura 8.12 e com a ajuda de um osciloscópio faça as medidas e responda as perguntas. Utilize o gerador de funções para gerar o sinal de entrada. Tome bastante cuidado com a conexão da fonte, a figura apresenta um exemplo.

Figura 8.12: Prática 1 com amplificador operacional



Qual é o ganho teórico deste circuito? _____

Qual o valor de pico da tensão de saída? _____

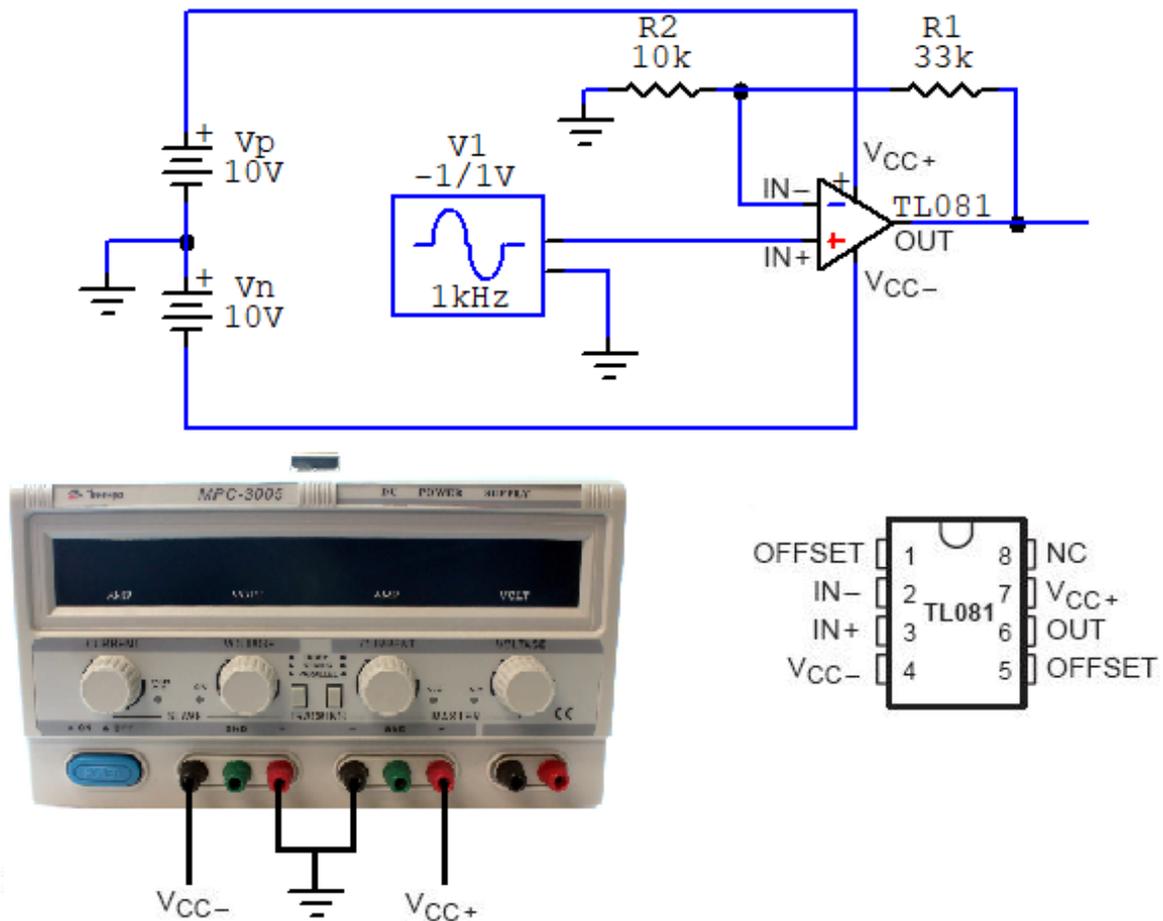
Qual é o ganho medido deste circuito? _____

A tensão de saída está na mesma fase da tensão de entrada? _____

Qual é o nome desta configuração de circuito? _____

Prática 2: Construa o circuito da figura 8.13 e com a ajuda de um osciloscópio faça as medidas e responda as perguntas. Utilize o gerador de funções para gerar o sinal de entrada.

Figura 8.13: Prática 2 com amplificador operacional



Qual é o ganho teórico deste circuito? _____

Qual o valor de pico da tensão de saída? _____

Qual é o ganho medido deste circuito? _____

A tensão de saída está na mesma fase da tensão de entrada? _____

Qual é o nome desta configuração de circuito? _____

Aula 9 Reguladores de tensão

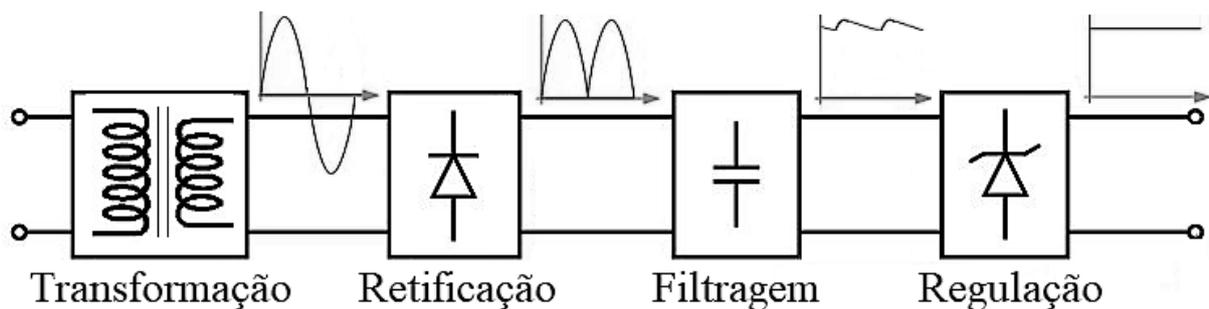
9.1 Introdução

O objetivo desta aula é estudar os reguladores de tensão, que são circuitos integrados compostos por vários componentes e servem para estabilizar e regular uma tensão contínua. Este tipo de componente é amplamente utilizado na eletrônica, estando presente na maioria dos circuitos produzidos atualmente.

9.2 Os reguladores de tensão

Em várias situações é necessário que uma determinada tensão permaneça estável, ou seja, não sofra alterações em sua amplitude em função das alterações das características de operação do circuito. Nestes casos é necessário que se utilize circuitos reguladores de tensão. A figura 9.1 apresenta como exemplo o diagrama de blocos de uma fonte linear, onde o último bloco é o regulador de tensão responsável por eliminar a ondulação da tensão após a filtragem.

Figura 9.1: Exemplo de utilização de um regulador de tensão



9.3 Circuitos reguladores com componentes discretos

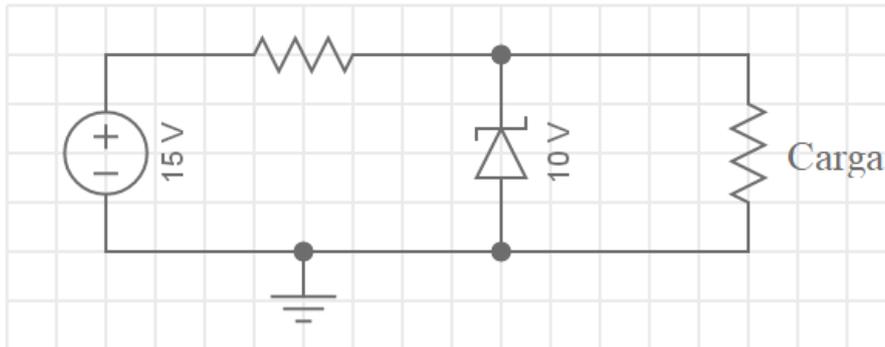
Os circuitos reguladores têm muitas aplicações e podem ser construídos de várias formas. Uma forma simples de construir um regulador de tensão é utilizando um diodo zener. A figura 9.2 apresenta um exemplo deste tipo de circuito.

Nesta configuração a tensão de saída é igual a tensão do zener.

Esta configuração de regulador de tensão é bastante simples e funcional, porém tem uma limitação importante. Toda a corrente entregue a carga deve passar pelo resistor em série com a fonte, o que ocasiona algumas dificuldades, como, por exemplo, dificuldades de regulação de tensão com grandes variações na carga e limitações na capacidade de corrente.

É também necessário garantir que uma corrente mínima circule pelo diodo zener para que este possa realizar a regulação da tensão corretamente. Estas características tornam este

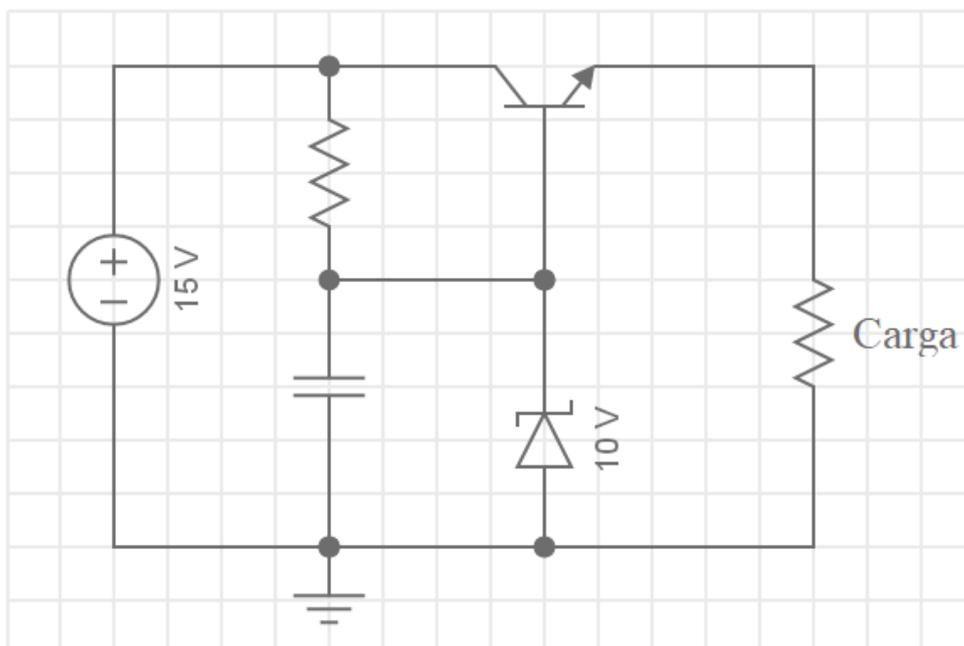
Figura 9.2: Regulador de tensão com zener



circuito pouco prático para aplicações mais complexas, mas em aplicações mais simples este circuito permite uma regulação de tensão de baixo custo.

Um circuito regulador de tensão mais eficiente é apresentado na figura 9.3.

Figura 9.3: Regulador de tensão com transistor

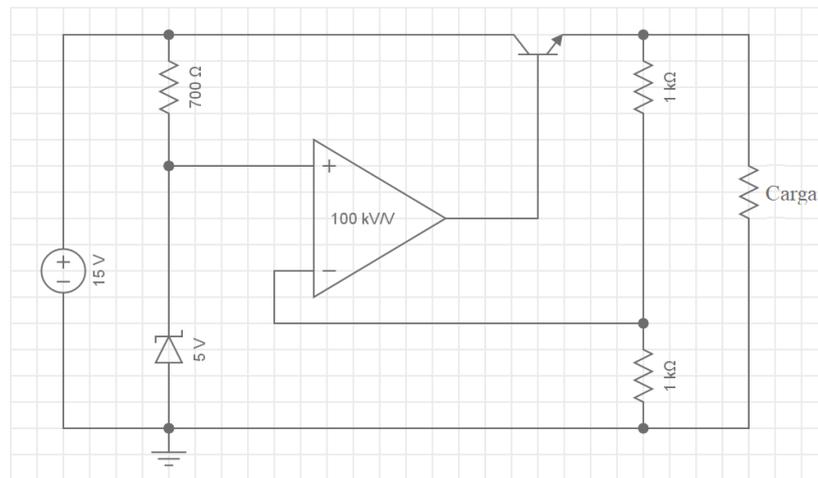


Neste circuito é adicionado um transistor para aumentar a capacidade de corrente e a estabilidade. O resultado é um circuito mais robusto e mais estável do que o circuito regulador implementado apenas com zener. Também é comum adicionar a este circuito um pequeno capacitor. Este capacitor ajuda a aumentar a estabilidade do circuito. Nesta configuração a tensão de saída é a tensão do zener menos a tensão V_{be} do transistor.

Esta configuração é apropriada para grande parte das aplicações, porém em aplicações que necessitam uma estabilidade de tensão ainda maior o circuito apresentado na figura 9.4 pode ser utilizado.

Neste circuito regulador de tensão um amplificador operacional é utilizado para manter a tensão da saída constante em relação a uma referência que vem do diodo zener.

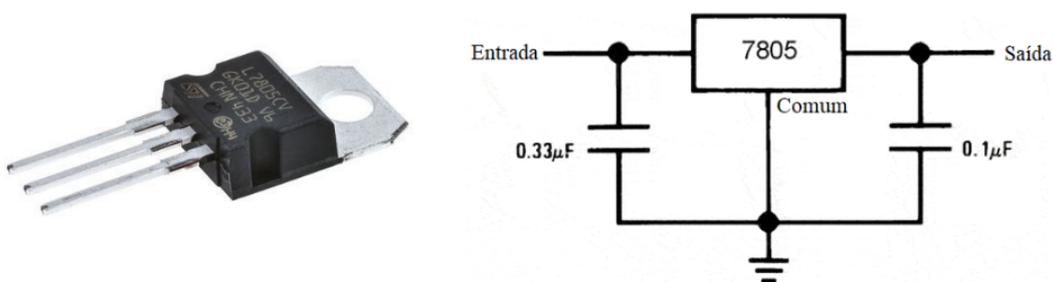
Figura 9.4: Regulador de tensão com amplificador operacional



9.4 Reguladores de tensão integrados

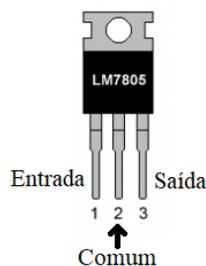
Como os reguladores de tensão são circuitos amplamente utilizados, vários fabricantes disponibilizam estes circuitos na forma de um circuito integrado. A figura 9.5 apresenta um regulador de tensão integrado. É possível observar sua embalagem e seu esquema de ligação.

Figura 9.5: Regulador de tensão integrado



Um exemplo de regulador de tensão comercial é o LM7805, apresentado na figura 9.6, este componente fornece em sua saída uma tensão regulada de 5V.

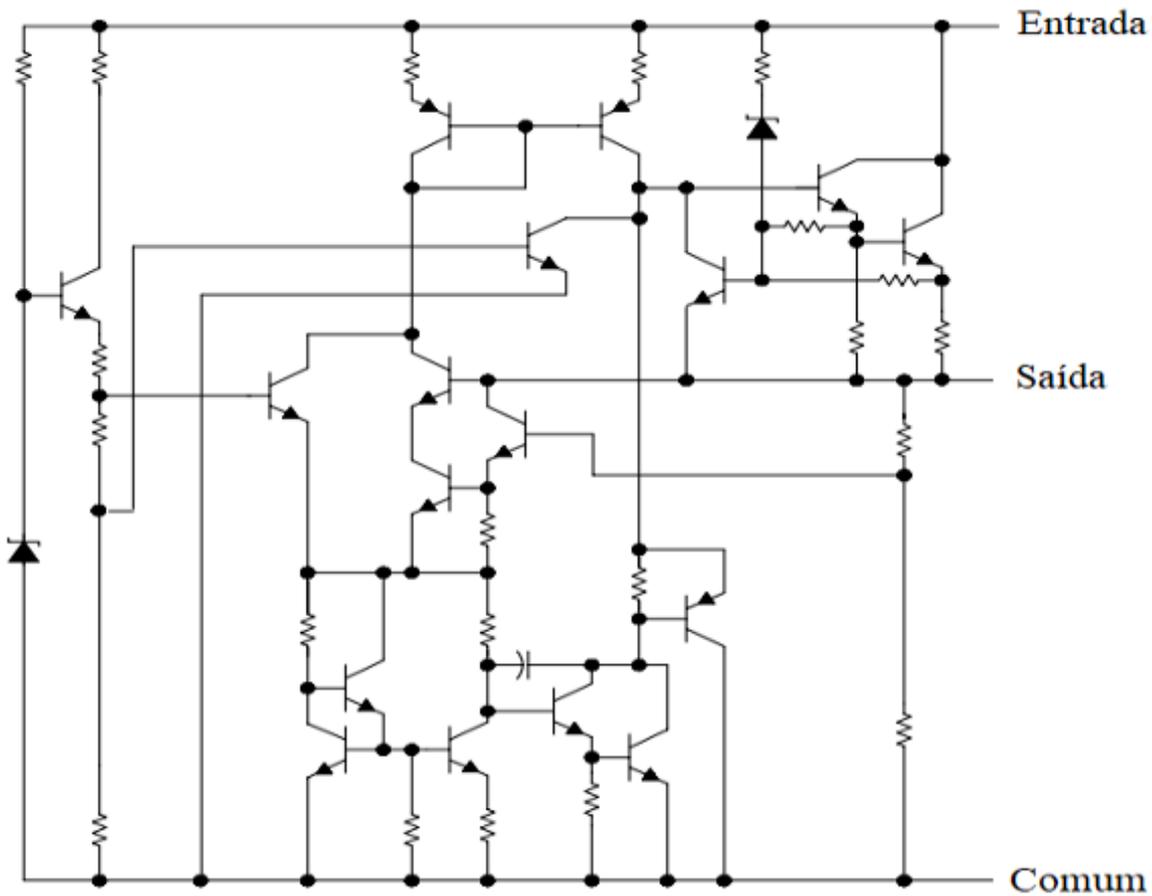
Figura 9.6: Regulador de tensão LM7805



Sua capacidade de corrente é de 1A, e a tensão em sua entrada pode variar de acordo com a potência dissipada pelo componente.

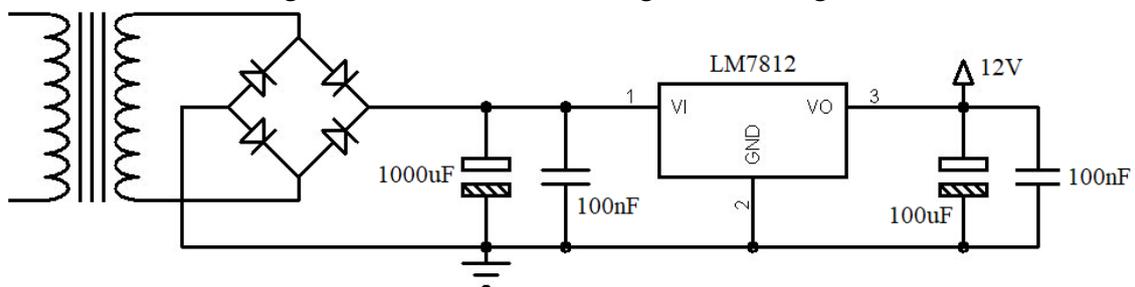
Este regulador faz parte de uma família de reguladores positivos de tensão chamada família LM78XX. A figura 9.7 apresenta o circuito interno deste componente.

Figura 9.7: Circuito interno do LM78XX



A figura 9.8 apresenta um circuito típico que emprega um regulador de tensão LM7812 em seu estágio de saída.

Figura 9.8: Circuito com regulador integrado



Esta família de reguladores de tensão é composta por um conjunto de reguladores com tensões de saída fixa. A figura 9.9 apresenta as características destes reguladores.

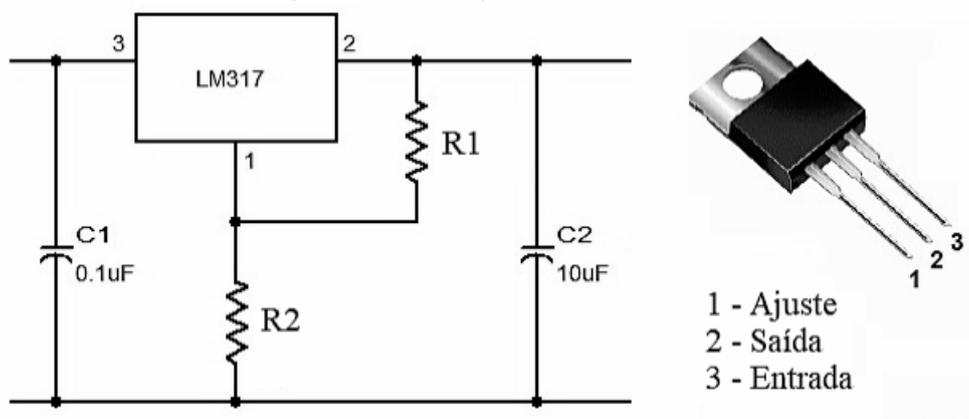
Como já mencionado, a capacidade de corrente dos reguladores de tensão desta família vai depender da potência dissipada no componente, mas normalmente é limitada a 1A.

Figura 9.9: Família de reguladores LM78XX

DISPOSITIVO	SAÍDA	ENTRADA	TEMPERATURA
LM7805	5,0V	7 to 20	0 to 125 °C
LM7806	6,0V	8 to 20	0 to 125 °C
LM7808	8,0V	10.5 to 23	0 to 125 °C
LM7809	9,0V	11.5 to 24	0 to 125 °C
LM7810	10,0V	12.5 to 25	0 to 125 °C
LM7812	12,0V	14.5 to 27	0 to 125 °C
LM7815	15,0V	17.5 to 30	0 to 125 °C
LM7818	18,0V	20.5 to 33	0 to 125 °C
LM7824	24,0V	26.5 to 39	0 to 125 °C

Assim como os reguladores integrados de tensão com saída fixa existem também reguladores integrados de tensão com saída ajustável. A figura 9.10 apresenta um regulador integrado de tensão ajustável chamado LM317 e sua forma típica de ligação.

Figura 9.10: Reguladores LM317



Neste tipo de regulador a tensão de saída é definida pelos valores dos resistores R1 e R2, assim alterando o valor destes componentes é possível ajustar o valor da tensão de saída do circuito. A tensão de saída pode ser calculada com a equação 9.1.

$$V_s = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{aj} \cdot R_2 \quad (9.1)$$

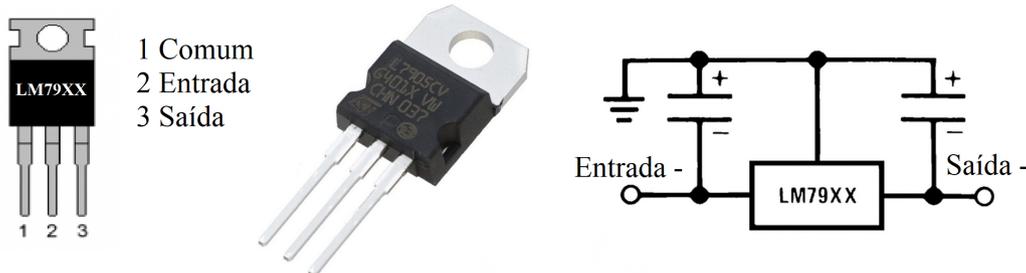
Onde V_s é a tensão de saída, R_1 e R_2 são os valores dos resistores e I_{aj} é a corrente de ajuste típica do componente. Como a corrente I_{aj} é normalmente menor que 100 μ A este termo pode ser negligenciado.

O regulador de tensão integrado LM317 tem os seguintes limites de operação.

- Tensão de entrada: 3V – 40V.
- Tensão de saída: 1,25V – 37V.
- Temperatura de operação: 0°C – 125°C
- Corrente máxima de saída: 1,5A

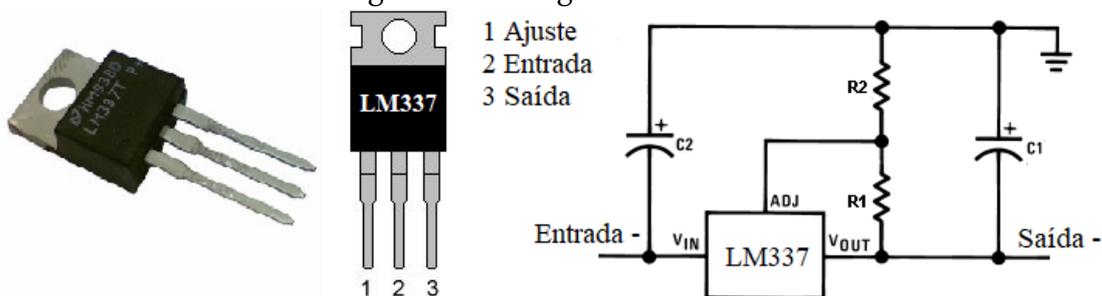
Os controladores integrados de tensão apresentados até agora são todos controladores de tensão positivos, mas também existem controladores de tensão negativos. A família mais comum de reguladores integrados de tensão negativos é chamada de família LM79XX. A figura 9.11 apresenta um componente desta família, os nomes de seus pinos e um circuito típico para sua utilização.

Figura 9.11: Reguladores LM79XX



Esta família de reguladores possui componentes com tensão de saída fixa nos valores de $-5V$, $-6V$, $-8V$, $-9V$, $-12V$, $-15V$, $-18V$ e $-24V$. Todos com capacidade de corrente de $1A$. Também existem reguladores integrados de tensão negativos ajustáveis, o LM337 é um exemplo destes componentes. A figura 9.12 apresenta o LM337, sua configuração de pinos e seu esquema típico de ligação.

Figura 9.12: Reguladores LM337



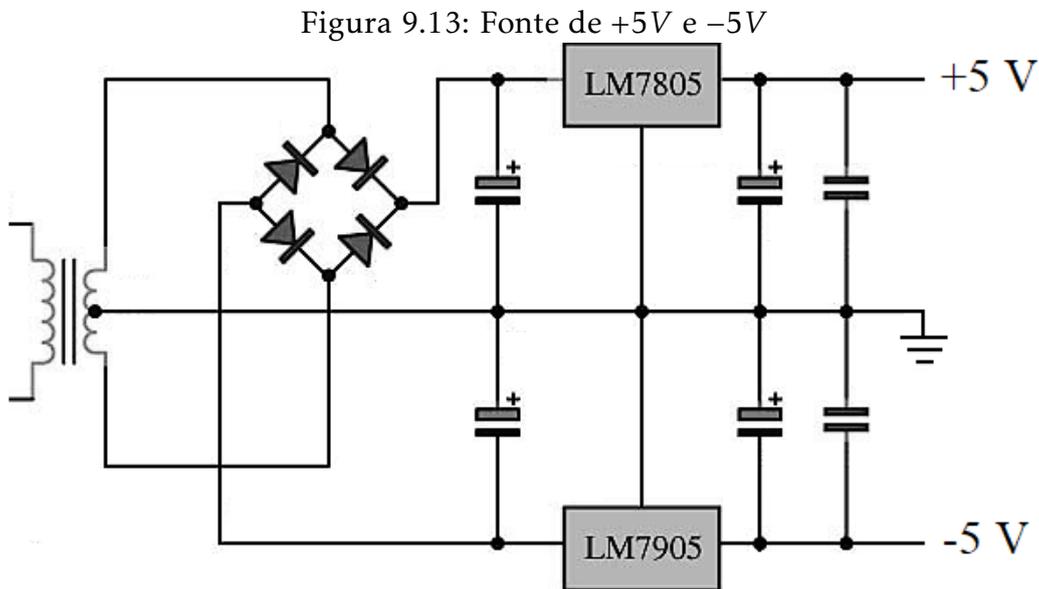
A tensão de saída para este regulador pode ser calculada com a equação 9.2.

$$V_s = -1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + (-I_{aj} \cdot R_2) \quad (9.2)$$

Onde V_s é a tensão de saída, R_1 e R_2 são os valores dos resistores e I_{aj} é a corrente de ajuste típica do componente. Como a corrente I_{aj} é normalmente menor que $100 \mu A$ este termo pode ser negligenciado. O regulador de tensão integrado LM337 tem os seguintes limites de operação.

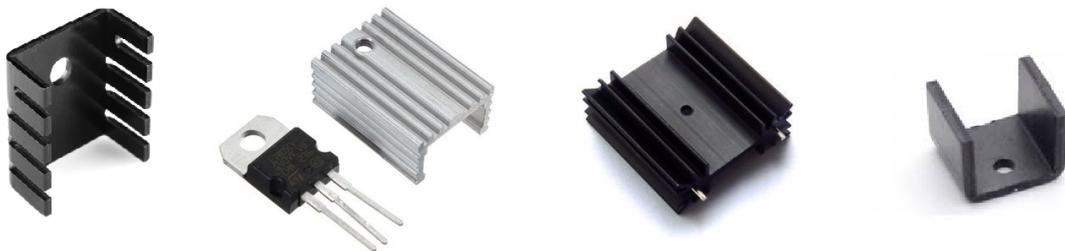
- Tensão de entrada: $-3V - -40V$.
- Tensão de saída: $-1,25V - -37V$.
- Temperatura de operação: $0^\circ C - 125^\circ C$
- Corrente máxima de saída: $1,5A$

A figura 9.13 apresenta um circuito que utiliza dois reguladores integrados de tensão para fornecer uma tensão simétrica de mais e menos 5V. Este tipo de fonte é apropriado para a alimentação de circuitos que utilizam amplificadores operacionais por exemplo. Este tipo de fonte é chamado de fonte simétrica.



Muitas aplicações que utilizam reguladores de tensão trabalham com correntes elevadas, o que causa uma dissipação grande de potência nos reguladores integrados. A elevada dissipação de potência nos reguladores faz com que a temperatura dos mesmos aumente, podendo causar a queima do componente. Nestes casos a utilização de dissipadores de calor é indicada. A figura 9.14 apresenta alguns modelos de dissipadores de calor apropriados para a utilização com reguladores de tensão.

Figura 9.14: Dissipadores de calor



Estes dissipadores de calor podem também ser utilizados com outros tipos de dispositivos eletrônicos, como transistores de potência por exemplo.

Aluno: _____

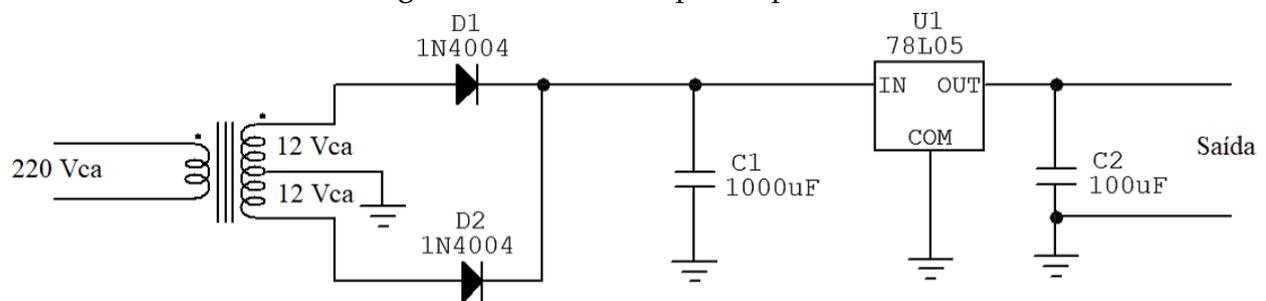
Aluno: _____

Aluno: _____

9.5 Práticas

Prática 1: Construa o circuito da figura 9.15 no protoboard e com a ajuda de um multímetro faça as medidas e responda as perguntas.

Figura 9.15: Circuito para a prática 1



Qual a tensão eficaz na saída do transformador? _____

Qual a tensão após a retificação? _____

Qual a tensão na saída do circuito? _____

Aula 10 Placas de circuito impresso

10.1 Introdução

As aulas anteriores apresentaram vários componentes eletrônicos bem como circuitos compostos com estes componentes, porém, para que se possa desenvolver circuitos eletrônicos para aplicações práticas é necessário o desenvolvimento de placas de circuito impresso. Estas placas têm a função de interconectar eletricamente e fornecer sustentação mecânica a todos os componentes do circuito. A figura 10.1 apresenta um exemplo de placa de circuito impresso.

Figura 10.1: Placa de circuito impresso



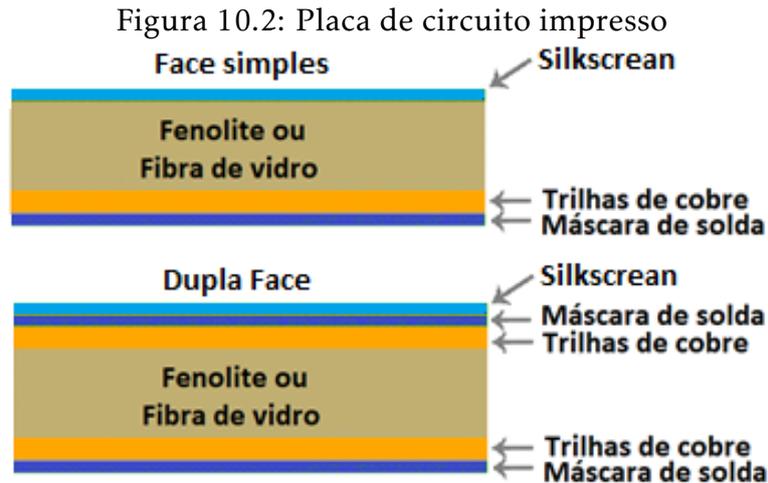
10.2 Placas de circuito impresso

Placas de circuito impresso são placas de material isolante, normalmente fenolite ou fibra de vidro, que possuem a superfície com uma, duas ou mais faces, revestida por uma fina película de material condutor, normalmente cobre. Esta camada de material condutor é disposta de forma a compor trilhas que conectam eletricamente os componentes eletrônicos. Estes componentes eletrônicos, por sua vez, são soldados nas faces da placa formando assim o circuito eletrônico.

Estas placas possuem ainda outras camadas de serigrafia onde é aplicada uma máscara de solda e onde são impressas informações como nomes, valores dos componentes etc. São também aplicadas várias camadas de materiais que servem para fornecer isolamento e proteção para a placa como um todo.

A espessura das placas e das camadas de cobre utilizadas nestas placas variam conforme a função do circuito, quanto maior a necessidade de rigidez mecânica maior a espessura da placa por exemplo. A espessura da camada de cobre também depende da necessidade de corrente do circuito. Quanto mais grossa a camada de cobre mais corrente ela pode conduzir.

A figura 10.2 apresenta a estrutura típica de uma placa de circuito impresso de face simples e de dupla face.



Quando se trabalha com ferramentas para confecção de placas de circuito impresso são utilizadas várias terminologias com termos derivados principalmente do inglês. A tabela XXX apresenta os principais termos utilizados e seu significado.

- **Board ou PCB:** Se refere a placa de circuito Impresso.
- **Schematic:** É o diagrama eletrônico do circuito.
- **Wires ou Traces:** São as trilhas que interconectam eletricamente os componentes.
- **Pads:** São as ilhas nas extremidades das trilhas nas quais os componentes são soldados.
- **Vias:** São conexões elétricas que conectam trilhas de diferentes camadas da placa.
- **Layers:** São as camadas da placa.
- **Top Layer:** É a camada superior da placa.
- **Bottom Layer:** É a cama inferior da placa.
- **Component:** São os componentes eletrônicos do circuito.
- **Package:** É a embalagem de um determinado componente.
- **Silkscreen:** É a camada onde são impressos os textos informativos da placa.

10.3 Métodos de fabricação

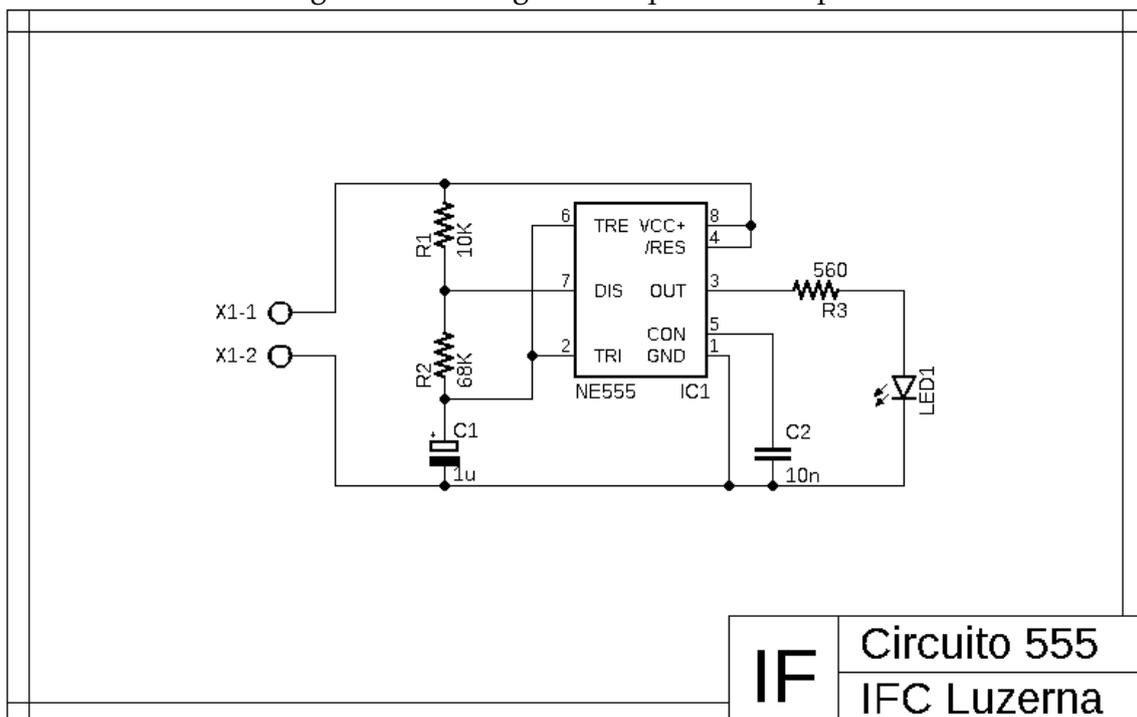
As placas de circuito podem ser fabricadas basicamente de duas maneiras: de forma industrializada; e de forma artesanal. Na fabricação industrializada de placas de circuito impresso o processo tem início através do desenho do diagrama esquemático do circuito em uma ferramenta de software especialmente desenvolvida para este fim. A partir deste esquemático o projetista elabora o layout da placa de circuito impresso, também com a ajuda de ferramentas de software. Quando o desenho da placa está finalizado é exportado um conjunto de arquivos do tipo “Gerber”. Estes arquivos são então enviados a um fabricante de placas de circuito impresso que se encarrega do resto do processo. Cada fabricante fornece informações específicas sobre as características de seus processos de fabricação que ajudam no projeto da placa de circuito impresso. Não é o objetivo deste material de aprofundar nos processos industrializados de produção de placas de circuito impresso. Serão enfatizados aqui os processos artesanais, mais acessíveis para a elaboração de protótipos e projetos simples.

Com relação a fabricação artesanal de placas de circuito impresso, existem inúmeras abordagens, como por exemplo, o processo de corrosão através de produtos químicos, a fresagem CNC, a prototipagem a Laser etc. Neste material será enfatizado o processo de fabricação através de corrosão química de placas de circuito impresso. As seções a seguir apresentam em detalhes este processo, iniciando pelo diagrama esquemático do circuito.

10.4 Diagrama esquemático

A figura 10.3 apresenta um diagrama esquemático típico.

Figura 10.3: Diagrama esquemático típico



Para a confecção de uma placa de circuito impresso é normalmente necessário que se possua o diagrama esquemático do circuito que se deseja implementar. Este diagrama pode ser desenhado a mão ou com a ajuda de um software desenvolvido para este fim. Apesar de não ser obrigatório, um bom diagrama esquemático facilita muito o projeto da placa de circuito impresso, pois permite identificar de antemão todos os componentes envolvidos e suas conexões. As ferramentas de software destinadas a confecção de placas de circuito impresso verificam se a placa está conforme com o diagrama esquemático, reduzindo assim a probabilidade de erros. É importante considerar durante a elaboração do diagrama esquemático as conexões entre a placa de circuito impresso e os outros componentes do projeto, pois, estas conexões necessitarão de conectores específicos na placa de circuito impresso.

Nestes esquemáticos os componentes envolvidos nos projetos são representados por símbolos. A figura 10.4 apresenta alguns destes símbolos.

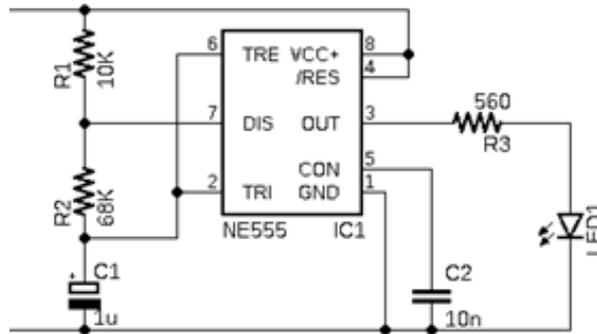
Figura 10.4: Alguns símbolos usados nos diagramas esquemáticos

	Resistores		Fonte de tensão		Transistor bipolar	
	Trimpot		Fonte de corrente		Transistor mosfet	
	potenciômetro				Circuito integrado	
	Capacitor		Potencial positivo			Amplificador operacional
	Capacitor polarizado					
	Indutor		Potencia negativo			Cristal
	chave				Diodo retificador	
	botão		Diodo schottky		Autofalante	
	Rele Bobona e contato		Diodo zener			
	Conector		LED			
			Fotodiodo			

Estes componentes simbólicos são interconectados por linha que indicam a ligação elé-

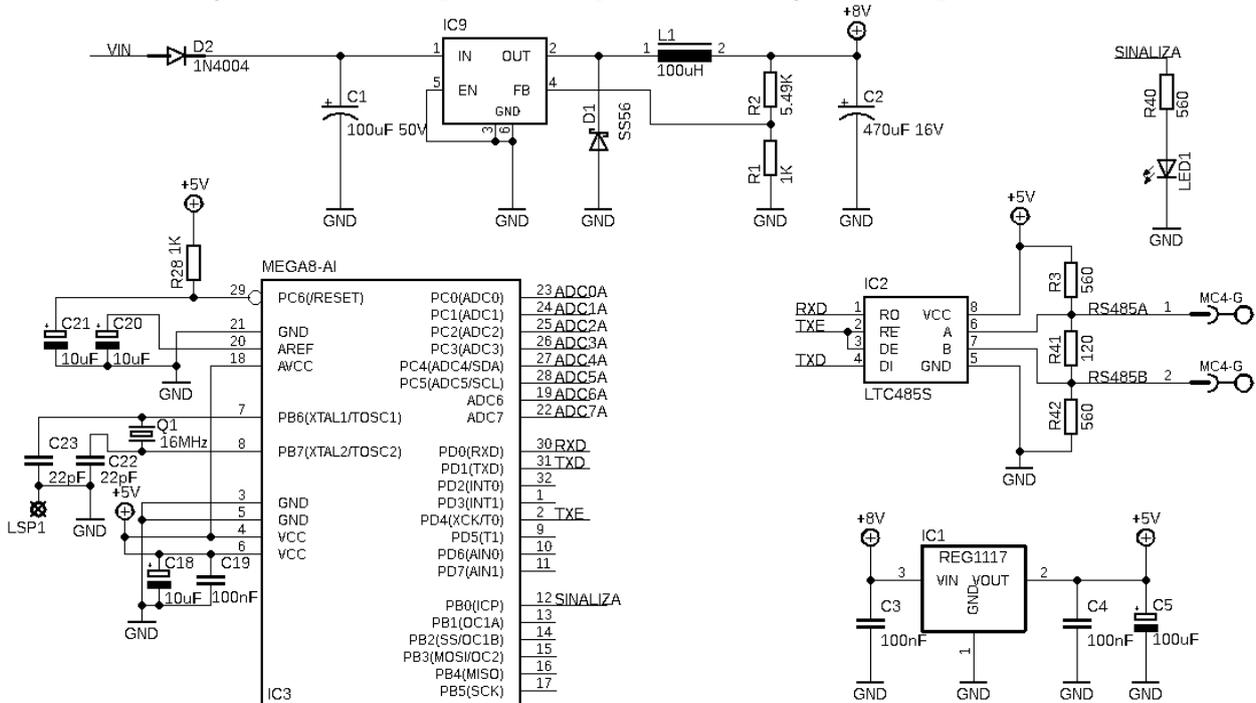
trica do circuito. Nos diagramas esquemáticos cada um dos componentes recebe um nome único, o que facilita sua identificação no circuito. É também necessário atribuir todas as informações necessárias a cada um dos componentes, como por exemplo, o seu valor, modelo, fabricante etc. A figura 10.5 apresenta alguns exemplos.

Figura 10.5: Exemplos de componentes nos diagramas esquemáticos



Nesta figura também é possível observar que as conexões entre as linhas que representam as ligações elétricas são marcadas com uma bolhinha, de forma a diferenciar a ligação entre dois sinais elétricos de duas linhas que se cruzam sem se conectar. Para tornar os diagramas mais legíveis é comum utilizar etiquetas (label) para dar nomes a determinados potenciais elétricos, assim um sinal pode ser conectado a vários pontos do circuito sem que uma linha tenha que ser desenhada entre eles. A figura 10.6 apresenta um exemplo deste sistema de conexão.

Figura 10.6: Exemplos de etiquetas nos diagramas esquemáticos



Os diagramas esquemáticos também costumam possuir molduras e legendas que facilitam a identificação do autor e da versão do documento, entre outras coisas. A figura 10.7

apresenta um diagrama com sua moldura e legenda.

Figura 10.7: Diagrama com sua moldura e legenda

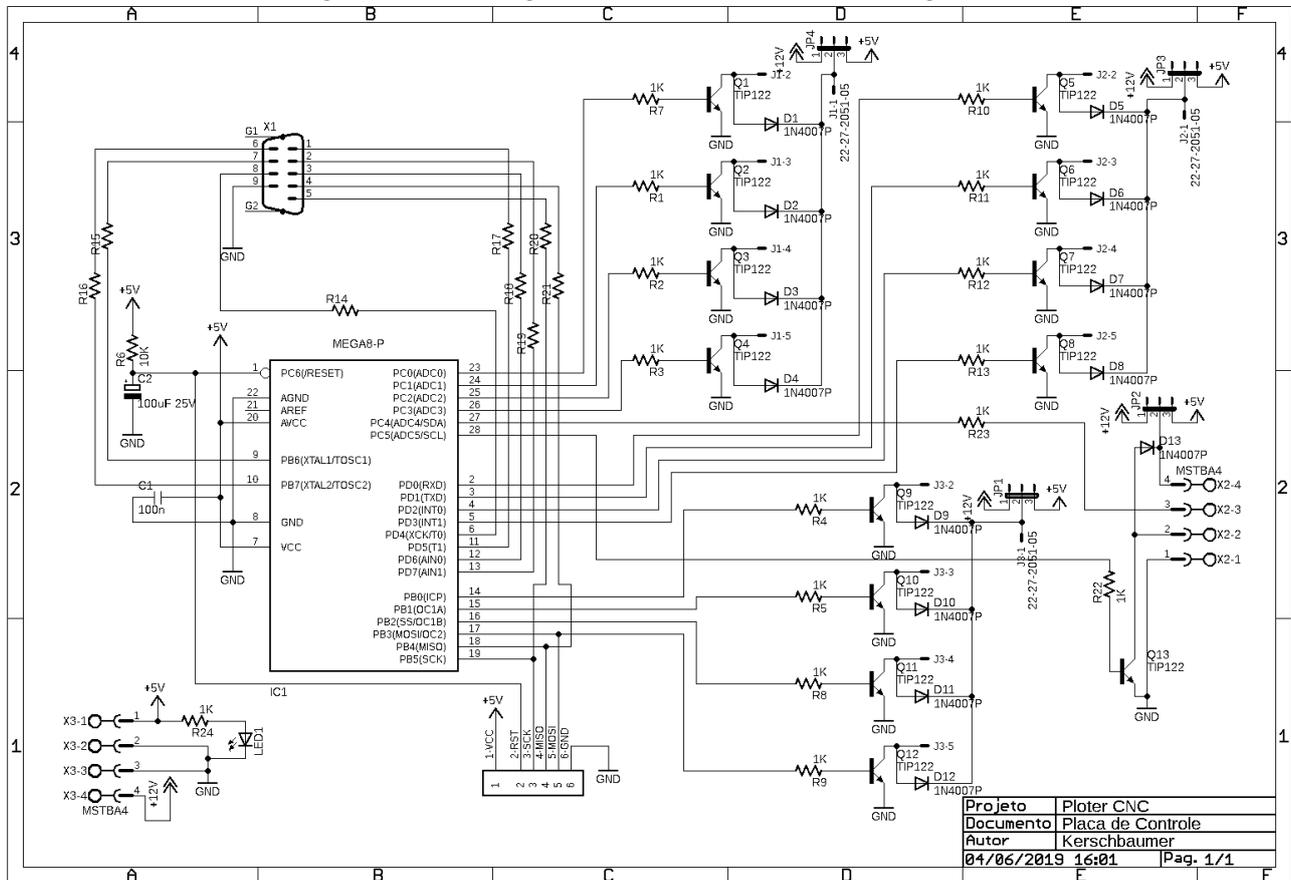


Figura 10.8: Componentes PTH



A segunda família usa a tecnologia de montagem em superfície de circuitos eletrônicos nos quais os componentes são montados diretamente sobre a superfície da placa de circuito impresso, permitindo o aproveitamento de ambas as faces. Estes dispositivos eletrônicos são chamados de dispositivos de montagem superficial ou SMD (surface-mount device). Esta tecnologia está dominando o mercado, pois é possível utilizar placas de circuito impresso mais baratas e que permitem o aproveitamento de ambas as faces da placa. Outra vantagem é que os componentes SMD são geralmente bem menores e podem ser montados mais facilmente por sistemas automatizados. A figura 10.9 apresenta alguns exemplos desta família de componentes.

Figura 10.9: Componentes SMD



A escolha dos componentes apropriados para a confecção da placa de circuito impresso é muito importante, pois um mesmo componente eletrônico pode ser vendido em diversas embalagens diferentes, com tecnologias de montagem bem diferentes.

10.6 Layout da placa

A etapa mais importante da confecção de uma placa de circuito impresso é a elaboração do layout desta placa. Nesta etapa são definidas as posições dos componentes, suas ligações, as dimensões da placa, seus pontos de fixação etc. Todo o resto do processo depende desta etapa. O processo de layout de uma placa de circuito impresso não é uma ciência exata, e exige um certo talento artístico. Não existe um jeito certo para o posicionamento dos componentes, as distâncias entre eles e as larguras das trilhas, por exemplo, e é essa liberdade que torna o processo de layout tão completo e criativo.

Diz-se que o design de placas de circuito impresso tem 90% de posicionamento e 10% de roteamento. Isto quer dizer que posicionar corretamente seus componentes tornará sua vida muito mais fácil na hora fazer o roteamento das trilhas. A qualidade elétrica da placa também depende muito do posicionamento dos componentes. Componentes mal distribuídos

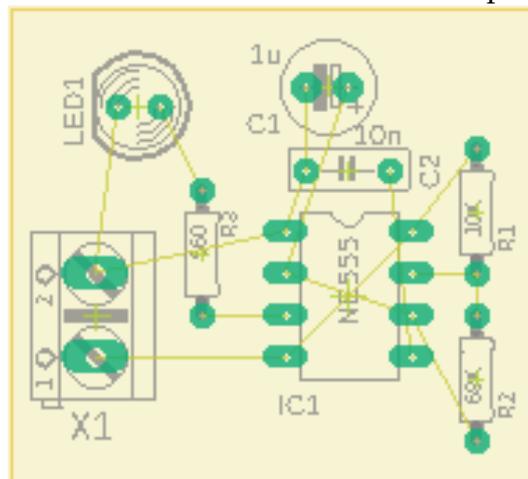
na placa tornam o processo de roteamento das trilhas um pesadelo.

Características como estática e facilidade de montagem também devem ser consideradas na hora de posicionar os componentes.

A seguir estão algumas sugestões que podem ajudar na hora de fazer o layout e posicionar os componentes de uma placa de circuito impresso.

- Conheça as restrições mecânicas de sua placa. As dimensões do gabinete que vai conter a placa e a posição dos furos de fixação são exemplos de restrições mecânicas que devem ser consideradas na hora de dimensionar uma placa.
- Como a placa será montada. É necessário considerar como os componentes serão montados e soldados. O processo será manual ou automatizado? Cada tipo de montagem tem características próprias que devem ser consideradas. Manter distância suficiente entre os componentes para permitir a soldagem manual por exemplo.
- Circuitos integrados com muitos terminais precisam de espaço para o roteamento das trilhas. É necessário deixar espaço suficiente ao redor dos componentes para que todos os terminais possam ser acessados pelas trilhas.
- Mantenha Componentes Similares na Mesma Direção, isso tornará mais fácil a fabricação e o teste da placa, principalmente para componentes SMD e processos de montagem industrializados.
- Posicione os componentes de forma a minimizar o comprimento das trilhas. Quando o layout mecânico permite deve-se posicionar os componentes de forma a deixá-los o mais próximo possível dos componentes aos quais ele está conectado. A figura 10.10 apresenta um exemplo.

Figura 10.10: Posicionamento dos componentes



- Posicione primeiro os componentes fixos da placa. Normalmente estes componentes têm mais relação ao layout mecânico da placa, não permitindo movimentação. Conectores e botões são exemplos de componentes que tem sua posição definida pelo formato do gabinete que vai conter a placa, e devem ser posicionados primeiramente.

- Evite a sobreposição dos componentes. É comum que se tome cuidado com os terminais de um componente esquecendo do tamanho de sua embalagem, nestas condições podem acontecer sobreposições nestes componentes impedindo a montagem mecânica deles.
- Coloque todos os componentes do mesmo lado da placa. O processo de montagem de uma placa é um processo demorado e custoso, colocar componentes em ambos os lados da placa complica e encarece este processo, principalmente para fabricação industrializada. A melhor opção é colocar todos os componentes no lado de cima da placa.
- Procure manter todos circuitos integrados na mesma direção, isso facilita a montagem e reduz a possibilidade de erros.
- Projete sua placa conforme o esquemático procurando manter agrupados componentes que fazem parte de um mesmo subcircuito, isso vai reduzir o comprimento das trilhas e facilitar o roteamento.
- Planeje as conexões da placa com o restante do circuito. É necessário prever como a placa será eletricamente conectada aos outros componentes do projeto. Podem ser utilizados conectores apropriados ou até soldar fios diretamente a placa, mas é necessário prever este tipo de conexão.

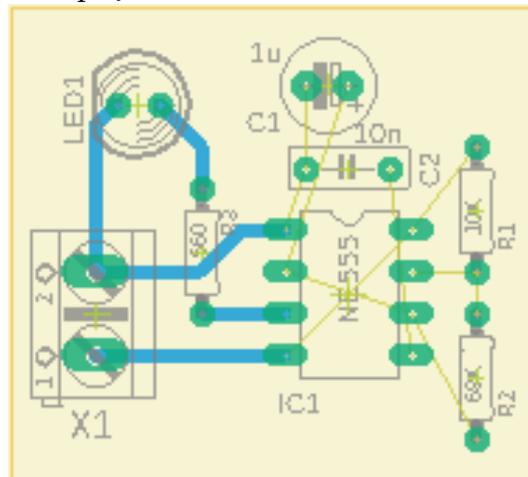
10.7 Roteamento das trilhas

O roteamento das trilhas da placa de circuito impresso é o processo de conectar eletricamente os componentes. Vários elementos devem ser considerados na hora de definir a largura e o posicionamento das trilhas. A seguir temos algumas sugestões que podem ajudar no roteamento das placas.

- Resista a tentação de usar as ferramentas de auto-roteamento. A maioria das ferramentas de software para confecção de placas de circuito impresso possuem a função de auto-roteamento, mas o resultado normalmente é decepcionante.
- Conheça as limitações de seu processo de fabricação. Tanto para fabricação industrializada como para fabricação artesanal de placas de circuito impresso existem limites mínimos para a largura das trilhas ou o espaçamento entre elas, bem como para vários outros parâmetros, como número de camadas por exemplo. É necessário considerar e respeitar estes limites na hora de fazer o roteamento das trilhas da placa.
- Determine a largura das trilhas. As trilhas devem possuir largura suficiente para transportar a corrente exigida sem aquecer. Na seção a seguir serão discutidas as capacidades de corrente das trilhas. Por outro lado, trilhas muito largas dificultam o roteamento da placa, pois ocupam muito espaço. A escolha da largura apropriada para cada trilha é muito importante para um roteamento de qualidade.
- Deixe espaço suficiente entre as trilhas. Nenhum processo de fabricação é perfeito, assim podem acontecer curto circuitos entre trilhas muito próximas. Outro elemento

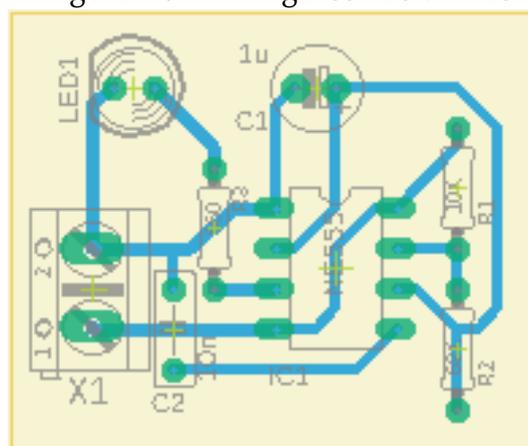
a ser considerado é a tensão presente nas trilhas, quanto maior a tensão maior deve ser a distância para garantir a isolação. A figura 10.11 apresenta um exemplo.

Figura 10.11: Espaçamento entre as trilhas e os componentes



- Deixe espaço suficiente entre as trilhas. Nenhum processo de fabricação é perfeito, assim podem acontecer curtos circuitos entre trilhas muito próximas. Outro elemento a ser considerado é a tensão presente nas trilhas, quanto maior a tensão maior deve ser a distância para garantir a isolação.
- Evite ângulos de 90 graus e cantos agudos em suas trilhas. Este tipo de trilha dificulta a fabricação das placas e aumenta a indução de ruídos. A figura 10.12 apresenta um exemplo.

Figura 10.12: Ângulos nas trilhas



- Tome cuidado com os tamanhos das ilhas nos terminais dos componentes. Principalmente para placas produzidas artesanalmente, é necessário que se tenha uma área de cobre ao redor dos terminais dos componentes de forma a permitir a correta soldagem do mesmo. Ilhas muito pequenas podem ser arrancadas durante o processo de furação.

- Crie planos de terra. Criar planos de terra nas placas permite fornecer a todos os componentes o mesmo ponto de referência. Se forem utilizadas trilhas para conectar os aterramentos dos componentes, surgirão vários potenciais diferentes de terra na placa, isso devido principalmente a resistência das trilhas.
- Utilize planos de cobre e vias para remover calor dos componentes. Para pequenas potências a placa pode ser utilizada como dissipador de calor.
- Utilize termals (Thermal relief). Para facilitar a soldagem de componentes conectados a planos de potencial deve-se utilizar os chamados termals, que são conexões especiais entre o componente e o plano. Estes termals são necessários pois os planos retiram muito calor do terminal do componente no momento da soldagem.

10.8 Capacidade de corrente

A capacidade de corrente de uma trilha em uma placa de circuito impresso depende geralmente de três fatores. A largura da trilha, a espessura da camada de cobre e a temperatura de operação. A tabela da figura 10.13 apresenta a capacidade de corrente de uma trilha em função destas grandezas.

Figura 10.13: Capacidade de corrente das trilhas

mil / mm	Incremento na temperatura								
	10 °C			20 °C			30 °C		
	0,5 oz	1 oz	2 oz	0,5 oz	1 oz	2 oz	0,5 oz	1 oz	2 oz
10 / 0,254	0,5	1	1,4	0,6	1,2	1,6	0,7	1,5	2,2
15 / 0,381	0,7	1,2	1,6	0,8	1,3	2,4	1	1,6	3
20 / 0,508	0,8	1,3	2,1	1	1,7	3	1,2	2,4	3,6
25 / 0,635	0,9	1,7	2,5	1,2	2,2	3,3	1,5	2,8	4
30 / 0,762	1,1	1,9	3	1,4	2,5	4	1,7	3,2	5
50 / 1,27	1,5	2,6	4	2	3,6	6	2,6	4,4	7,3
75 / 1,905	2	3,5	5,7	2,8	4,5	7,8	3,5	6	10
100 / 2,54	2,6	4,2	6,9	3,5	6	9,9	4,3	7,5	12,5
200 / 5,08	4,2	7	11,5	6	10	11	7,5	13	20,5
250 / 6,35	5	8,3	12,3	7,2	12,3	20	9	15	24

10.9 Ferramentas de software

As informações apresentadas servem tanto para o desenho manual como para o desenho auxiliado por computadores das placas de circuito impresso. No desenho manual, são utilizadas canetas do tipo marcados permanente para desenhar as trilhas e as ilhas nas placas. Já no projeto de placas de circuito impresso auxiliado por computador são utilizadas ferramentas de software desenvolvidas para este fim. Não é o objetivo deste material detalhar estas ferramentas, mas existe muita informação sobre sua utilização na internet.

10.10 Produção industrializada

Para a produção industrializada de placas de circuito impresso o processo de layout e roteamento da placa deve ser desenvolvido em alguma das ferramentas de software disponíveis. Após a conclusão do projeto da placa no software é necessário produzir um conjunto de arquivos que contém as informações de produção da placa. Estes arquivos normalmente são em um formato chamado Gerber e os detalhes depende de cada fabricante.

Estes arquivos são então enviados ao fabricante que irá fabricar as placas conforme a especificação do projetista.

10.11 Produção artesanal

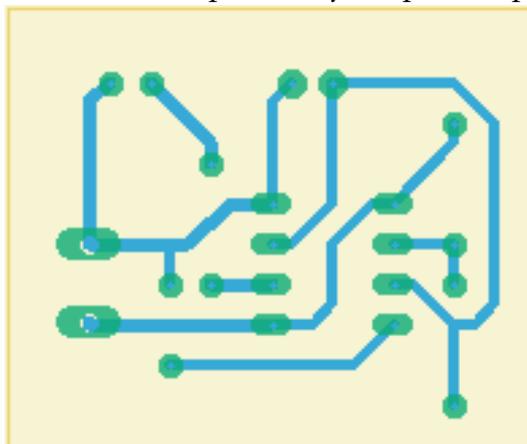
Existem inúmeros métodos artesanais de fabricação de placas de circuito impresso, neste material apresentaremos um dos mais comuns e que apresenta resultados satisfatórios para a maioria das placas.

Se o desenho é feito manualmente com canetinha, pode-se ir diretamente para a corrosão da placa. Porém, se a placa é projetada no computador é necessário transferir o desenho para uma placa virgem. Transferência do desenho para a placa

Uma forma comum de transferir o desenho para a placa é através da impressão em papel fotográfico. Para tanto são necessários alguns cuidados.

- Escala de impressão. O ajuste da impressora deve estar com a escala de 100%, escalas diferentes deformam a placa e impedem a fixação dos componentes.
- Imprima somente as trilhas, ilhas e vias.
- Espelhamento do desenho. Como o desenho é transferido do papel para a placa o mesmo é espelhado na transferência. Dependendo do lado da placa que se está trabalhando é necessário imprimir o desenho espelhado de forma a atingir o resultado esperado. A figura 10.14 apresenta um exemplo.

Figura 10.14: Exemplo de layout para impressão



- O papel utilizado deve ser fotográfico do tipo “glossy paper”.
- A impressora deve ser laser (utilizando toner e não tinta).
- Não se deve tocar o desenho impresso com os dedos.

A transferência do desenho do papel para a placa é realizado utilizando um ferro de passar roupa. O procedimento é o seguinte.

- Corte um pedaço de placa virgem do tamanho do desenho ou um pouco maior
- Limpe bem a placa com esponja de aço. Veja um exemplo na figura 10.15.

Figura 10.15: limpeza da placa



- Posicione o papel cuidadosamente sobre a placa, com a impressão para o lado da placa. Veja um exemplo na figura 10.16.

Figura 10.16: Posicionamento para transferência



- Pressione firmemente com o ferro de passar roupas previamente aquecido. A figura 10.17 apresenta um exemplo.

Figura 10.17: Aquecimento para transferência do desenho



- Movimento o ferro de passar roupas de forma a aquecer e pressionar todos os pontos da placa. Tome cuidado para não mover o papel sobre a placa para não borrar o desenho.
- Mantenha a pressão e o calor por uns 5 minutos, mas evite aquecer demais a placa para não descolar o cobre da placa.
- Remova o papel, para isso o papel a placa pode ser deixada de molho por 10 minutos em água com sabão ou a papel pode ser removido sob água corrente. Veja a figura 10.18.

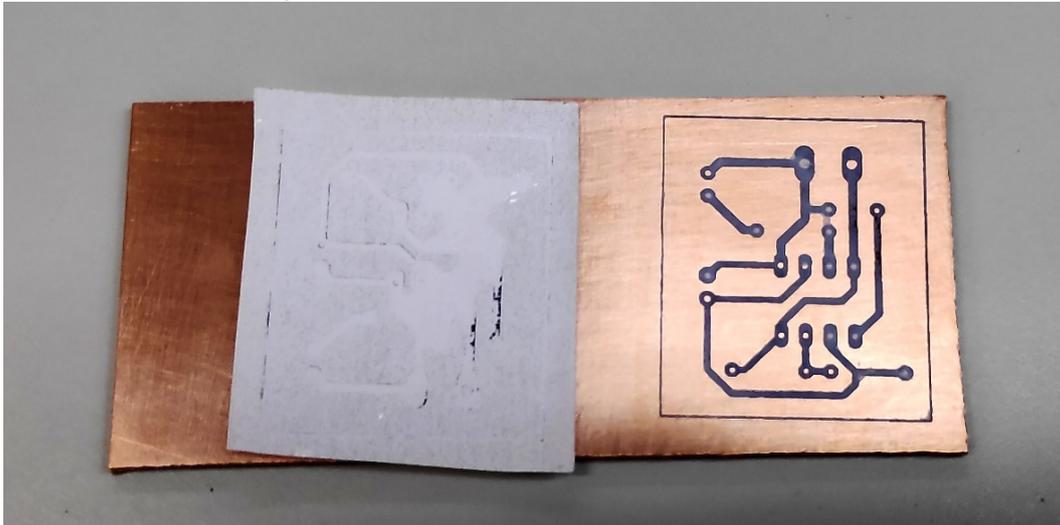
Figura 10.18: Remoção do papel



- Remova os resíduos de papel da placa.

Se tudo correr como esperado, o toner da impressão deve ter sido transferido para a placa, como pode ser visto na figura 10.19

Figura 10.19: Resultado da transferência



10.12 Verificação da placa

Após a transferência do desenho para a placa é necessário fazer uma verificação de todo o circuito, procurando falhas ou curto circuito entre o desenho das trilhas. Se forem encontradas falhas deve-se fazer a correção com canetinha do tipo marcador permanente.

Os curtos circuitos devem ser removidos com a ajuda de um estilete.

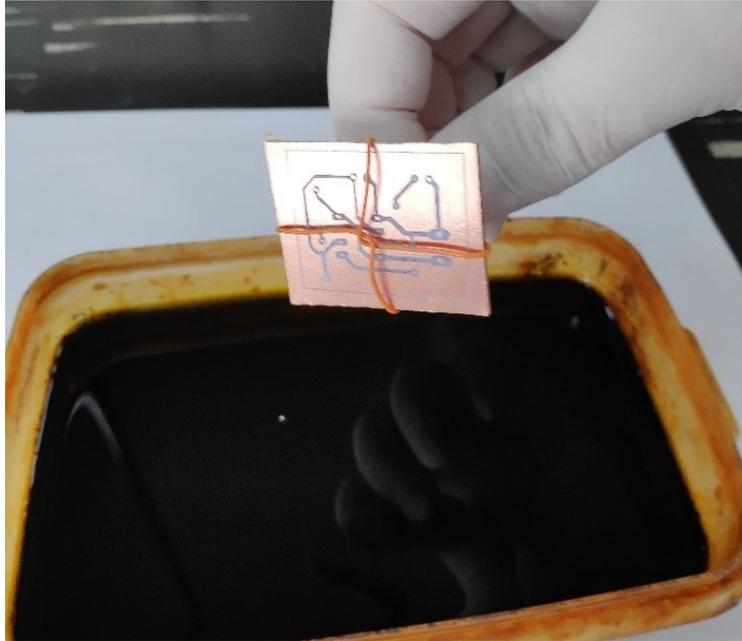
10.13 Corrosão da placa

A próxima etapa consiste em remover o cobre da placa de forma a deixar apenas as regiões que estão protegidas pela impressão. Para isso costuma-se utilizar uma solução de perclorato de ferro.

O perclorato de ferro é bastante corrosivo para metais e vai remover o cobre das regiões da placa que não estão protegidas. O processo é o seguinte.

- Não esqueça de utilizar óculos e luvas de proteção.
- Evite o contato da solução com a pele.
- Prepare a solução de perclorato de ferro conforma a indicação do fabricante.
- Se possível aqueça um pouco (não muito) a solução para acelerar o processo de corrosão
- Amarre a placa com um fio isolado ou outro material não metálico. Veja a figura 10.20.

Figura 10.20: Fixação da placa



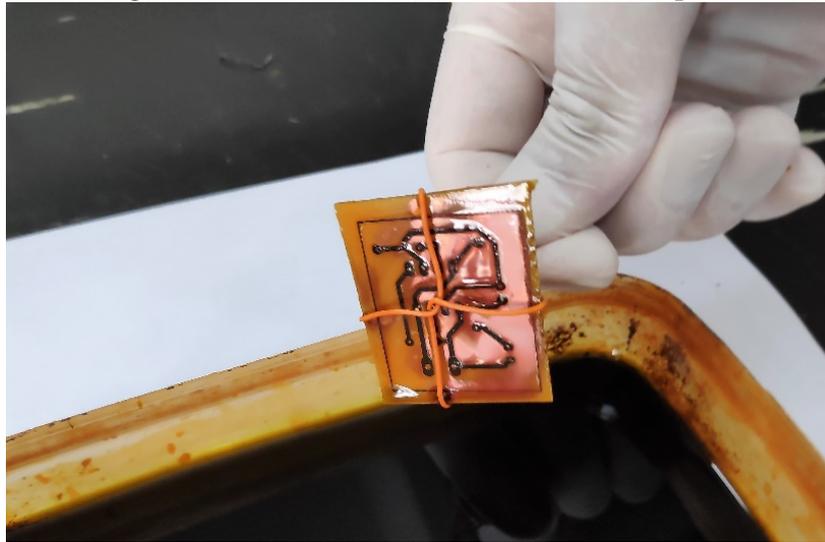
- Mergulhe a placa na solução e permaneça fazendo movimentos suaves. Os movimentos aceleram bastante a corrosão. Veja a figura 10.21.

Figura 10.21: Corrosão da placa



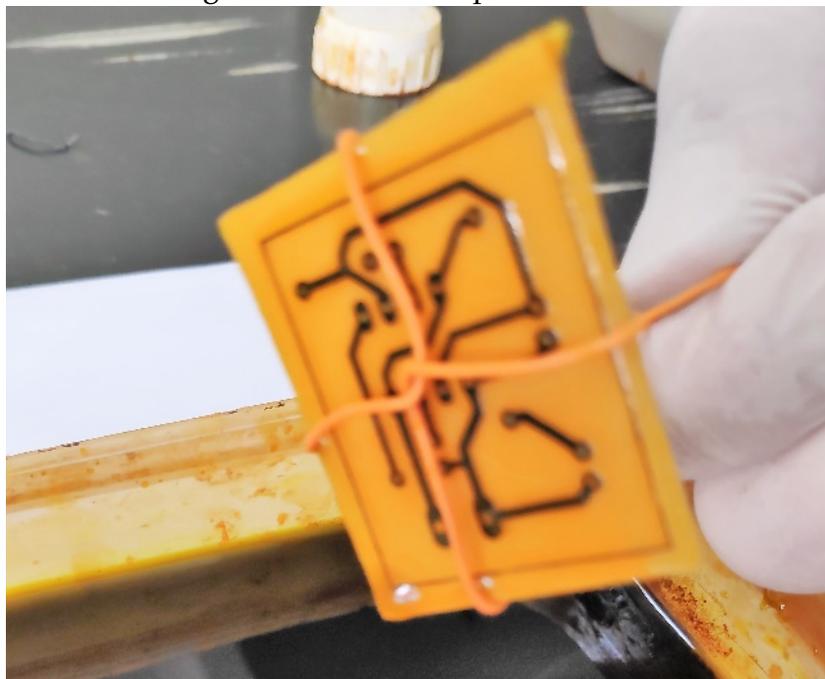
- O tempo necessário para a corrosão depende do tamanho da placa e da qualidade da solução. A solução vai enfraquecendo com o tempo de uso.
- Verifique de tempos em tempos como está a corrosão da placa. Na figura 10.22 é possível observar que a placa está parcialmente corroída.

Figura 10.22: Verificação da corrosão da placa



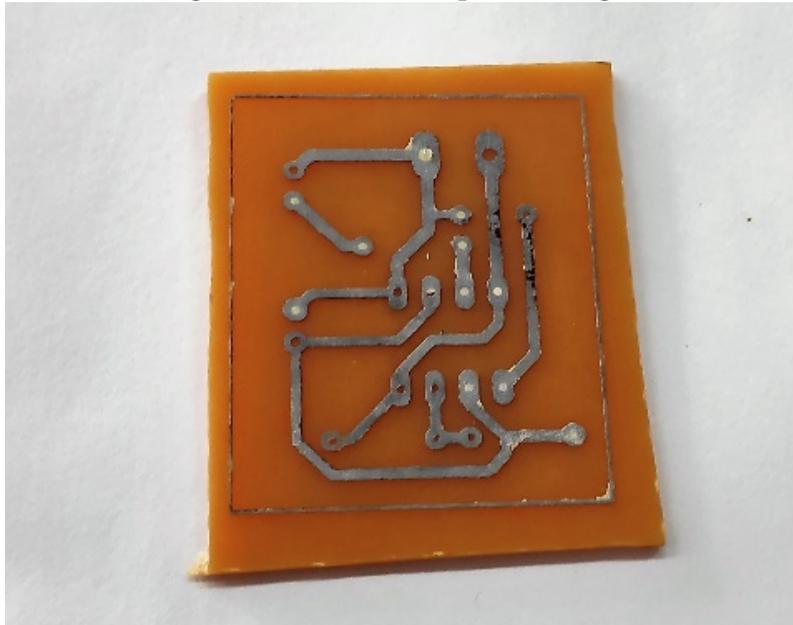
- Quando todo o cobre exposto da placa for removido a corrosão está concluída. Não deixe a placa na solução por mais tempo, pois as trilhas também serão corroídas inutilizando a placa. Veja na figura 10.23 como fica a placa após corroída.

Figura 10.23: Placa após a corrosão



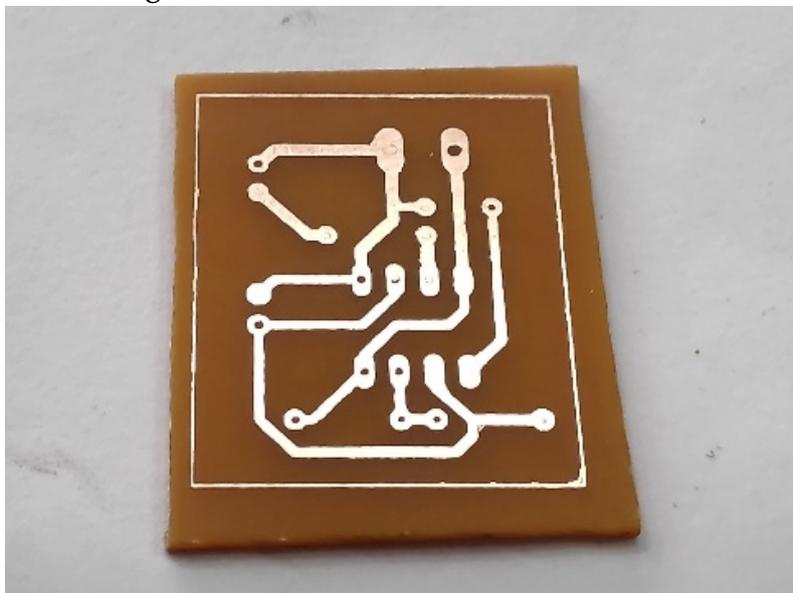
- Lave a placa em água corrente tomando cuidado com os resíduos de perclorato de ferro. A placa corroída e lavada é apresentada na figura 10.24

Figura 10.24: Placa após a lavagem



- Remova a impressão da placa usando uma esponja de aço, o resultado pode ser visto na figura 10.25.

Figura 10.25: Placa com a tinta removida



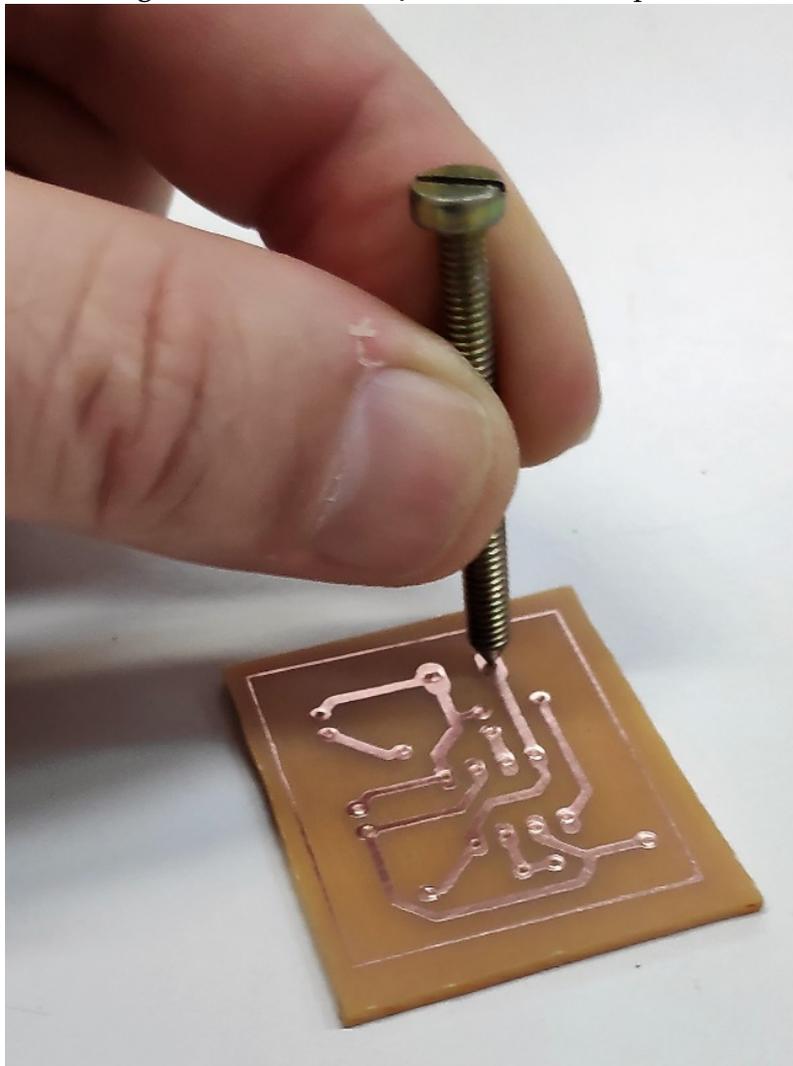
- Seque a placa com toalha de papel ou algo parecido.
- Não esqueça de guardar a solução em um vasilhame apropriado para reaproveitá-la futuramente.

10.14 Furação da placa

Para que se possa inserir os componentes PTH na placa é necessário que se realize a furação da mesma. O diâmetro da broca vai depender do diâmetro do terminal do componente, quanto mais próximo do diâmetro do terminal do componente for a broca mais fácil será a soldagem do componente. Normalmente para os componentes pequenos utiliza-se uma broca de 0,8 ou 1,0 mm. O processo de furação é o seguinte.

- Não esqueça os óculos de proteção.
- Utilize um punção de bico ou outra ferramenta parecida para marcar os pontos onde serão realizados os furos. Veja a figura 10.26.

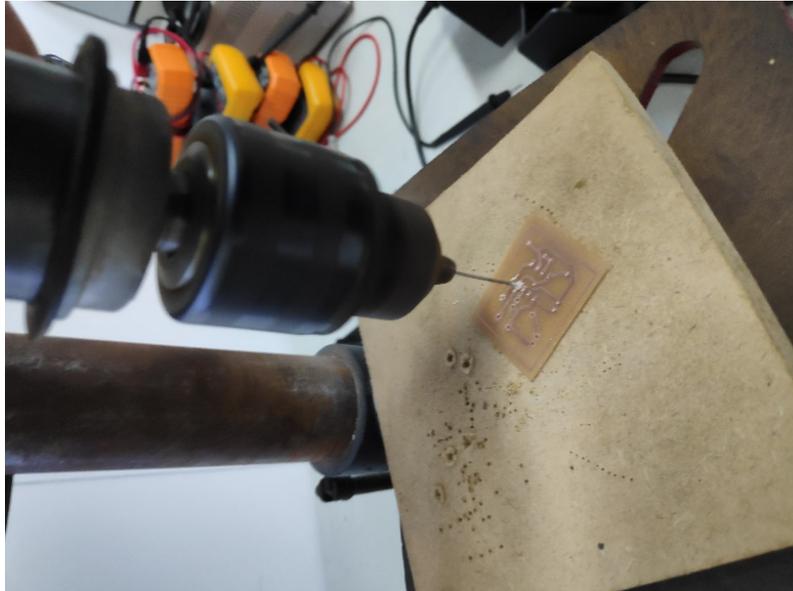
Figura 10.26: Marcação dos furos da placa



- Escolha a broca apropriada ao diâmetro do terminal do componente.
- Apoie a placa sobre uma madeira de sacrifício.

- Com a ajuda de uma furadeira manual, furadeira de bancada ou retífica faça os furos. Não faça muita pressão na furadeira para não lascar o lado de baixo da placa. Veja a figura 10.27.

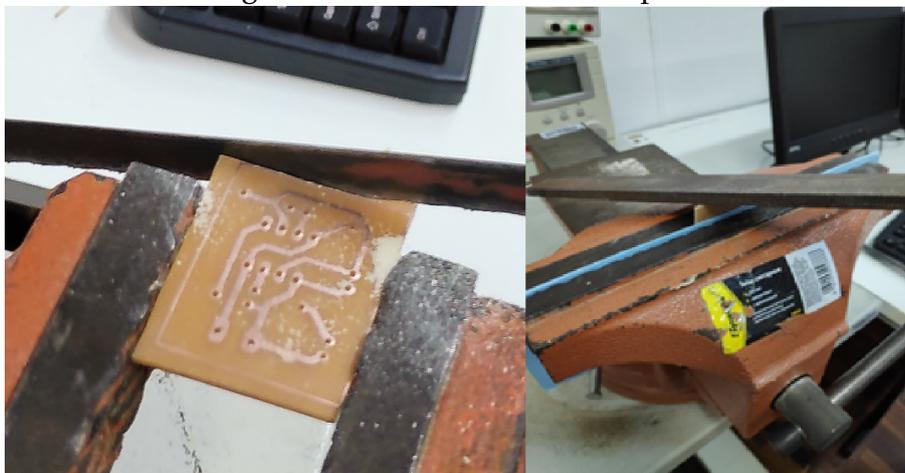
Figura 10.27: Furação da placa



10.15 Acabamento da placa

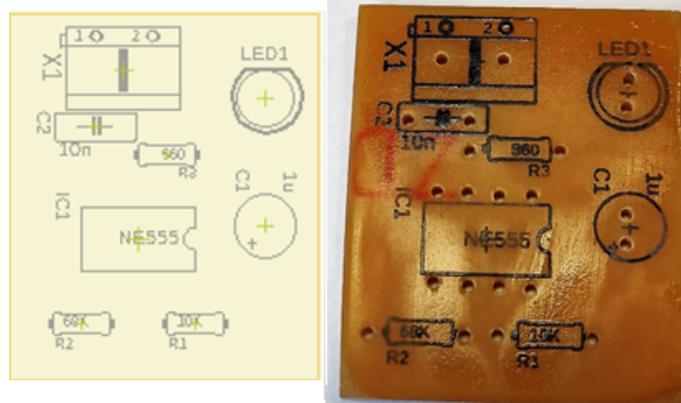
Após a furação é necessário fazer alguns acabamentos na placa. Com a ajuda de uma lima ou de lixas, os contornos da placa devem ser alinhados e lixados, de forma a evitar cantos vivos ou afiados. A placa pode ser novamente limpa com esponja de aço. Evite tocar as trilhas com os dedos, pois os resíduos deixados pelo toque oxidam o cobre. A figura 10.28 da alguns exemplos.

Figura 10.28: Acabamento da placa



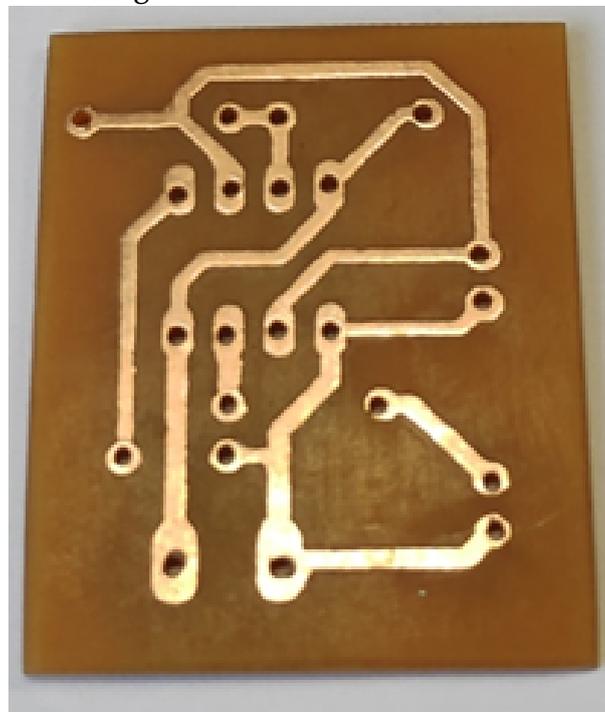
Nesta etapa também é possível imprimir a serigrafia com o nome e o valor dos componentes na placa. Para isso repita os passos realizados para a transferência do desenho das trilhas, só que desta vez imprima no papel as informações que deseja transferir para a placa. Não esqueça que o desenho é espelhado durante o processo de transferência. A figura 10.29 mostra a camada a ser impressa e o resultado na placa.

Figura 10.29: Desenhos, nomes e valores dos componentes



É ainda possível realizar a proteção da superfície da placa com uma solução de breu com álcool. Para isso dissolva um pouco de breu em álcool e borrife ou pincele sobre a placa. A figura 10.30 mostra a placa finalizada.

Figura 10.30: Placa finalizada

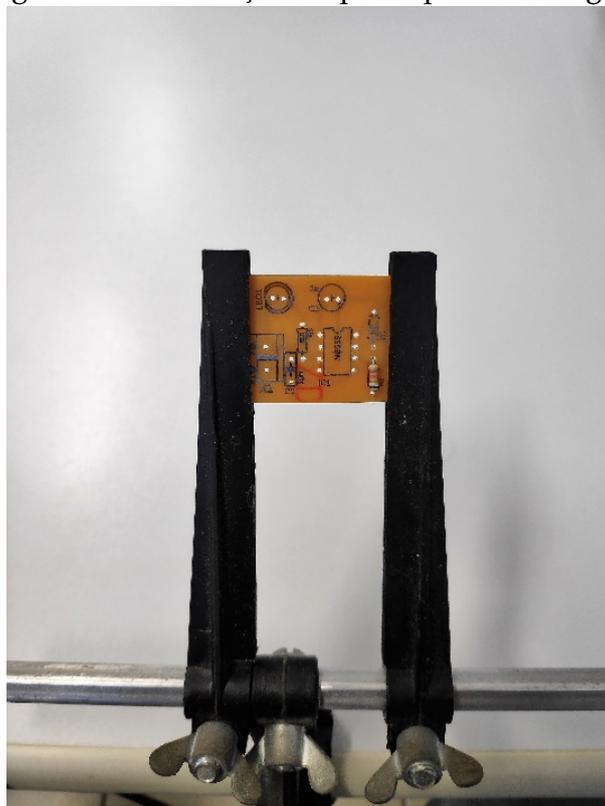


10.16 Montagem dos componentes

A montagem e soldagem dos componentes é uma etapa delicada da fabricação de placas de circuito impresso. Mesmo para placas industrializadas a montagem e a soldagem dos componentes exige muitos cuidados. O processo de montagem e soldagem dos componentes é o seguinte.

- Utilize óculos de proteção durante todo o processo
- Evite tocar a trilhas da placa para não sujá-las.
- Escolher um ferro de solda com potência apropriada, normalmente 20 W ou 30 W para componentes pequenos e potências maiores apenas para componentes grandes com terminais de maior diâmetro, ou utilize uma estação de solda com temperatura ajustável.
- Utilize a solda apropriada, de preferência 63% estanho e 37% chumbo.
- Se possível utilize algum dispositivo para fixar a placa a mesa. A figura 10.31 mostra um equipamento deste tipo.

Figura 10.31: Fixação da placa para montagem

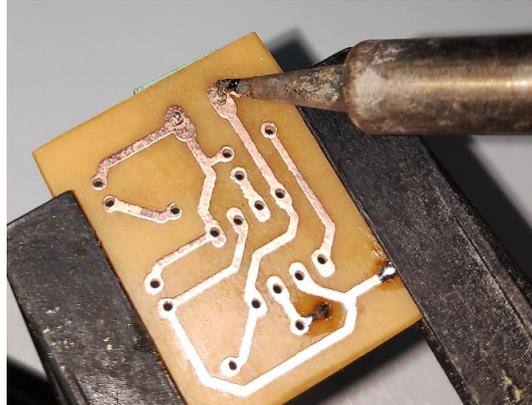


- Mantenha seu rosto afastado da placa, pois as fumaças são tóxicas. Se possível utilize equipamentos apropriados de ventilação.

10.16. MONTAGEM DOS COMPONENTES SAULA 10. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

- Elabore uma estratégia de montagem, iniciando pelos componentes menores e mais complicados.
- Tome cuidado com a fixação mecânica dos componentes, dissipadores de calor por exemplo.
- Posicione o componente o mais próximo possível da placa.
- Aplique um pouco de solda na ponta do ferro de solda.
- Com o ferro de solda toque a ilha da placa e o terminal de componente ao mesmo tempo, de forma a aquecê-los. A figura 10.32 mostra este procedimento.

Figura 10.32: Soldagem do componente



- Aplique um pouco de solda no ponto de junção entre o componente e a ilha. A figura 10.33 mostra este procedimento.

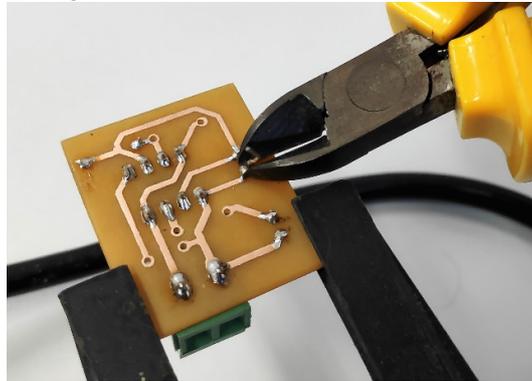
Figura 10.33: Aplicação de solda



10.16. MONTAGEM DOS COMPONENTES SAULA 10. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

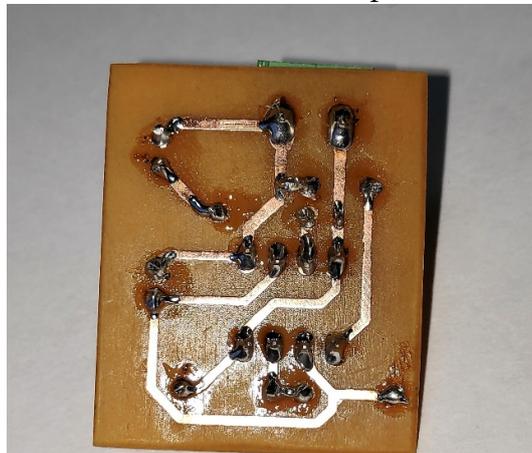
- Pare de aplicar quando toda a ilha for coberta por solda, mantendo o ferro de solda por mais uns 2 segundos e então o afaste.
- Cuidado para não aquecer muito a placa ou o componente, pois ambos podem ser danificados. Componentes sensíveis podem ser protegidos com o uso de dissipadores de calor.
- Cuidado para não aquecer pouco a solda, pois os componentes não serão eletricamente conectados.
- Com a solda finalizada corte o excesso dos terminais do componente utilizando um alicate de corte apropriado. A figura 10.34 mostra este procedimento.

Figura 10.34: Corte dos terminais



- Mantenha a ponta do ferro de solda limpa com a ajuda de uma esponja vegetal umedecida.
- Repita o processo para todos os componentes da placa. A figura 10.35 mostra a placa com todos os componentes soldados.

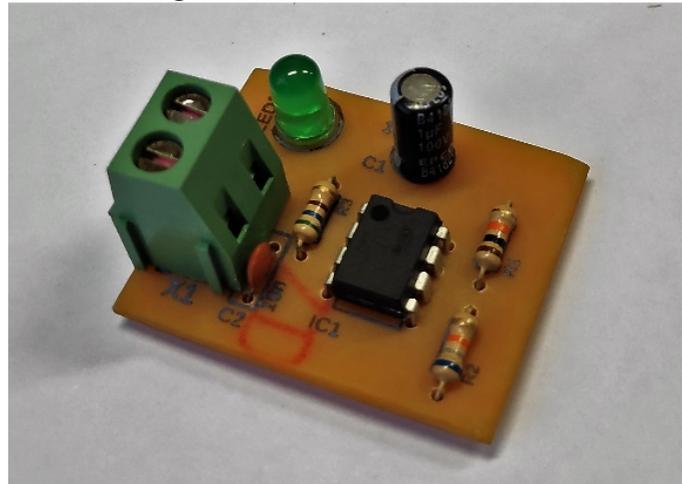
Figura 10.35: Placa com os componentes soldados



10.17 Finalização da placa

Após a soldagem dos componentes a placa deve ser limpa com álcool isopropílico para remover os resíduos da soldagem. Para evitar que a placa se oxide com o tempo pode-se aplicar o verniz apropriado sobre as trilhas e as soldas da placa. Uma alternativa é a aplicação de breu dissolvido em álcool. A figura 10.36 mostra a placa finalizada.

Figura 10.36: Placa finalizada



Após esta etapa a placa está pronta para os testes e para ser colocada em funcionamento.