



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

GUIA DE LABORATÓRIO INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA I

Versão 03 - 2022

Prefácio

Convivemos, diariamente, com vários sistemas de medição e sensores. Quer seja em casa, no carro, no avião ou nas indústrias. Em casa temos os medidores de consumo de energia elétrica, de água, de gás encanado. Sensores de presença para abertura/fechamento de porta de elevadores nos prédios ou em sensores de portão de garagem. Nos carros temos os medidores de consumo, baseados em sensores de queima de combustível, medidores de velocidade, sensores de estacionamento, de chuva, de luminosidade e sensores de presença nos alarmes contra intrusos e etc. Nos smartphones temos sensores de posição, de temperatura e magnéticos. Estes são apenas alguns exemplos da quantidade de sensores que nos cercam e que às vezes nem nos damos conta. A Instrumentação Científica está no cerne de todo este avanço tecnológico que possibilitou uma mudança radical de nosso modo de vida. Basta comparar o modo de vida a 200 anos atrás.

Como disse o Prof. Marcelo Albuquerque do CBPF: “A Instrumentação Científica é a base para desenvolver tecnologias que poderemos utilizar no dia-a-dia. Muitas das facilidades e instrumentos que utilizamos nasceram a partir de softwares e hardwares desenvolvidos por laboratórios de pesquisa. A Inovação Tecnológica estimula a conexão entre unidades de pesquisa e empresas, visando transferência de conhecimento para sociedade.”

Um curso de instrumentação científica de ponta requer uma bagagem de conhecimento de física impressionante, já que trata de mecanismos e sensores com tecnologia avançada. No entanto, deve ser iniciado pelo conhecimento das estruturas e conceitos básicos. Assim, neste curso de Instrumentação Científica I, faremos um estudo da eletrônica básica, aprendendo a construir circuitos para produção e análise de sinais eletromagnéticos, bem como desenvolver várias aplicações com os mais variados sensores.

Este guia é uma compilação de roteiros de experimentos de eletrônica desenvolvidos aqui no Departamento de Física da UFPB e muitos outros utilizados nas mais diversas intuições de ensino superior do país. Muitos destes roteiros estão incrementados com adaptações aos equipamentos que dispomos no laboratório, entre outros, equipamentos que foram criados/desenvolvidos aqui no DF-UFPE.

Apresentamos no apêndice, uma apostila sobre conceitos básicos da teoria de erros* utilizada IFGW - Unicampi e desenvolvida pelo professor Manfredo H. Tabacniks. Considerando que trabalharemos extensivamente com a confecção e análise de gráficos, apresentamos em seguida um tutorial básico sobre a utilização do *software* para análise de dados muito utilizado no mundo da física - Origin. Este tutorial é utilizado nos laboratórios de ensino da USP e foi desenvolvido por Elisa Morandé Sales. Em seguida apresentamos uma alternativa para o uso e incentivo do *software* livre para análise de dados o QtiPlot. Ele tem funcionamento similar Origin. Fica aqui a sugestão para fazer uma doação ao autor do programa. Isto serve para incentivá-lo a continuar com o projeto de desenvolvimento software Qtiplot. Um tutorial online muito bom pode ser visualizado na página do Prof. Angelo M. Gomes do Instituto de Física - Universidade Federal do Rio de Janeiro[†]. Maiores detalhes sobre o este software podem ser obtidos na página do Qtiplot.

Este guia se encontra em versão beta e será constantemente atualizado. Fiquem atento para as próximas versões. Desejamos uma boa leitura!

Professores

Charlie Salvador Gonçalves

Umbelino de Freitas Neto

Técnicos de Laboratório

Bruno César Nóbrega de Souza

Humberto da Silva Oliveira

Marcelo da Fonseca Santana

Vladimir Yuri Soares de Lima Cavalcanti

Sumário

1 TÉCNICAS DE SOLDAGEM	5	6.6 Experimento 3: Lei de Lenz	30
1.1 Introdução	5	6.7 Experimento 4: O motor elétrico	30
1.2 Atividade	7	6.8 Experimento 5: O gerador elétrico	30
1.3 Material Utilizado	7	6.9 Questões	31
1.4 Passos para a Soldagem	7	7 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: RESISTÊNCIA	32
1.5 Autoavaliação do procedimento	7	7.1 Material Utilizado	32
2 TÉCNICAS DE MONTAGENS	9	7.2 Procedimentos iniciais	32
2.1 Técnicas de Soldagem em Eletrônica	9	7.3 Experimento: Medida da continuidade de um circuito elétrico	32
Manual para Placas de Circuito Impresso	11	7.4 Experimento: Medida de resistência fixa	32
3 FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	21	7.5 Experimento: Medida de resistência variável	32
3.1 Fabricação de Placas de Circuito Impressos	21	7.6 Questões	33
3.2 Passo a passo : como fazer placas de circuito impresso	21	RESISTORES COM PAPEL E GRAFITE	33
3.3 Material Utilizado	21	8 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: CORRENTE	44
3.4 Recomendações importantes de segurança!	22	8.1 Material Utilizado	45
3.5 O desenho do diagrama na placa	22	8.2 Procedimentos iniciais	45
3.6 Desenhando diagrama em placa de circuito impresso com caneta especial	22	8.3 Experimento 1: Evidenciando a passagem da corrente elétrica	45
3.7 Corrosão	23	8.4 Experimento 2: Medida de corrente elétrica em resistores	45
3.8 Perfuração	24	8.5 Experimento 4: Medida de ddp e corrente elétrica na lâmpada	46
3.9 Montando seu projeto	24	8.6 Questões	46
4 Alguns Programas para Desenho de Esquemas Eletrônicos	25	9 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: POTÊNCIA	47
4.1 “Softwares“ de Eletrônica	25	9.1 Material Utilizado	47
4.2 Softwares para fazer esquemas eletrônicos online	25	9.2 Procedimentos iniciais	47
4.3 Outros “Softwares” muito utilizados	26	9.3 Experimento 1: Circuito em Paralelo	47
4.4 Eletronisc Workbench ⁵	26	9.4 Experimento 2: Circuito em Série	47
5 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: DIFERENÇA DE POTENCIAL - ddp	28	9.5 Questões	48
5.1 Material Utilizado	28	10 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Capacitância	49
5.2 INTRODUÇÃO	28	10.1 Experimento 1: Efeito do capacitor instalado em corrente contínua	49
5.3 Procedimentos iniciais	28	10.2 Experimento 2: Efeito de um capacitor menor instalado no mesmo circuito	49
5.4 Experimento 1: Medida da diferença de potencial (ddp) com voltímetro analógico.	28	10.3 Questões	50
5.5 Experimento 2: Medida de ddp em baterias	28	11 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Corrente Alternada - AC	51
5.6 Experimento 3: Medida de corrente elétrica no resistor	29	11.1 Experimento 1: Efeito do capacitor instalado em Corrente Alternada	51
5.7 Experimento 3: Medida de corrente elétrica no potenciômetro	29	11.2 Experimento 2: Efeito de um capacitor menor instalado no mesmo circuito	51
5.8 Questões	29	11.3 Experimento 3: Efeito da inversão de posição dos componentes no mesmo circuito	51
6 REVISÃO: FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS	30	11.4 Questões	52
6.1 Material Utilizado	30		
6.2 INTRODUÇÃO	30		
6.3 Procedimentos iniciais	30		
6.4 Experimento 1: Experimento de Osted	30		
6.5 Experimento 2: Indução de Faraday	30		

12 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Indutores em Corrente Alternada - AC	53
12.1 Experimento 1: Efeito do indutor instalado em corrente alternada	53
12.2 Experimento 2: Efeito de um indutor maior instalado no mesmo circuito	53
12.3 Experimento 3: Efeito da inversão de posição dos componentes no mesmo circuito	53
12.4 Questões	54
13 FONTES DE POTÊNCIA: Aplicação de diodos e capacitores	55
13.1 Experimento 1: Medida da corrente alternada com osciloscópio	55
13.2 Experimento 2: Efeito do diodo instalado em Corrente Alternada	55
13.3 Experimento 3: Efeito do capacitor instalado em Corrente Alternada	55
13.4 Experimento 3: O Retificador de onda completa	56
13.5 Experimento 4: Construindo uma fonte simétrica	56
13.6 Questões	56
Circuitos RC e filtros de Frequência	57
14 DIODOS - Curva característica	63
14.1 Introdução	63
14.2 Identificação	63
14.3 Diodos especiais	63
14.4 Teste do diodo com o multímetro	63
14.5 A curva característica	64
14.6 Procedimento Experimental	64
14.7 Simulação 1: Curva característica do diodo em polarização reversa	64
14.8 Simulação 2: Curva característica do diodo em polarização direta	64
DIODOS	65
Diodos de Silício e de Germânio	65
Diodo Zener	68
Diodos Emissores de Luz - LED	77

1 TÉCNICAS DE SOLDAGEM

O conhecimento da técnica de soldagem é imprescindível para a boa fabricação de um circuito, sua durabilidade está diretamente relacionada com a boa fixação mecânica dos componentes eletrônicos e às suas conexões elétricas. Este material foi adaptado de um artigo da revista Nova Eletrônica¹.

OBJETIVOS

- Determinar experimentalmente o valor da carga elementar do elétron;
- Verificar o caráter discreto da magnitude da carga elétrica;
- Analisar a distribuição de cargas elementares presentes nas gotículas de óleo investigadas;
- Analisar e discutir criticamente as principais fontes de erro do experimento, tendo em mente o valor atualmente aceito para a carga elementar do elétron.

1.1 Introdução

A soldagem é um modo rápido, eficaz, simples e econômico de ligar permanentemente fios e circuitos elétricos. É excelente para reparar a maioria dos objetos metálicos. As ferramentas são simples e as técnicas são fáceis de se aprender.

O que é a soldagem?

A soldagem é a conexão permanente de peças ou materiais metálicos com a utilização de uma liga metálica, geralmente estanho e chumbo. A soldagem é eficaz para uma variedade ampla de metais tais como o cobre, o zinco, o latão, a prata e o alumínio. É ideal para vários serviços: conexões de tubulações e de encanamentos, reparos de telhados metálicos, de fiação elétrica residencial, automotiva, aparelhos eletroeletrônicos, etc.

A solda (ver figura 1) é o elemento de adição no processo, composto por uma liga metálica que se funde a uma temperatura inferior a dos metais que serão unidos de tal modo que a solda flua para efetuar uma conexão sólida. Um elemento decapante químico deve ser adicionado no processo para assegurar que a superfície esteja limpa para a molhagem da solda. Este é chamado de pasta ou fluxo para soldar.



Fig. 1 à esquerda, o elemento de adição na solda composto por chumbo (Pb) e estanho (Sn) vendido na configuração de fio. À direita, o elemento decapante químico adicionado no processo para limpar a região metálica.

Como a Solda é Executada?

A solda em fio mostrada na Fig. 1, já contém o fluxo internamente como é apresentado na Fig 2.

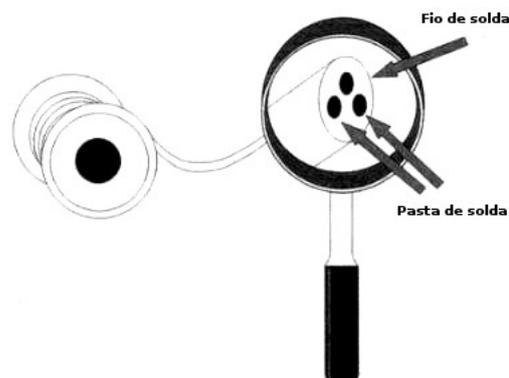


Fig. 2 A pasta de solda já está contida nos fios de solda.

Como a solda é executada?

Para soldar, primeiro aplique a pasta em cada superfície (não é necessário para a solda em fio com resina, pois contém o fluxo internamente), aqueça as partes metálicas que serão unidas e depois solde. As peças soldadas metalurgicamente formam uma excelente junção entre os fios e circuitos elétricos, e entre as partes metálicas.

A escolha da ferramenta certa para a soldagem

A soldagem requer uma fonte de calor, solda e fluxo. Um ferro de soldar elétrico ou pistola elétrica, oxi-acetileno, todos propiciam uma boa fonte de calor para a soldagem. Um ferro de soldar elétrico é a melhor escolha para a soldagem doméstica de uso geral (ver Fig. 3). Ele aquece rapidamente e é cômodo para uso em pequenos serviços elétricos. Escolha um

modelo de 30/40/60 W para serviços elétricos e para a maioria dos reparos. Um modelo de 100/200 W é mais adequado para serviços pesados (ver Fig. 4).



Fig. 3 Exemplo de ferramentas de soldar de baixa potência. Um ferro de soldar elétrico à esquerda e um à gás na direita. Utilizados para serviços leves.



Fig. 4 Exemplo de ferramentas de soldar de alta potência. Uma pistola e uma machadinha de soldar. Utilizados para serviços pesados.

Dimensione a ponta do ferro de solda de acordo com as peças a serem unidas. É necessário uma que seja grande o suficiente para aquecer as superfícies até que funda a solda e a faça fluir livremente, mas não tão grande que seja desajeitada para o uso ou que possa danificar os componentes elétricos próximos.

Como Escolher o fluxo correto

As soldas são escolhidas conforme a peça a ser soldada e os fluxos são escolhidos de acordo com a soldagem. Uma chave para o sucesso é obter a combinação correta dos dois.

Se as superfícies a serem conectadas estiverem limpas e isentas de ferrugem, sujeira e graxa, então a maioria dos serviços de soldagem pode ser executada com solda em fio com resina (fio de solda com fluxo interno). A utilização de solda com fluxo interno, tais como a 183 MSX, 189 MSX, 212 MSY, 235 MSY, 267 MEY, asseguram a combinação correta de materiais que produzirão os resultados desejados.

Ao se utilizar a solda de fio sólido deve-se sempre utilizar o fluxo.

Todos os materiais têm uma oxidação superficial mesmo que não seja visível. O fluxo é utilizado para limpar as superfícies a serem unidas, para permitir que a solda flua, na

forma de uma camada fina, e faça contato profundo com estas superfícies. Sem o fluxo, a solda poderia assentar sobre este filme e uma união sólida seria impossível de obter.

Para serviços elétricos, utilize o fluxo resinoso, pois não é condutivo nem corrosivo, evitando a interferência na conexão elétrica. O mesmo tipo de fluxo deve ser adotado para a solda em fio. O fluxo resinoso funciona melhor em fios de cobre e fios estanhados, placas de estanho limpas e superfícies revestidas com solda.

A pasta para soldar é indicada para serviços elétricos e é aplicada somente na área a ser soldada, reduzindo o consumo de solda. É indicada principalmente na soldagem de tubos capilares, na indústria de refrigeração, nas soldagens de tubos de cobre de aquecimento central, terminais de baterias, etc. Uso geral, exceto eletrônica.

Para serviços eletrônicos, o fluxo no *clean* é o mais indicado, pois não deixa resíduos condutivos.

Para serviços gerais, utilize o fluxo halogenado que exerce uma ação química mais forte decapando melhor as superfícies mais oxidadas. Não deve ser utilizado em serviços elétricos porque os resíduos são corrosivos e podem danificar e eventualmente provocar curto-circuito em equipamentos elétricos e eletrônicos.

Mesmo ao utilizar solda em fio com resina, pode-se desejar usar fluxo adicional do mesmo tipo para serviços pesados de solda.

Como selecionar a solda correta

As embalagens tornam fácil a seleção do produto correto para o serviço que está sendo executado, pois são codificadas com cores pelo tipo de solda para a qual o produto é destinado.

O tipo de liga da solda, seja fio sólido ou fio com resina, e o diâmetro do fio são claramente indicados para a sua conveniência e facilidade de seleção.

O diâmetro dos fios de solda, com fluxo interno e sólido, variam de 0,5 a 2,4 mm. Selecione o diâmetro com base no tamanho da união soldada que será executada.

Solda Estanho/Chumbo: As ligas estanho/chumbo são as mais utilizadas. Nestes casos de solda, o conteúdo da liga é expresso em porcentagem de estanho e chumbo, com o conteúdo de estanho sempre listado primeiro. Por exemplo, solda para uso geral 60/40, tal como a Solda em Fio com Resina (189 MSX 10) tem 60% de estanho e 40% de chumbo.

Além disso, há uma variedade de soldas para diferentes tipos de metais e serviços.

Serviços elétricos: A liga 60/40 é ideal para eletrônica e outras aplicações em que um baixo ponto de fusão é desejável.

Cobre e latão: Outra liga estanho/chumbo, 50/50 é preferida para aplicações em cobre e latão. Os produtos adequados incluem a Solda em Fio com Resina 212 MSY e a Solda de Fio Sólido 10A24.

Solda *Lead-Free*: Considerando os efeitos nocivos do chumbo para o meio ambiente, surge a opção da solda *Lead Free* (isenta de chumbo). As ligas metálicas disponíveis e mais utilizadas são a SAC 305 (96,5Sn/3,0Ag/0,5Cu) e a SACx 0307 (99,0Sn/0,3Ag/0,7Cu).

A solda pode ser encontrada no comércio e vendidas na forma de fios ou barras. As figuras 5 mostram estas formas.



Fig. 5 Exemplo de formas comerciais de solda. Pequenos rolos, tubos ou em barra.

1.2 Atividade

Nesta atividade faremos um treinamento de soldagem de des-soldagem de materiais. Este procedimento é muito útil para o conhecimento e aprimoramento das técnicas. Utilizaremos ferramentas de uso geral como: alicates de bico, alicates de corte e alicates universais, sugadores de solda, suportes de placas, entre outros.

1.3 Material Utilizado

1. Ferro de soldar tipo elétrico de 30,40 ou 60 W;
2. Fio de solda 60/40;
3. Sugador de solda;
4. Alicates de corte e de bico;
5. Cabo coaxial;
6. Base de cerâmica;

De posse do cabo coaxial:

1. Retire o fio condutor interno com o auxílio dos alicates;
2. Corte-o em pedaços de 4 cm;
3. Utilizando o ferro de soldar e o fio de solda, una-os montando estruturas em 2D e 3D, conforme solicitado em aula.

1.4 Passos para a Soldagem

1. Nunca solde em áreas próximas de materiais inflamáveis de nenhuma espécie.
2. Trabalhe com ventilação adequada.
3. Ao utilizar fluxo halogenado, evite contato com a pele e os olhos. Use sempre proteção ocular.

4. Assegure-se de que as superfícies a serem unidas estejam limpas e isentas de sujeira, gordura, ferrugem, corrosão, etc. Evite tocar na superfície limpa com as mãos descobertas; a gordura da pele pode impedir a aderência adequada da solda.

5. Ligue o ferro de soldar ou a pistola e deixe esquentar. Deve-se “estanhá-lo” a ponta nova aplicando-se uma solda em fio com resina. Quando adequadamente estanhada, a ponta ficará prateada. Um ferro mal estanhado não produzirá uma junção bem soldada. Limpe a ponta do ferro de soldar em uma esponja.

6. Se estiver sendo utilizado um fluxo separado, aplique-o com auxílio de uma escova, pincel ou por imersão. Fluxos halogenados são produtos químicos fortes, portanto evite contato com a pele.

7. Certifique-se que a ponta está estanhada quando o ferro está ligado (a estanhagem protege a ponta e melhora a transferência de calor).

8. Aqueça as superfícies a serem unidas mantendo o ferro de soldar ou pistola em um ângulo de modo que a face da ponta assente comodamente na junção e a máxima transferência de calor possa ocorrer do ferro para a junção. O momento correto para aplicar a solda é quando a superfície de trabalho - não o ferro - estiver suficientemente quente para fundir e deixar fluir a solda. Deixe a superfície de trabalho aquecer suficientemente.

9. Alimente o fio de solda na junção, não na ponta do ferro ou da pistola. Quando possível, aqueça a união a partir do lado de baixo e aplique a solda a partir do lado de cima. Se a área de junção não estiver suficientemente quente para fazer fundir e fluir a solda, remova o fio de solda e continue a aquecer a junção. Quando a área da junção estiver suficientemente quente, a solda funde-se imediatamente e flui suavemente em uma camada fina. Se necessário, molde a solda fundida com a ponta do ferro de tal modo que a junção fique completamente preenchida e coberta.

10. Pare a alimentação do fio de solda na junção, depois remova o ferro. Não movimente a junção nem aplique pressão. Deixe a junção esfriar por cerca de 30 segundos para solidificar a solda no lugar. Não aplique água nem sopre para acelerar o processo de resfriamento.

1.5 Autoavaliação do procedimento

A solda deve ter envolvido toda a superfície do condutor no ponto de união e apresentar um aspecto brilhoso. Se a solda não aderiu às superfícies, a união não foi corretamente limpa nem recebeu fluxo suficiente. Espere a união esfriar, limpe-a novamente por completo. Aqueça e solde novamente.

Solda fria é quando não existe uma fusão perfeita na soldagem, isso é, da solda com as superfícies a serem soldadas (placa de circuito impresso e o terminal do componente). A

Solda fria está entre os defeitos mais comuns na eletrônica e pode acarretar defeitos secundários muito mais graves.

Apesar de menos comum existe a solda fria ao contrário, ou seja uma solda muito quente, o superaquecimento da solda não deixa ela fluir bem e ocasiona a queima do fluxo.

A solda eletrônica tem um padrão. Quando a solda derretida toca a superfície do metal que vai ser soldado a tensão superficial a faz aderir à superfície e fluir sobre ela. Por vezes, no entanto, existe uma película de óxido sobre uma ou a outra superfície e a solda derretida não consegue aderir ao metal.

A tensão superficial neste caso faz com que a solda fique na forma de uma bola e se afaste do componente a ser soldado, este defeito é muito comum aos iniciantes na soldagem eletrônica, muitas vezes chamada de solda fria, mas realmente é apenas a falta de limpeza das áreas a serem soldadas .



Fig. 6 Exemplo de um problema de soldagem denominado de solda fria.

Existem dois tipos básicos de solda fria, a que é ocasionada na hora da soldagem, devido a baixa temperatura do ferro de solda, assim não dando uma união perfeita entre a solda e o componente ou a placa de circuito impresso, e a segunda que é a solda fria ocasionada pela ação mecânica ou térmica.

A solda fria que é ocasionada na hora da soldagem é aquela em que a solda não derrete completamente. Muitas vezes, é caracterizada por uma superfície áspera ou irregular, tornando a solda não confiável.

A condutividade neste caso de solda fria poderá até existir, dando uma falsa ilusão de uma boa soldagem, mas com o tempo poderá se desenvolver rachaduras e com isso o aparecimento de mal contatos.

Atualmente este tipo de solda fria vem crescendo devido a péssima qualidade das soldas chinesas, que são fabricadas com material reciclado. Por isso é aconselhável escolher uma boa solda, um bom ferro de solda e sempre manter sua ponta limpa.

Já a solda fria mais comum é a ocasionada com a ação mecânica ou térmica, abaixo uma visão ampliada de uma solda fria em uma placa de circuito impresso de uma lâmpada fluorescente econômica.

Descobrimo uma Solda Fria

Nem sempre é tão visível, normalmente o problema é bem sutil, uma dica que pode ser usada em quase todos os casos, é balançar o componente levemente para se detectar a rachadura e ter uma melhor visualização do problema.

A solda fria pode ocorrer em componentes ou fios que sofrem esforços mecânicos ou grande aquecimento (intermitência de temperatura), um exemplo é o que citei acima, os transistores osciladores das lâmpadas fluorescentes compactas que não são dotados de dissipadores, com isso acabam por dissipar uma boa quantidade de calor, o suficiente para com algum tempo de uso começar a causar o problema.

A solução do problema da solda fria é simples, geralmente pode ser reparada pela simples re-aquecimento com um ferro de solda quente até que a solda se torne líquida e a rachadura desapareça por completo. Na dúvida ressolde todo o arredor do local onde você detectou a solda fria.

Referências

- 1 <http://blog.novaeletronica.com.br/solda-fria/> Acesso em 01 de agosto de 2016.

2 TÉCNICAS DE MONTAGENS

O conhecimento das técnicas de montagem é imprescindível para o bom acabamento de um circuito. Cada uma destas técnicas aparecem com a disponibilidade de materiais e tempo que dispomos para confeccioná-lo. Será feita uma breve explanação sobre as técnicas antes de introduzir a técnica mais utilizada de montagem de circuitos: a fabricação de circuito impresso. Este material foi adaptado de um artigo da revista Nova Eletrônica¹.

OBJETIVOS

- Apresentar as várias técnicas de montagem antes de introduzir a técnica de fabricação de circuitos impressos;
- Fornecer os passos básicos para a fabricação de circuitos impressos.

2.1 Técnicas de Soldagem em Eletrônica

Montagem tipo Aranha

A montagem aranha (ver Fig. 7), talvez seja a técnica de montagem mais rudimentar e perigosa. Nesta montagem, os componentes são soldados diretamente uns aos outros ou ligados através de fios. Com isso é formado uma verdadeira teia de aranha onde o circuito não tem uma base de suporte e é praticamente em 3D. Recomendado apenas para quem não tem nenhuma outra opção de montagem.



Fig. 7 Montagem tipo aranha.

Montagem tipo Besouro Morto “dead bug”

A montagem *dead bug* (ver Fig. 8) difere da montagem em aranha, já que o circuito tem uma base e os componentes são colados diretamente nesta base, que é de material isolante. Ao se colar o componente na placa, como por exemplo um circuito integrado, ele é virado e os pinos ficarão para cima, daí vem o nome besouro morto (dead bug), o CI fica com a aparência de um besouro com as patas para cima (morto). Neste tipo de montagem, os componentes podem ser colados em uma superfície plana, em uma caixa de papelão ou metal, ou onde mais você deseje fixá-lo. A junção dos componentes é feita por fios ou por outros componentes, o problema deste método é a dificuldade de substituição dos componentes em caso de defeito.

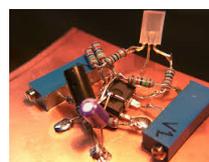


Fig. 8 Montagem tipo besouro-morto.

Montagem em Barra de Terminais

Por muito tempo foi a principal maneira do *hobbysta* construir um circuito. A barra de terminais (ver Fig. 9) é uma barra de fenolite com uma série de terminais soldáveis isoladas uma das outras. Os componentes são soldados diretamente sobre ela. A maioria das barras de terminais tem 20 terminais, mas se caso você só use 5, por exemplo, basta cortar, assim você ficaria com uma barra de 15 terminais para fazer outros projetos.



Fig. 9 Exemplo de barra de terminais.

Montagem em Protoboard

A montagem em *protoboard* (ver Fig. 10) é uma montagem provisória, apenas para teste, experiências e aprendizado. A grande vantagem da montagem em *protoboard* é que os componentes não precisam ser soldados. Um *protoboard* é uma matriz de contatos com linhas eletricamente conectadas que serve de base para montagens eletrônicas. Existem várias pla-

cas padrão nas lojas de componentes eletrônicos, elas geralmente já vem perfuradas e a mais comum tem diversas trilhas de cobre em forma de linhas. Por ser padrão todas são iguais e de acordo com o seu circuito você deve interromper a linha de trilha, que pode ser feita facilmente com um estilete.

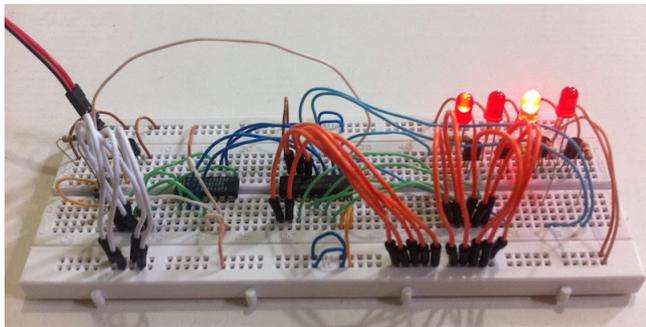


Fig. 10 Circuito montado provisoriamente em uma *protoboard*.
Fonte: <https://sites.google.com/site/metaeletronica/fabrica/construindoumaprotoboard>

Placa universal

Existem placas apenas com ilhas (ver Fig. 11) em que é possível fazer a trilha com fio e solda e tem a placa padrão para circuitos integrados. Na montagem em placas padrão os componentes são soldados, com isso torna o circuito mais seguro e permanente, quase da mesma forma que na placa de circuito impresso.



Fig. 11 Placa universal com ilhas. Foto: amazon.com

Montagem em Ilhas coladas: Tipo "Manhattan"

A montagem em Ilhas coladas (ver Fig. 13, também chamada de método "Manhattan" é uma técnica simples, que também utiliza a placa de circuito impresso virgem, e nela se cola do lado cobreado diversas pequenas ilhas, que podem ser quadrados ou redondos, feitas de pedaços de circuito impresso, que são colados do lado cobreado para cima, se tornando pontos para se soldar os terminais dos componentes.

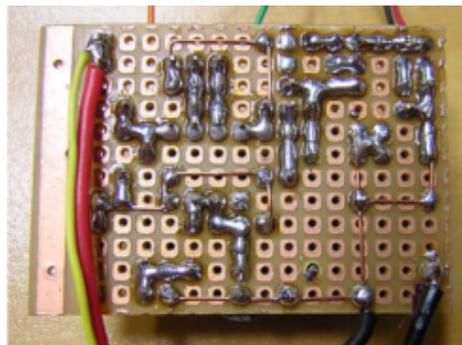


Fig. 12 Placa universal com ilhas soldadas fazendo a conexão entre terminais.



Fig. 13 Montagem em ilhas coladas "Manhattan" Foto: g7mrv.blogspot.com

Montagem com Ilhas feitas na Placa

Esse tipo de montagem é parecido com o método Manhattan, só que em vez de colar as ilhas na placa, as ilhas são feitas diretamente na placa. Neste caso uma broca ou um tubo fazem uma pequena introdução no lado cobreado na placa de circuito impresso sem atravessar, mas isolando a ilha.

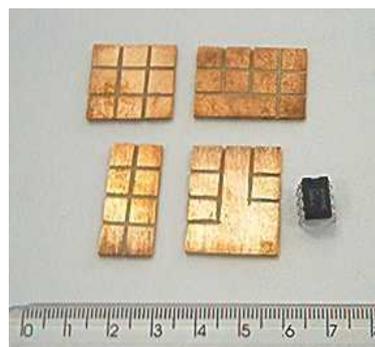


Fig. 14 Montagem com ilhas riscadas na placa virgem.

Neste método a placa de circuito virgem que serve de base é geralmente o terra do circuito. Para fazer as ilhas o usuário vai precisar fazer uma ferramenta especial como um tubo redondo e furadeira, ou apenas uma lâmina para fazer as ilhas quadradas como na Fig. 14. É muito usada a máquina para aplicar ilhós, essas encontradas em lojas de armarinhos, para

fazer ilhas redondas de até 4 mm de diâmetro.

Circuitos impressos

A montagem em placas de circuitos impressos (PCI) (ver Fig. 15) é a mais conhecida, praticamente todos os equipamentos eletrônicos são montados em placas de circuito impresso. Ela é uma placa de um material isolante como a fenolite ou fibra de vidro com trilhas de cobre e furos para fixar soldando os componentes.

As placas de circuito impresso podem ter as trilhas de cobre de um só lado, frente e verso (dupla face) ou multi-camadas (sanduíche). As trilhas condutoras em diferentes camadas são conectadas com furos metalizados. Alguns modelos mais sofisticados de PCI podem conter componentes, como capacitores, resistores ou dispositivos ativos incorporado em seu substrato.

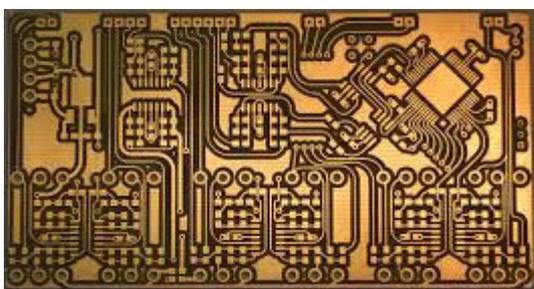


Fig. 15 Placa de circuito impresso Foto: ece.illinois.edu.

Referências

- 1 <http://blog.novaeletronica.com.br/tecnicas-de-montagens-eletronicas/>
- 2 http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html. Acesso em 10 de abril de 2016.

CONCEITOS FUNDAMENTAIS SOBRE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

EWALDO LUIZ DE MATTOS MEHL

1. CIRCUITOS IMPRESSOS – ORIGENS E MATERIAIS

Anteriormente à invenção dos transistores os circuitos eletrônicos baseavam-se em válvulas à vácuo que, por serem relativamente grandes, dispensavam maiores preocupações quanto à redução do tamanho da montagem final. A Figura 1 mostra um típico chassi metálico de rádio à válvulas, onde se observa que a interligação entre os componentes era feita pela parte de baixo do chassi.

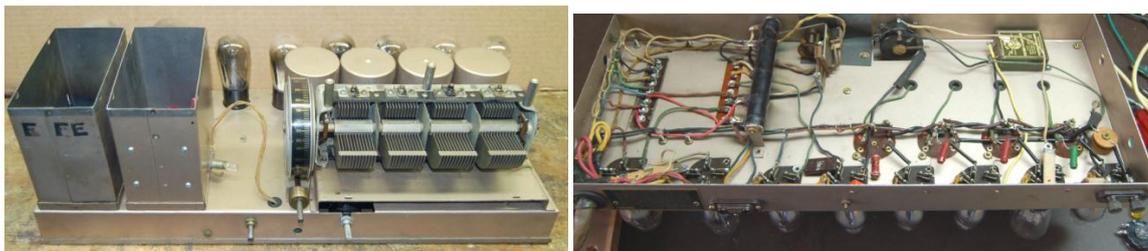


Figura 1: Nos circuitos à válvula, geralmente estas eram montadas sobre um chassi de chapa metálica. A interligação entre os componentes principais era feita pela parte de baixo do chassi

A maioria das publicações sobre o assunto credits a invenção do circuito impresso a um engenheiro austríaco chamado Paul Eisler (1907 - 1995) que em 1936, enquanto trabalhava na Inglaterra, patenteou um método de se corroer uma camada de cobre depositada sobre uma superfície isolante.

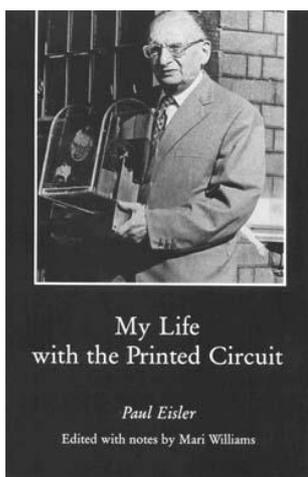


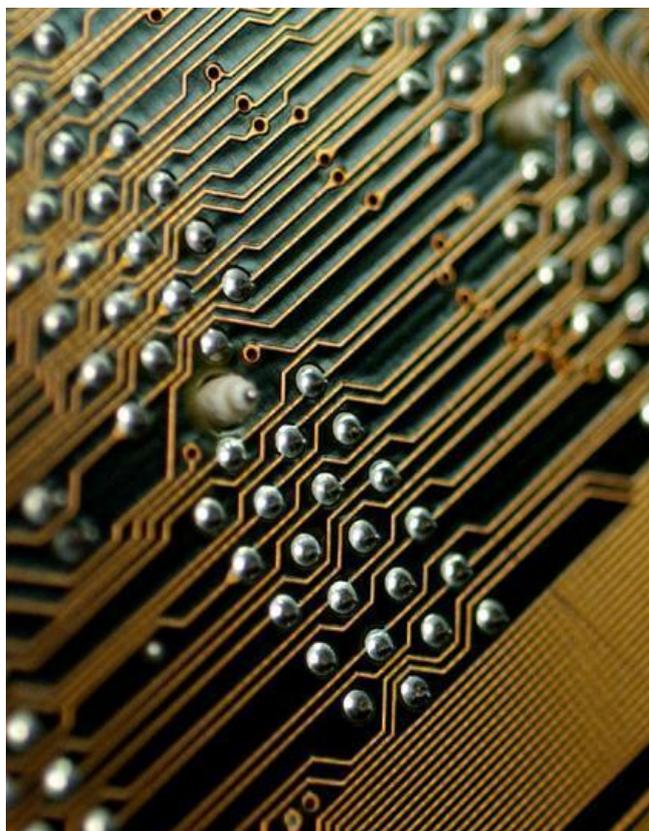
Figura 2: Capa da biografia de Paul Eisler, inventor do circuito impresso, e foto de um rádio construído por ele em 1946, utilizando circuito impresso semelhante aos atuais.

Existe também registro de uma patente norte-americana de 1925, em nome de Charles Ducas, que propunha depositar uma tinta condutiva sobre um substrato isolante, que deu origem à expressão "Circuito Impresso". No entanto, a primeira vez que os circuitos impressos foram usados de uma forma mais ampla foi por volta de 1943, quando foram empregados em equipamentos de rádio para uso militar, onde era essencial que o circuito funcionasse em situações extremamente adversas. Após a Segunda Guerra Mundial os circuitos impressos foram usados em outras aplicações e, com o advento dos transistores, tornou-se a forma mais comum de construção de circuitos transistorizados. Atualmente, **placas de circuitos impressos (PCIs)** são amplamente empregados em todos os tipos de equipamentos eletrônicos, principalmente quando se empregam em sua construção circuitos integrados.

O material inicialmente usado para a fabricação de placas de circuito impresso (PCIs) foi uma chapa conhecida como **fenolite**. Na verdade o nome *fenolite* era originalmente a marca comercial de um fabricante de chapas isolantes, muito usada pelos fabricantes de máquinas elétricas e transformadores. As chapas de *fenolite* são feitas com a mistura de uma resina fenólica com certa

quantidade de papel picado ou serragem de madeira (carga), apresentando cor marrom claro ou escura, dependendo do tipo de carga utilizada. A mistura é moldada e prensada a quente na forma de chapas, com diferentes espessuras. O principal problema das chapas de fenolite para circuitos impressos decorre justamente do uso da carga à base de celulose, que a torna higroscópica. Ou seja, em um ambiente úmido as placas de fenolite absorvem certa quantidade de água, o que além de prejudicar as suas características isolantes frequentemente faz com que as placas empenem.

Figura 3: Fotografia ampliada de uma placa de circuito impresso (PCI) empregada em um microcomputador.



Em resposta aos problemas apresentados pela fenolite, foram desenvolvidas na década de 1960, como alternativa de melhor qualidade, as placas conhecidas como **fibra de vidro** (FV). Na verdade estas chapas são feitas com resina epóxi e apenas há internamente uma fina manta de tecido de fibras de vidro. O uso da resina epóxi faz com que as placas de FV sejam totalmente inertes à água mas, por outro lado, produz uma placa extremamente difícil de ser cortada e furada. De fato, a dureza do epóxi é semelhante à do granito, fazendo com que sejam necessárias ferramentas especiais para fazer o corte e a furação das placas de circuito impresso de FV. As placas FV são também cerca de 30% mais caras do que as de fenolite. Apesar disso, devido à sua excelente capacidade isolante e estabilidade dimensional, a grande maioria das placas de circuito impresso de equipamentos eletrônicos são fabricadas com placas de FV, ficando a fenolite geralmente restrita a projetos de pouca qualidade ou quando se utiliza uma técnica mais artesanal na fabricação. Segundo a norma NBR 8188/83, as chapas para circuito impresso de fenolite são referenciadas como **FR-2** e as de fibra de vidro como **FR-4**. A sigla **FR** vem da expressão em inglês *flame resistant*, ou seja, resistente ao fogo.

Para aplicações em frequências muito elevadas, tanto a fenolite como a FV podem apresentar problemas de polarização dielétrica. Como alternativa existem chapas para circuito impresso onde o material isolante utilizado é o politetrafluoroetileno (PTFE), um material mais conhecido pelo nome comercial de **Teflon** (®Du Pont). São placas muito caras e geralmente utilizadas em circuitos onde estão presentes frequências de muitos GHz. Outro material alternativo é o

poliéster, que permite fabricar circuitos impressos flexíveis, usados em alguns equipamentos portáteis, como *notebooks*, agendas eletrônicas e telefones celulares

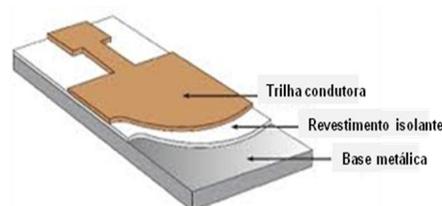


Figura 4: Esquema de construção de MCPCB.

Um tipo de placa especial de circuito impresso que tem se tornado relativamente comum nos últimos anos é conhecida como **MCPCB** (*metal clad printed circuit board*). Este tipo construtivo consiste de uma placa de alumínio com 2 mm a 3 mm de espessura, sobre a qual é depositada uma camada de material dielétrico (geralmente óxido de alumínio Al_2O_3 , obtido por anodização) e uma camada condutora de cobre, conforme mostrado na Figura 4. Este tipo de placa é indicado quando se necessita uma boa dissipação de calor. Sua principal aplicação é na montagem de diodos emissores de luz (LED) de alta potência, encontrando também uso em conversores *DC-DC* e em sistemas de injeção eletrônica de combustíveis.

Quanto ao material condutor das PCIs, é empregado o **cobre**. A escolha deste metal se deve à sua excelente condutividade elétrica, somente superada pela prata, além de suas características mecânicas que permitem a produção de folhas de pequena espessura. O processo de deposição do cobre sobre as placas isolantes inicia-se pela aplicação de uma tinta à base de grafite. Em seguida as placas são ligadas ao pólo negativo de uma fonte de corrente contínua e mergulhadas em uma solução saturada com sais de cobre, sendo tal solução ligada ao pólo negativo da fonte. Ocorre então um processo eletroquímico chamado **galvanoplastia**, obtendo-se a deposição de uma fina camada de cobre metálico sobre a placa. Ao se obter a espessura de cobre desejada, a placa é retirada do processo de galvanoplastia e passada por uma calandra metálica aquecida, que fixa a camada de cobre à placa e deixa-a com uma superfície lisa e uniforme. Geralmente as placas de circuito impresso usadas em eletrônica são chamadas de "cobre a uma onça"; isto significa que a camada de cobre existente em uma área de **um pé quadrado** (*1 sq.ft. - square foot*) pesa **uma onça** (*one ounce = 28,34 g*). A tabela 1 mostra as características usualmente encontradas nas placas de FV (**FR-4**) disponíveis para a indústria de PCI.

Tabela 1: Características das chapas tipo FR-4, disponíveis para PCI.

Espessura da camada de Cobre	1/2 onça (espessura de 18 μ m)	1 onça (espessura de 35 μ m)
Largura mínima das trilhas (*)	8 mils = 0,08 inch	12 mils = 0,12 inch
Espessura da chapa isolante	0,8mm, 1mm, 1,2mm, 1,6mm (típico), 2mm e 2,4mm	

(*) A largura mínima da trilha depende do processo de fabricação utilizado. Os valores citados são usuais nos prestadores de serviço de confecção de placas disponíveis no Brasil.

Para aplicações especiais, onde a corrente elétrica será elevada, existem placas com camadas mais espessas de cobre, chamadas de "3 onças" e até mesmo "5 onças".

Apesar de aparente muito pouco espessa, a camada de cobre existente na face de uma placa de circuito impresso possibilita a condução de corrente elétrica em níveis elevados. A Figura 5 mostra um ábaco existente na norma NBR 8188/89 que permite calcular a largura da trilha de cobre, em função da corrente a ser transmitida pela trilha, da espessura de cobre existente na placa e da temperatura máxima permitida.

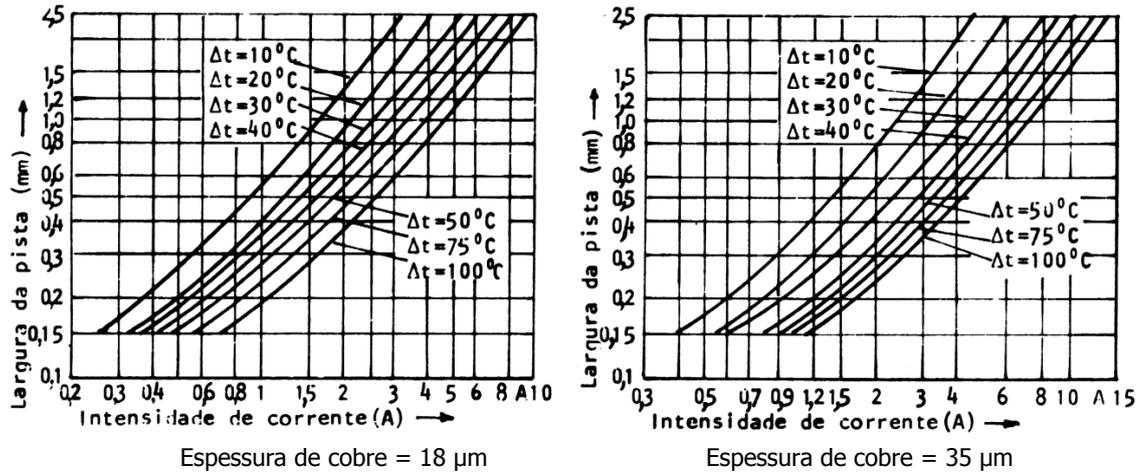


Figura 5: Ábacos existentes na NBR 8188/89, para dimensionamento da corrente máxima que pode fluir nas trilhas de um circuito impresso.

Quanto ao espaçamento mínimo entre trilhas contíguas, este é uma função da tensão entre elas. O ábaco da Figura 6, extraído da NBR 8188/89, possibilita verificar tal espaçamento mínimo.

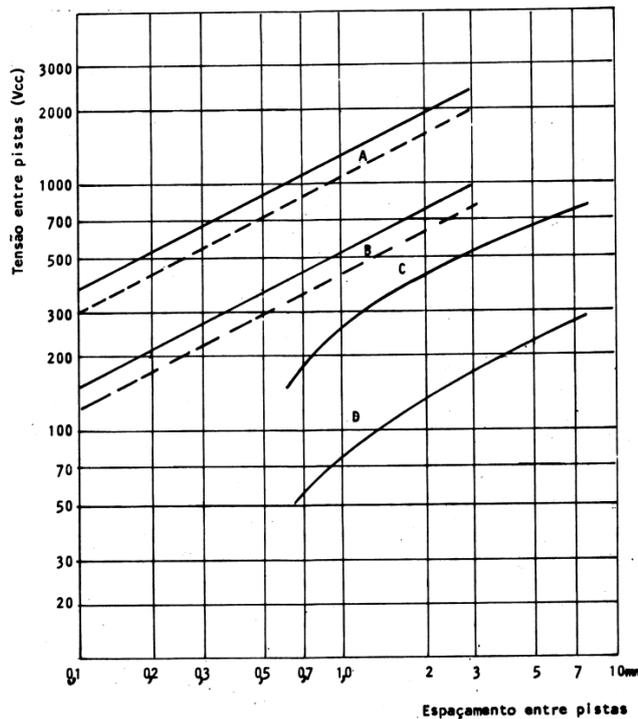


Figura 6: Ábaco que permite estabelecer o espaçamento entre duas trilhas contíguas, em função da tensão verificada entre tais trilhas. Fonte: NBR 8188/89.

- Em recintos fechados acima de 1000 m de altitude.
 - - - Em recintos abertos mas cobertos acima de 1000 m de altitude.
 - Curva A Tensão de descarga parcial em placa revestida de tecido de vidro epoxi com poeira quimicamente inativa.
 - Curva B Tensão de operação onde é apropriado um fator de operação de 2,5.
 - Curva C Tensão de operação onde é apropriado o fator de operação de aproximadamente 5.
 - Curva D Tensão de operação onde é apropriado o fator de operação de aproximadamente 11.
- Nota: Para espaçamentos acima de 8 mm, a relação entre a tensão e o espaçamento deve ser determinada para cada caso.

2. CIRCUITOS IMPRESSOS SMD

Apesar do amplo uso de circuitos impressos, até a década de 1970 muitos dos componentes eletrônicos continuaram a ser fabricados como se não fossem destinados a serem usados nesse tipo de montagem. Principalmente os capacitores e os resistores eram produzidos com terminais longos, na forma de arames de cobre revestidos com estanho. Após a soldagem desses componentes na placa de circuito impresso, era necessário cortar o comprimento em excesso dos terminais. A necessidade de orifícios para passarem os terminais também representa uma etapa a mais no processo de fabricação do circuito e faz crescer o seu custo final. Em face desses fatos, a partir de 1975 começaram a surgir PCIs com uma nova classe de componentes, chamados **SMD** (*surface mount devices* – dispositivos para montagem em superfície).

Na montagem de placas com SMDs, geralmente são usadas máquinas automáticas conhecidas como *Pick & Place*. Os componentes são fornecidos pelos fabricantes afixados em rolos. Um sistema robotizado coloca os componentes de forma muito precisa nos pontos corretos na placa, aplicando a eles uma pequena gota de cola. Nos circuitos de maior complexidade, os SMDs podem ser aplicados em ambas as faces da placa. Após a colagem dos componentes na placa, segue-se um processo de soldagem feito pela rápida imersão da placa em um banho da liga de solda em estado de fusão. Ou seja, todos os componentes de tecnologia SMD são soldados nesse processo e, posteriormente, componentes de maiores dimensões são soldados com técnicas tradicionais.

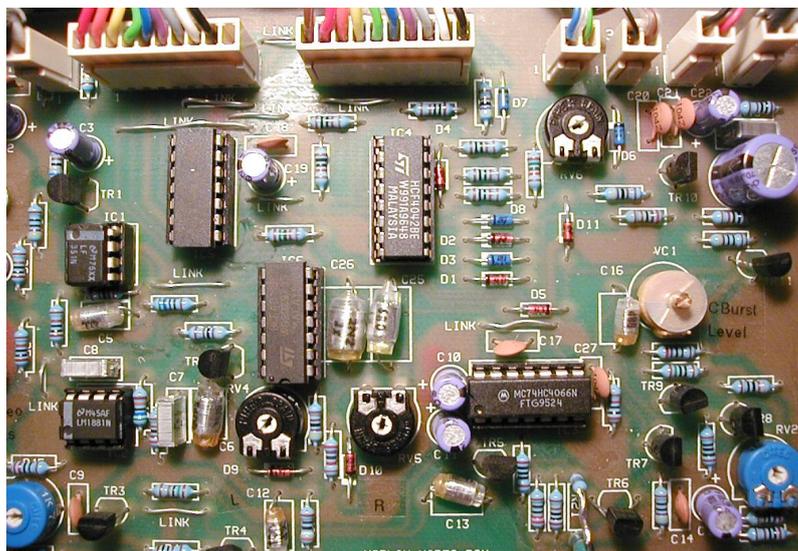


Figura 7: Placas de circuito impresso com componentes tradicionais e com SMD.

3. LAYERS E VIAS

A técnica de projeto de circuitos impressos evoluiu consideravelmente nos últimos anos e os circuitos atingiram um elevado grau de complexidade. Como resultado das pequenas dimensões dos SMDs, surgiu a necessidade de se projetar placas com trilhas em camadas intermediárias, além das trilhas normalmente existentes nas faces superior e inferior da placa. Algumas placas chegam a ter trilhas em 16 "camadas", chamadas de **layers**. Por exemplo, um circuito com 4 **layers** significa que a placa de circuito impresso possui trilhas nas faces superior e inferior e também duas camadas metálicas intermediárias, onde igualmente existem trilhas gravadas. Geralmente os **layers** intermediários são usados para a alimentação elétrica dos componentes; outros projetos usam **layers** intermediários ligados ao "terra" do circuito, para controle da emissão de ruído eletromagnético, funcionando nesse caso como "plano de terra".

As trilhas existentes nas diferentes camadas são interligadas através de orifícios cuja superfície interna recebe um revestimento metálico, através de um processo eletroquímico. Estes orifícios metalizados são chamados de **vias**. Nos projetos que empregam exclusivamente SMDs, as **vias** servem unicamente como meio de interligação entre **layers**; se forem usados componentes tradicionais com terminais na forma de fios, os orifícios de **vias** podem ser usados também para a fixação e soldagem desses terminais.

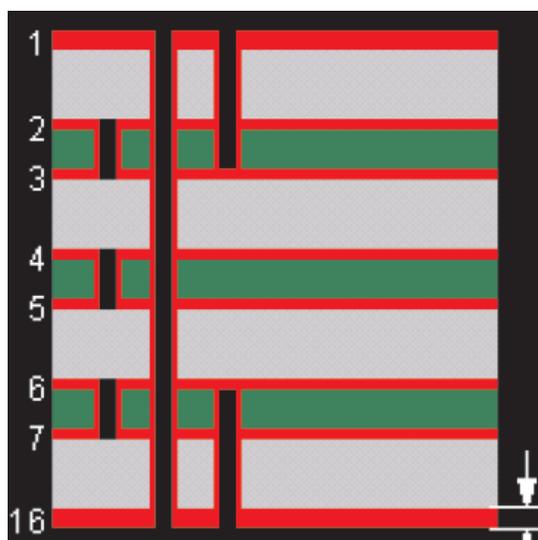


Figura 8: Esquema representando uma placa de circuito impresso (PCI) com 16 **layers**. Observar que existem **vias** que interligam as faces externas bem como **vias** que apenas interligam **layers** intermediários.

4. PADRONIZAÇÃO DAS DIMENSÕES DOS COMPONENTES ELETRÔNICOS

Com a evolução dos circuitos eletrônicos e a necessidade de automação no processo de montagem de placas de circuito impresso, tornou-se mandatório padronizar os componentes eletrônicos. Em projetos de PCI a unidade de medida empregada é a **polegada (inch)**, equivalente a 2,54 cm. Geralmente os componentes eletrônicos têm suas dimensões estabelecidas em **mil**, que significa **um milésimo de polegada**. Para se ter uma idéia da grandeza dessa unidade, padronizou-se que a distância entre dois pinos laterais de qualquer circuito integrado, no encapsulamento conhecido como *dual in line* (DIP) é de **0,1 inch**, ou **100 mils**.

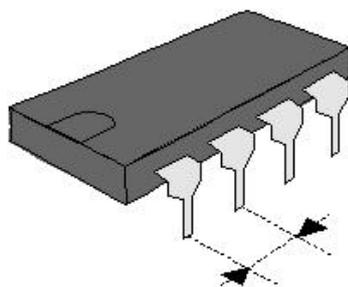


Figura 9: A distância padronizada entre os pinos contíguos de um circuito integrado DIL é de **0,1 inch** ou **100 mils**.

A distância entre as duas fileiras de pinos de um circuito integrado DIL varia um pouco. Os CIs com poucos pinos (exemplos: 555 com 8 pinos, 74LS00 com 14 pinos, 74LS373 com 20 pinos) apresentam a distância de **0,3 inch** ou **300 mils** entre as fileiras. Já chips com maior número de pinos (exemplos: memórias EPROM 27C64 com 28 pinos, RAM 62256 com 28 pinos, microprocessadores Z80 e 80C31 com 40 pinos) apresentam largura de **0,6 inch** ou **600 mils**.

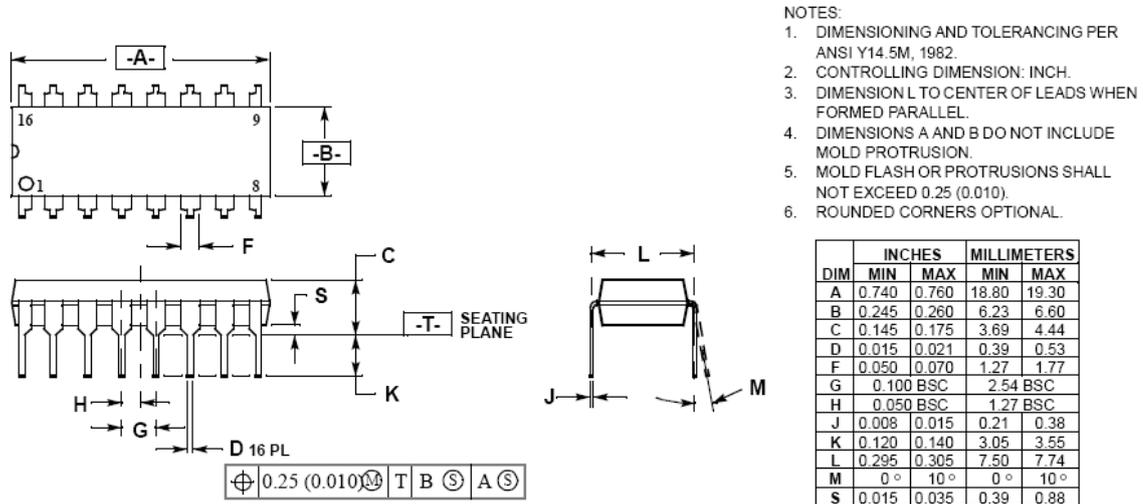


Figura 10: Exemplo de dimensões de um circuito integrado com encapsulamento DIL16, padrão **300 mils**.

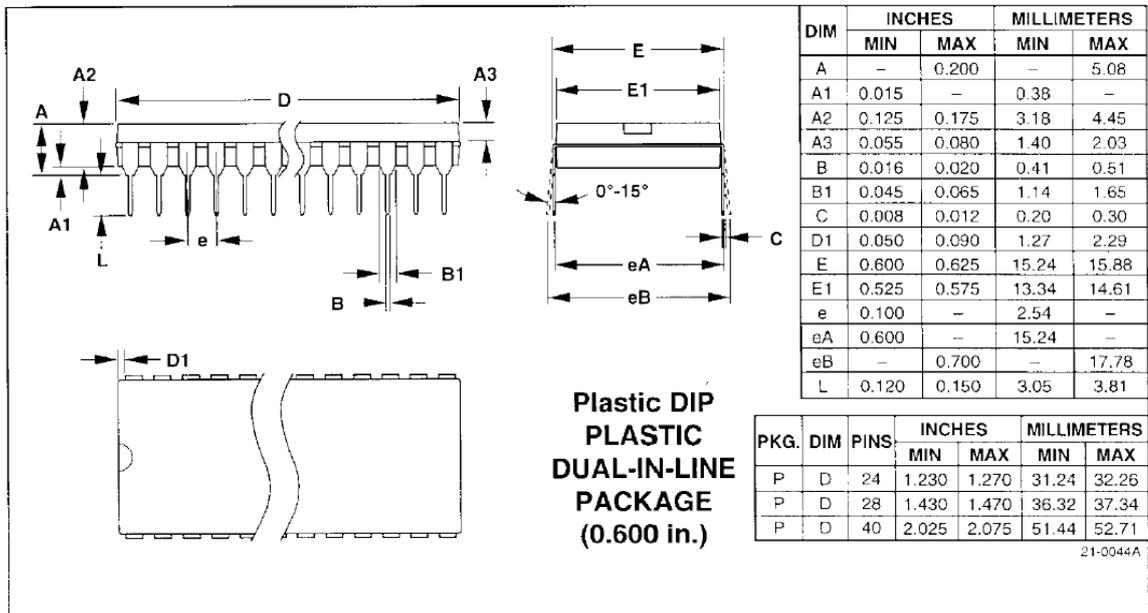


Figura 11: Exemplo de dimensões de um circuito integrado com encapsulamento DIL40, padrão **600 mils**.

Deixando de lado placas com SMDs, os resistores mais comuns em PCI são os de 1/8 W. Na montagem, seus terminais são dobrados e o excesso do comprimento dos terminais é cortado. Em montagens caseiras, os terminais são dobrados à mão ou com a ajuda de um alicate de bico, o componente é soldado à placa e somente depois é que o excesso do comprimento dos terminais é cortado. Em montagens industriais o componente é dobrado e o excesso cortado por uma máquina que possui um padrão de distância esperado entre os pontos de solda. Essa distância é padronizada em **300 mils (0,3 inch)** para resistores de 1/8 W, porém se a montagem for feita manualmente é conveniente usar um espaçamento de **400 mils (0,4 inch)** ou mesmo **500 mils (0,5 inch)**, o que facilitará a soldagem do resistor.

Quanto a capacitores, existem em vários tipos e numa gama ampla de dimensões. Os modelos mais comuns são conhecidos pelo tipo de dielétrico utilizado, cerâmico ou poliéster. Capacitores cerâmicos geralmente apresentam pequenas capacitâncias, na ordem de **pF**. Estes capacitores têm, em geral, uma distância de **200 mils** ou **0,2 inch** entre os terminais. Capacitores de poliéster são produzidos com valores médios de capacitância, da ordem de **nF** e possuem distância usual entre de **200 mils (0,2 inch)** ou **300 mils (0,3 inch)** entre os terminais. Capacitores eletrolíticos são produzidos com valores grandes de capacitâncias, acima de 1 μF até alguns mF. Estes componentes são polarizados e se apresentam em uma gama muito grande de dimensões e distância entre os terminais. Existem capacitores eletrolíticos chamados **axiais**, que se destinam a serem montados "deitados" na PCI; outros, onde ambos os terminais estão no mesmo lado, são chamados **radiais** e destinam-se a ser montados "em pé" na PCI.

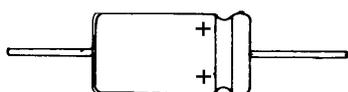


Figura 12: Capacitor Eletrolítico com terminais axiais.

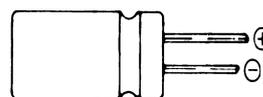


Figura 13: Capacitor Eletrolítico com montagem unilateral, terminais radiais ou paralelos

5. PROJETO DE CIRCUITOS IMPRESSOS

Durante muitos anos o projeto de PCI era feito manualmente, em um trabalho que envolvia muita paciência e requeria uma excelente noção de espaço tridimensional do projetista. Geralmente o trabalho iniciava-se fazendo a distribuição dos componentes em um desenho com as dimensões da placa desejada. Em seguida, usando lápis e borracha, o projetista começava a tentar estabelecer o melhor caminho para as trilhas, usando como base um papel onde estava traçado um gradeado (ou **grid**) de **0,1 inch**. Como esta é a unidade padronizada para a distância entre os terminais dos componentes eletrônicos, tornava-se conveniente já colocar os componentes em um **grid** com essa dimensão. A Figura 14 mostra alguns componentes eletrônicos desenhados em um papel com um **grid** de **0,1 inch x 0,1 inch**.

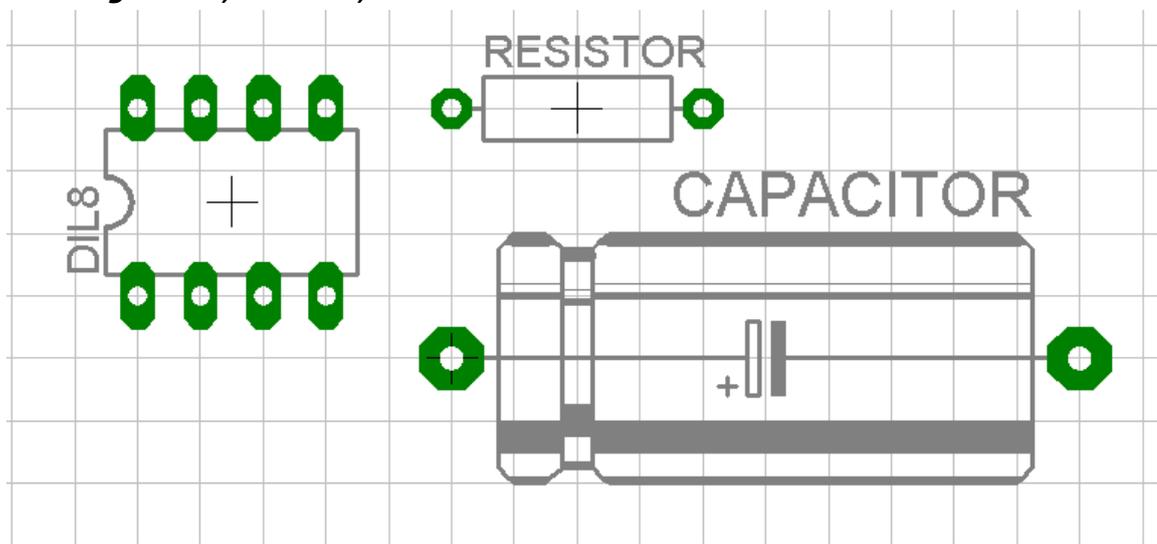
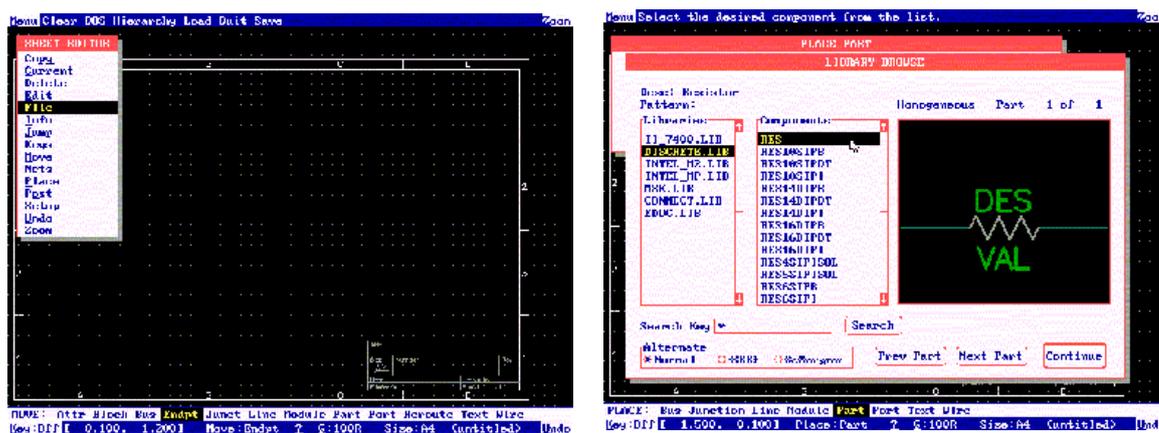


Figura 14: A utilização de um **grid** de **0,1 inch x 0,1 inch** facilita o desenho da PCI, pois os componentes eletrônicos usam esta dimensão como base.

Com o aumento da complexidade dos circuitos eletrônicos, o projeto manual de PCI tornou-se cada vez mais um trabalho de esforço extremo e sujeito a erros. O primeiro **software** para auxílio nessa tarefa que teve grande aceitação pelos projetistas foi o TANGO, mostrado nas Figuras 15 e 16 em sua versão para DOS.



Figuras 15 e 16: Aspecto do TANGO, versão DOS, de um *software* que teve grande aceitação entre os projetistas de PCI.

Apesar do TANGO em sua versão DOS estar tecnicamente superado em favor de diversos outros programas surgidos posteriormente, é interessante observar que grande parte dos conceitos embutidos nesse programa se constitui em padrões ainda seguidos atualmente. Por exemplo, o TANGO introduziu a idéia de se usar “bibliotecas” (*Libraries*), que nada mais são do que um conjunto de desenhos pré-definidos de alguns componentes. A vantagem desse enfoque é que, com a evolução da eletrônica, o *software* pode facilmente ser adaptado, acrescentando-se novas “bibliotecas” à medida que novos componentes são lançados. Esta característica acaba sendo algo extremamente importante sob o ponto de vista econômico, pois as ferramentas de *software* para projeto de PCI tem custo de licença elevados. Também o TANGO foi responsável pela introdução das primeiras ferramentas de **roteamento automático**; ou seja, os programas traçam as trilhas da PCI para o usuário, usando algoritmos de tentativa e erro.

Mesmo sendo evidente que as ferramentas de *software* especializadas em projeto de PCI vieram a facilitar o trabalho dos projetistas, algumas tarefas “tradicionais” continuam sendo necessárias:

- Definir as dimensões da PCI, bem como restrições que possam existir em alguns locais específicos da placa. Por exemplo, podem ser necessários orifícios para fixar componentes, ou ser necessário ter um conector numa posição determinada para ligar um cabo ou outra placa.
- Verificar as dimensões dos componentes eletrônicos que serão utilizados. No caso de circuitos integrados e transistores as dimensões são padronizadas e geralmente podem-se tomar como base os desenhos existentes nos *data sheets*. No entanto as dimensões de capacitores, indutores, chaves, *displays* e outros tipos de componentes necessitam ser verificadas, pois variam entre diferentes fabricantes. Muitas vezes é conveniente ter amostras dos componentes em mãos e medir as distâncias entre os terminais com um paquímetro.
- Verificar condições especiais do circuito, tais como tensões ou correntes muito altas, que vão requerer cuidados no espaçamento entre trilhas ou trilhas de largura maior que o usual.
- Sempre que possível, consultar o fabricante ou potenciais fabricantes da futura PCI, quanto a restrições de largura mínima de trilhas, espaçamento entre trilhas, diâmetros de furos e outros detalhes construtivos. Por exemplo, supondo-se que se solicita ao fabricante um furo com certo diâmetro fora do comum, isso pode representar um custo a mais para a fabricação da placa. O conjunto desses dados é o que se chama de **regras de projeto** (*design rules*), necessários para se obter um resultado conforme esperado.

3 FABRICAÇÃO DE PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

Para os Fazedores que estão se aventurando em projetos eletrônicos, a primeira placa de circuito impresso é praticamente um ritual de passagem. Os primeiros projetos, mais simples, podem ser improvisados com fios, garrinhas jacaré, protoboards e pontes de terminais. O importante é fazer e qualquer gambiarra é permitida! Em algum momento entretanto, inevitavelmente vamos tentar um projeto mais elaborado, uma instalação permanente ou um projeto que precisa ser mais compacto. Para os Fazedores que estão nesta situação, apresentamos aqui algumas dicas de como fazer sua primeira PCB em casa! Este material foi adaptado do site Fazedores.com¹.

OBJETIVOS

- Apresentar as várias técnicas de montagem antes de introduzir a técnica de fabricação de circuitos impressos;
- Fornecer os passos básicos para a fabricação de circuitos impressos.

3.1 Fabricação de Placas de Circuito Impressos

Introdução

As placas de circuito impresso, ou PCBs, são feitas a partir de uma base não condutiva, como fenolite ou fibra de vidro e cobertas por uma camada de cobre, que é um excelente condutor. Durante a preparação da placa, todo o cobre, exceto aquele que fará as conexões dos componentes, é retirado. Ou seja, é um processo subtrativo.

De maneira resumida o projeto da placa é desenhado sobre a camada de cobre usando uma substância resistente. Isto pode ser feito com uma caneta especial, através da transferência de algum material resistente para a placa ou até com a utilização de um processo fotográfico que “imprime” na placa o desenho do que deve ser preservado no processo de corrosão. A placa, já com a máscara aplicada, é mergulhada então em um banho em uma substância corrosiva que irá corroer o cobre não protegido e deixar apenas as áreas cobertas. As áreas protegidas não são afetadas, deixando as trilhas necessárias na placa. Depois é só lavar remover a camada de proteção que ficou sobre o cobre, lavar, furar e usar!

3.2 Passo a passo : como fazer placas de circuito impresso

Neste guia vamos focar no processo mais manual possível, pois ele é o que possui menos requisitos e pode ser feito por qualquer pessoa. Neste caso o desenho do diagrama na placa será feito manualmente com uma caneta apropriada.

3.3 Material Utilizado

Antes de começar é fundamental ter todo o material que você irá precisar para o processo. Materiais necessários para fazer placas de circuito impresso.

1. Placa de circuito impresso virgem: ela deve estar cortada no tamanho necessário para seu projeto. Sua placa pode ser de fenolite ou fibra de

vidro e você encontra isto em quase toda loja de componentes eletrônicos. Se a placa vier em tamanho maior do que você precisa, você poderá cortá-la facilmente com uma miniretífica, com um cortado de placas ou com o um prego bem afiado, mas tenha um pouco de paciência para garantir que tudo saia bem.

2. Diagrama de seu projeto: O ideal é fazer o diagrama da placa em algum *software* próprio. Depois que você fizer seu diagrama imprima ele em papel. Mas lembre-se de que você deve imprimir espelhado, já que normalmente os softwares de design oferecem uma visão de cima da placa, e você irá desenhar a parte de baixo. Também é bom imprimir uma versão sem espelhar com o desenho dos componentes para te guiar durante a montagem.
3. Solução de Percloroeto de Ferro: esta é a solução que você usará no processo de corrosão. Você pode comprar a solução pronta ou o percloroeto em sua forma sólida e aí dissolvê-lo em água. Mas **CUIDADO**, deixe o percloroeto sempre bem guardado em um vasilhame que possa ser hermeticamente fechado e que não seja metálico. E mais cuidado ainda para não deixar o percloroeto entrar em contato com os móveis de sua casa ou com objetos de metal, onde ele encostar o estrago é garantido.
4. Perfurador de placa: uma das tarefas mais monótonas ao montar sua placa de circuito impresso é justamente perfurar as vias para a inserção dos componentes. Uma das melhores maneiras de fazer isto em sua casa é com um perfurador manual que parece um grampeador de papel. Você também pode usar a miniretífica com uma broca bem fininha e até uma furadeira, mas acho que o furador manual é MUITO mais prático (além de bem mais barato). Caneta para circuito impresso: você precisa de uma caneta com tinta resistente ao processo de corrosão para desenhar seu diagrama na placa. Existem canetas que são vendidas especialmente para este fim, mas a boa notícia é que marcadores permanentes como o Sharpie e canetas para retroprojektor também funcionam perfeitamente. No meu caso uso as Sharpies.
5. Régua e cortador de placa: estes dois equipamentos serão utilizados para você deixar sua placa no tamanho necessário para seu projeto. A régua nada mais é que um pedaço de metal que você pode usar para guiar o cortado sobre a placa. Em alguns casos a régua possui dois pedaços de metal e um parafuso com borboleta para que ela fique fixa na placa. Se o seu não tiver isto, não tem problema, mas você precisará segurar bem firme a régua sobre a placa. O cortador nada mais é que um pino de metal com a ponta bem afiada. Se você não conseguir um, pode obter o mesmo efeito com um prego grande com a ponta afiada numa lixó ou com a miniretífica.

Além destes materiais básicos, pode ser bom ter alguns outros a sua mão como por exemplo:

Lixa de papel: uma lixa de papel bem fininha pode ser bem útil para dar um acabamento final na placa e até para remover qualquer irregularidade não desejada. Algumas vezes depois de fazer a perfuração você pode ficar com algumas limalhas de cobre nas vias (buracos) e que devem ser retiradas para evitar dificuldades na inserção dos componentes e na solda. De preferência para uma lixa bem fina (com grãos bem pequenos). Uma haste de metal bem fina: ela pode ser usada para dar uma alargadinha nos furo quando eles forem muito pequenos para os terminais dos componentes. Eu uso uma daquelas que vem no kit de ferramentas para soldagem.

Nas lojas de material para eletrônica você também pode comprar um kit completo para placas de circuito impresso. Existem vários modelos de kit para a confecção de placas, mas o mais básico (como na Fig. 16) já é suficientes para sua primeira placa.



Fig. 16 Kit para fabricação de PCI vendido no comércio local.

3.4 Recomendações importantes de segurança!

- Evite fazer isto em ambientes fechados ou com pouca ventilação. O cheiro do percloro é forte, os vapores são tóxicos e ele mancha toda e qualquer superfície que tocar!
- SEMPRE misture o pó na água - aos poucos - e nunca o contrário.
- Se prepare antes de começar. Limpe e organize a bancada e forre com jornal ou papelão para evitar acidentes.
- Use sempre luvas e retire anéis e colares antes do trabalho. Prenda o cabelo, se for comprido, e não use roupas largas.
- Quando lidar com placas de fibra de vidro, tome cuidado ao cortá-las ou perfurá-las pois o pó da fibra também é prejudicial à saúde.

3.5 O desenho do diagrama na placa

O processo começa com o desenho do diagrama na placa. Primeiro você deve ter seu diagrama feito, de preferência com o auxílio de algum software de design. O importante aqui são

as dimensões dos componentes, pois se você errar nisto pode ser impossível inserir os componentes na placa. Isto é particularmente importante quando você estiver trabalhando com componentes como CIs e outros que possuam muitos terminais em linha, onde qualquer erro no desenho da placa impedirá de você inserir o componente.

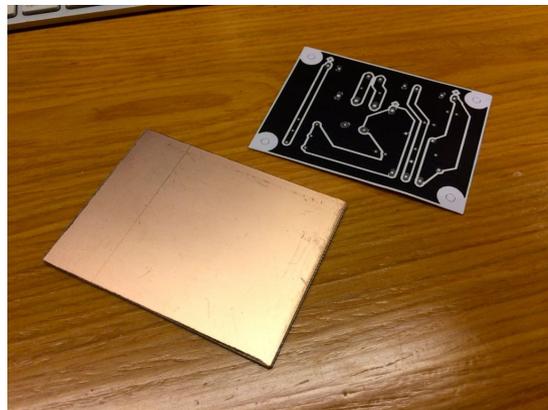


Fig. 17 Placa de circuito impresso virgem com o diagrama da placa a ser montada.

Uma vez com seu diagrama pronto, imprima ele em papel, mas tomando cuidado para que seja uma impressão espelhada. Iremos desenhar o diagrama na parte de baixo da placa, mas os software de design, em geral, oferecem uma visão de cima da placa. Verifique como isto está em seu software e faça a impressão adequada. É fundamental que você imprima em escala 100%, ou seja, o tamanho da impressão é exatamente o tamanho real dos componentes. Assim você não correrá o risco de fazer um placa onde nada se encaixa.

Como iremos fazer o desenho na mão, usando uma caneta, utilizaremos a impressão do diagrama para marcar as vias (buracos onde passam os terminais dos componentes) para guiar nosso desenho. Para isto, coloque o papel com o desenho sobre o lado cobreado da placa, prenda ele com fita adesiva e faça marcações com um prego ou com o cortador de placa em cada um dos buracos. Basta colocar o marcador sobre a placa e dar uma batida nele com um materlino ou até mesmo a sua mão, veja a Fig. 18. Verifique se você não se esqueceu de nenhum buraco e pode retirar o papel da placa.

3.6 Desenhando diagrama em placa de circuito impresso com caneta especial

Se tudo der certo, você poderá ver as marcações com facilidade sobre a placa e, então, estará pronto para começar a desenhar. Tome cuidado para não deixar marcas de dedo ao fazer o desenho pois a gordura de nossas mãos pode prejudicar a corrosão. Agora, seguindo o diagrama que está no papel e usando as marcações que você fez como referência, você pode desenhar o diagrama na placa. Veja a Fig. 19. O desenho das trilhas não precisa ser exatamente o que está no papel, mas você deve garantir que todas as conexões estão presentes e conectando as vias corretas. Sempre verifique se você não

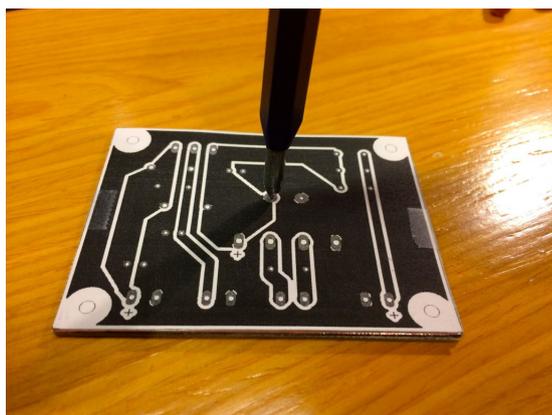


Fig. 18 Marcando as vias para desenho do diagrama de uma placa de circuito impresso.

está deixando trilhas com pouca tinta ou deixando uma trilha ou via encostar em outra (quando elas não são conectadas). Uma boa idéia é fazer algumas marcações indicativas na placa como por exemplo para indicar a polaridade de alguns componentes. Você pode até assinar suas placas. Com o desenho feito, verifique se está tudo de acordo. Percorra trilha por trilha do diagrama no papel e veja se elas estão adequadamente desenhadas na placa.

Espre secar por alguns minutos e agora é hora de fazer a corrosão.

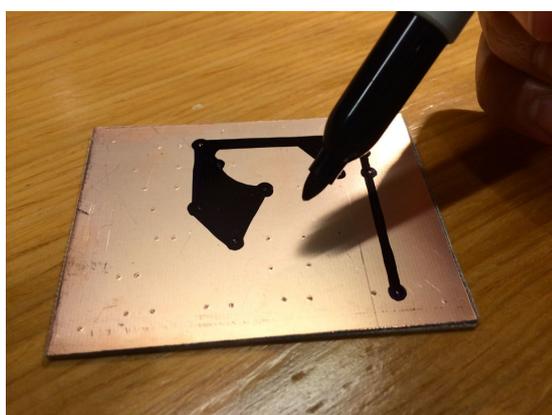


Fig. 19 Desenhando diagrama em placa de circuito impresso com caneta especial.

3.7 Corrosão

Placa de circuito impresso pronta para iniciar corrosão por percloroeto de ferro

Existem várias maneiras de fazer a corrosão da placa, mas vamos tratar da mais comum delas, o Percloroeto de Ferro. Cuidado!!! O percloroeto não é relativamente seguro, mas é tóxico, altamente corrosivo e ácido. Além disto ele mancha tudo que ele toca. Se cair no chão ou em sua bancada, já era, a mancha vai ficar ali por anos.

Ele é vendido de duas formas: ou na forma de cristais

que tem uma coloração marrom avermelhada bem forte ou na forma de uma solução de percloroeto de ferro onde ele já foi diluído em água. Nas duas formas você deve **SEMPRE** armazená-lo em recipientes plásticos e que possam ser bem fechados. Se você comprar ele na forma de cristais, você deverá diluí-lo em água. Faça isto com bastante cuidado utilizando água em temperatura natural e respeitando as instruções de seu fornecedor quanto à quantidade água adequada. Tome cuidado pois o processo de diluição é altamente exotérmico e liberará uma boa quantidade de calor. É comum o recipiente ficar bem quente durante o processo. Neste caso, garanta que o recipiente onde você está fazendo o processo não seja muito fino. Depois de diluído, deixe ele resfriar para utilizá-lo na corrosão. Na realidade o percloroeto funciona melhor quando aquecido, mas em nosso caso seremos conservadores e utilizaremos ele em temperatura ambiente (é mais seguro também).

Como o percloroeto é produto “danado”, o ideal é fazer um pequeno furo na placa e passar uma linha por ali para poder colocar e retirar a placa do vasilhame onde a corrosão irá acontecer. A única coisa que você não pode fazer é utilizar algum instrumento (pinça, alicate, etc) metálico para esta tarefa. Com a solução preparada e com sua placa com o diagrama feito, basta colocá-la no vasilhame com percloroeto. A posição ideal para a corrosão é com o lado do cobre virado para baixo, ou de lado. Assim, a gravidade ajuda a depositar o material que vai sendo retirado da placa. Feito isto, basta esperar que a corrosão aconteça. Veja as Figs. 20 e 21.



Fig. 20 Desenhando diagrama em placa de circuito impresso com caneta especial.

Com a solução nova, o processo não deve levar mais que 15 minutos. À medida em que ela é reusada, demora mais. Quando estiver demorando mais que 40 ou 50 minutos, descarte o líquido e faça uma nova. A melhor maneira de verificar como está o processo é fazendo uma inspeção visual. Você não quer que a corrosão seja incompleta porque você não deixou a placa por tempo suficiente no percloroeto. Mas também não quer que a corrosão seja muito agressiva e prejudique as trilhas porque você deixou a placa por tempos demais no percloroeto. Se a placa ficar muito tempo no recipiente é possível que a tinta protetora vá, aos poucos, saindo e isto fará com que onde não deveria acontecer corrosão também seja atacado. A

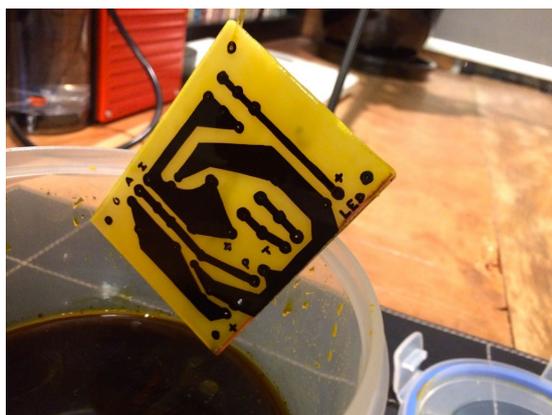


Fig. 21 Placa de circuito impresso com corrosão incompleta.

corrosão estará completa quando todo o cobre que não estava coberto pela tinta protetora tiver sido removido.

Com a corrosão completa, remova a placa do recipiente e lave-a com água. Você pode deixar um segundo recipiente cheio de água preparado para isto. Depois de passar a placa na água para remover todo percloroeto restante, você pode seguir em frente e limpar a tinta que ficou sobre o cobre restante. Para remover a tinta use algum solvente como acetona ou removedor de esmaltes. Ela sairá rapidamente e deixará exposto. Se você julgar necessário poderá lavar a placa com sabão e uma bucha (daquelas de espuma plástica) para deixá-la bem limpa. Enxague a placa novamente com água e seque-a com papel toalha ou um paninho.

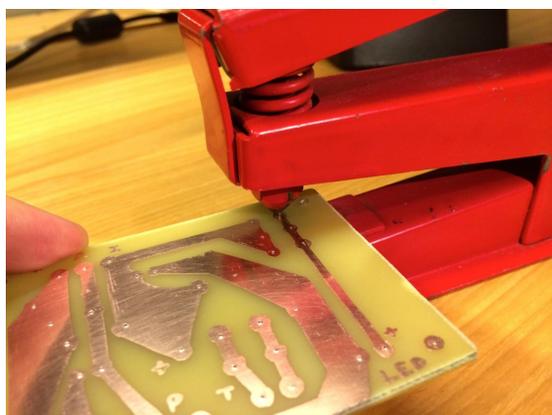


Fig. 22 Placa de circuito impresso após remoção da tinta.

3.8 Perfuração

Sua placa de circuito impresso já está quase pronta para receber os componentes. Mas antes você precisa fazer os furos em todas as vias da placa. Para isto utilize o perfurador manual e com cuidado faça cada um dos furos. Tente fazer com que os furos sejam feitos no centro das vias, em cima das marcações que você fez no começo do processo. Veja a Fig. 23

Com todos os furos prontos, verifique se eles estão adequados para receber seus componentes e, se for preciso, utilize

uma pequena haste de metal para alargar os furos que tiverem muito pequenos. Se perceber que a perfuração deixou alguma rebarba de cobre, utilize a lixa fina para remover.

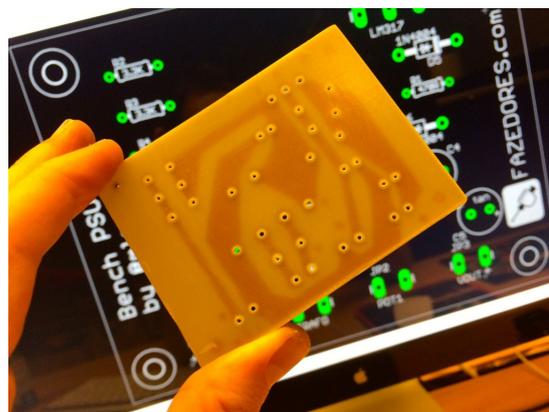


Fig. 23 Placa de circuito impresso devidamente perfurada.

3.9 Montando seu projeto

Antes de colocar seus componentes e soldá-los, é bom limpar a placa para que ela fique livre de qualquer sujeira que possa prejudicar o processo. Para isto limpe a placa com água e sabão utilizando uma bucha plástica. Mas depois de limpar, seque bem a placa para que a água não atrapalhe o processo. Agora é só seguir o projeto de sua placa, inserir os componentes e fazer a solda. Para isto é recomendável que utilize um suporte para a placa durante a soldagem.

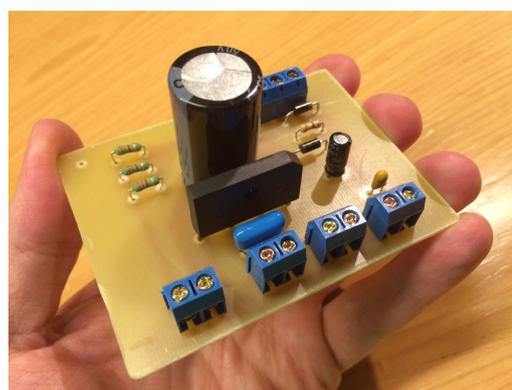


Fig. 24 Placa de circuito impresso devidamente perfurada.

Referências

- 1 <http://blog.fazedores.com/como-fazer-suas-proprias-pcb-placas-de-circuito-impresso/>

4 Alguns Programas para Desenho de Esquemas Eletrônicos

Fabricar uma placa de circuito impresso não é uma tarefa difícil nem complicada. O desenho pode ser feito usando uma simples caneta de tinta permanente e depois a placa pode ser posta para ser corroída. No entanto, quando se deseja um circuito com acabamento e reprodutibilidade profissionais, será necessário fazer uso de um *software* dedicado a esta tarefa. Este é o assunto deste capítulo. Este material foi adaptado de um artigo da revista Nova Eletrônica¹ e da TechTudo ??.

OBJETIVOS

- Apresentar um panorama geral dos *softwares* e aplicativos disponíveis no mercado para a confecção de placas de circuito impresso.
- Apresentar uma alternativa de fácil manuseio, online e gratuita para ser utilizada no laboratório.

4.1 “Softwares” de Eletrônica

Introdução

No papel ou no virtual, um componente eletrônico é representado por um símbolo, e os símbolos são utilizados para a representação gráfica dos circuitos que chamamos de esquema. O diagrama ou esquema é usado para mostrar como os circuitos com seus componentes se conectam e são alimentados pela fonte, suas saídas, entradas, etc.

Em geral, as ferramentas usadas para desenhar esquemas de circuitos eletrônicos, que são *online*, usam o navegador como plataforma, para isso tem que ser simples e leves para evitar travamentos. Mesmo assim uma ferramenta *online* pode ser comparado a um software de computador, pois todas as características de um software de computador pode ser implementada no navegador. Abaixo eu selecionei dez programas para desenho de esquemas e circuitos eletrônicos que são grátis e *online*, alguns tem até a opção de simulador, espero que gostem!

4.2 Softwares para fazer esquemas eletrônicos online

Falstad é uma ferramenta de desenho e simulador de circuito eletrônico que é executado no próprio navegador como um *applet* Java Para isso o seu navegador tem que ter um *plugin* específico para *applet* Java, mas se não tiver, ele pedirá que você execute o *download* deste *plugin*. Ele tem um *design* colorido, as cores indicam, por exemplo, um linha de tensão positiva ou negativa, e permite que você construa circuitos simples sem problemas.

EasyEDA Logo ao entrar em sua página se mostra uma grande ferramenta de grande auxílio para qualquer pessoa envolvida em projetos eletrônicos. Ela tem a capacidade de exportar os projetos e resultados de simulação em PNG ou JPG e formatos SVG. Bem completo, mas como os outros existem algumas limitações. Ideal para quem quer usar com *hobby* ou pesquisa.

SchemeIt é uma ferramenta simples e eficiente quando se fala

em desenho de circuitos eletrônicos básicos. É um dos mais completos, oferece suporte para desenho e exporta o circuito eletrônico como uma imagem ou arquivo PDF. Tem opção, que se preferir pode compartilhar o trabalho com outros usuários cadastrados. Produz esquemas quase profissional, mas tem limitações quanto a sua biblioteca de componentes.

DoCircuits O programa além de ser uma plataforma para desenho de esquema eletrônico ele também faz a simulação e análise do circuito. Ele é um dos mais gráficos, o desenho dos componentes são realistas, mas para ter acesso a função *run* e *analyze* (ligar e analisar) tem que estar “logado” no programa. Programa ideal para quem quer fazer circuitos eletrônicos básicos e ver seus resultados.

CircuitLab não é só uma ferramenta para fazer esquemas de circuitos, ele integrou um simulador de circuito, para aprender os conceitos eletrônicos. Ele tem uma interface amigável e oferece uma análise precisa de corrente contínua ou alternada e boa variedade de componentes eletrônicos. Trabalha com o “arrastar-e-soltar” e a ligação dos componentes eletrônicos são feitas com cliques do mouse.

Webtronics é mais uma ferramenta *on-line* gratuita e muito simples para projetar diagramas e esquemas de circuitos. O programa permite você exportar o esquema eletrônico como uma imagem, importar e editar imagens. Ele é bem simples, mas eficiente para pequenos circuitos, também tem a opção de simulador. Pena que tem uma lista de peças limitada.

Electric Circuit Diagram Template é baseado no Google Drive, então para acessar você tem que ter uma conta no google e fazer *login*. Ideal para fazer esquemas compartilháveis de circuitos elétricos e eletrônicos. Faça *login* na sua Conta do Google para salvar sua própria cópia deste modelo. Bem simples e com poucos componentes.

DCACLab é um programa para fazer esquema e simulador circuitos eletrônicos *online*, ele tem um simulador *online* que é capaz de acionar circuitos DC ou AC. Se você é um

estudante e interessados em circuitos elétricos e eletrônicos ou um técnico que quer testar certos circuitos este pode ser o programa que você precisa, com ele você pode compartilhar seus circuitos eletrônicos *online* com seus amigos.

4.3 Outros “Softwares” muito utilizados

EagleCad

O programa Eagle é um programa de desenho de placas de circuito impresso (PCI) . é um programa gratuito (*freeware*) e é relativamente fácil de utilizar, depois de se conhecerem os passos fundamentais. Em primeiro lugar deve desenhar-se o esquema elétrico pretendido (ficheiros de extensão *.sch) e, a partir desse esquema, o programa apresenta uma solução para o desenho das trilhas. O desenho da placa de circuito impresso (PCI ou PCB) é apresentado em ficheiros de extensão *.brd e pode ser impresso para a transferência para a placa. Mais detalhes em³ © <http://www.te1.com.br>

ExpressPCB

O ExpressPCB é um programa gratuito feito para quem precisa projetar circuitos elétricos. A plataforma utilizada para elaboração dos esboços é o CAD, que garante precisão e profissionalismo. Embora apresente visual um tanto arcaico, a organização e multiplicidade de recursos deste aplicativo o torna uma ótima escolha para projetistas

4.4 Eletronisc Workbench⁵

O *software* “Electronics Workbench“, produzido pela empresa canadense Interactive Image Technologies, foi criado em 1995 e tornou-se uma das ferramentas de *software* mais populares entre estudantes, hobbistas e projetistas de circuitos eletrônicos. Conhecido popularmente como EWB, o *software* tinha como principal objetivo servir como ferramenta didática de apoio para ensino de eletricidade básica e eletrônica, trazendo para um ambiente de simulação a mesma representação adotada pela literatura e empregada em projetos didáticos por professores e estudantes.

Em 1999, a empresa canadense “Interactive Image Technologies“ fundiu-se com a companhia holandesa “Ultimate Technology“, mudando o nome da nova companhia para “Electronics Workbench“. Este acontecimento foi um marco, pois o *software* EWB, até então conhecido apenas para o segmento acadêmico de ensino, também evoluiu para versões acadêmicas mais complexas e para versões profissionais, surgindo assim as ferramentas Multisim, para projeto e simulação de circuitos, e UltiBOARD, para projeto e elaboração de placas de circuitos impressos.

No ano de 2005, a “Electronics Workbench“ foi adquirida pela “National Instruments“, tornando-se “National Instruments Electronics Workbench Group“. Desde então, as ferramentas de *software*, agora conhecidas como NI Multisim e NI Ultiboard, contam com uma série de novos recursos que

permitem seu uso avançado em aplicações profissionais, incluindo projeto e simulação de circuitos com microprocessadores, eletrônica de potência, e também a integração com o poderoso *software* NI LabVIEW, a plataforma gráfica de desenvolvimento de aplicações para instrumentação virtual criada pela National Instruments. Este software e seu manual podem ser baixados nesta referência⁴

Multisim Blue⁵

O Multisim é o melhor ambiente avançado de simulação SPICE padrão da indústria. No Brasil e em todo o mundo, o Multisim é utilizado pelos educadores no ensino de teoria eletrônica e pelos engenheiros no projeto e prototipagem em vários segmentos da indústria. Baixe gratuitamente uma versão de avaliação específica para sua área de conhecimento. Possui ambiente unificado para o ensino de eletrônica analógica, digital e de potência. Faça uma conta na National Instruments e aproveite esta ferramenta poderosa, tutoriais e muito exemplos de circuitos.

Circuit Wizard

Uma ferramenta simples para projetar circuitos eletrônicos com ótimo custo-benefício. O Circuit Wizard é um software completo que combina projetos de circuitos, projetos PCB, simulação e manufatura em CAD/CAM.

Para integrar todo processo de design, o circuito Wizard fornece todas as ferramentas para produzir projetos eletrônicos do início ao fim - incluindo testes na tela PCB antes da construção.

Projetos de circuitos - Crie diagramas de circuito rapidamente e facilmente com as ferramentas poderosas de design. Escolha entre um dos 2.000 componentes analógico-digitais, abrangendo todos os dispositivos padrões disponíveis em escola e faculdades.

3D - com componentes - Introduza seus estudantes para o mundo eletrônico com o divertido 3D - estilo de componentes. Eles se parecem como na vida real e são ideais para ajudar as pessoas em um nível básico a dar um salto entre a compreensão diagramas esquemático e circuitos reais.

Simulação de diagrama de circuito - Teste seus diagramas de circuitos na tela com um simulador, oferecendo níveis de precisão, mecanismo de simulação SPICE que significa que você pode projetar com confiança, sabendo que o seu circuito sempre funcionará quando você fazê-los.

Programando com GENIE - Desenvolvimento de programas de microcontroladores GENIE e simulá-los na tela usando fluxogramas ou o BASIC. É fácil de fazer e depois de terminar o teste, você pode baixar seus programas diretamente para um GENIE IC.

Geração de música e efeitos de áudio - Faça com que seus projetos ganhem vida através de adição de música e efeitos de áudio. Circuit Wizard foi construído para suportar toques e compor melodias musicais e também a geração de amostras de som usando microcontroladores Genie. Você ainda pode gravar e reproduzir sua própria voz!

Kits e placas de Modelagem GENIE - Saiba mais sobre os microcontroladores de modelagem kits do Genie na tela ou, alternativamente, *fast track* seus projetos através da adição de uma placa de projeto GENIE ready-to-go.

Projetando PCB's - Crie automaticamente os PCBs para seu diagrama de circuito com um clique de um botão, levando o Circuit Wizard para fazer o trabalho pesado para você. Alternadamente, projetos de PCB's a partir do zero usando ferramentas de desenho com todos os recursos do Circuit Wizard.

Simulação de PCBs - Teste seus PCBs na tela antes de fabricar com simulador PCB. Ao contrário do software do nosso concorrente, Circuit Wizard realmente simula as faixas, blocos, componentes, fios e fonte de alimentação. Isto significa que você pode ter certeza que seu PCB funciona, ele também vai funcionar quando você fizer na vida real.

Instrumentos de teste virtual - Analisar o desempenho de seus PCBs e *breadboards* com gama completa de circuitos de Assistente de instrumentos de teste 'realistas'. Além de ser ótimo para aprender sobre as coisas reais, mas também proporcionar aos alunos um método rápido e fácil de medições de gravação para a sua pasta do projeto.

Suporte CAD/ CAM - O Circuit Wizard fornece suporte para uma variedade de formatos de saída de fabricação comuns para permitir que você faça as placas de circuito que você projetou e simulados na tela.

Para projetos mais específicos, conheça o nosso outro software Proteus, uma ferramenta completa para aprender simulação e prototipagem de circuitos eletrônicos.

Referências

- 1 <http://blog.novaeletronica.com.br/programa-para-criacao-de-placas-de-circuito-impresso-pcb/> Acesso em 10 de julho de 2016.
- 2 <http://www.techtodo.com.br/tudo-sobre/expresspcb.html> Acesso em 01 de agosto de 2016.
- 3 <http://www.te1.com.br/2011/06/download-manual-utilizacao-cad-eagle/#ixzz4HL8LYKH3> Acesso em 14 de agosto de 2016.
- 4 <http://eletrotecnicacacci.blogspot.com.br/2012/09/ewb-512-eletronic-work-bench-simulador.html> Acesso em 14 de agosto de 2016.
- 5 <http://www.ni.com/multisim/benefits/education/> Acesso em 14 de agosto de 2016.

5 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: DIFERENÇA DE POTENCIAL - ddp

Neste experimento faremos a medidas da diferença de potencial (ddp) de algumas pilhas e baterias utilizando os voltímetros analógicos e digitais. Aprenderemos a fazer a escolha da melhor escala de medida e fazer sua leitura. Aproveitaremos os resultados das medidas para fazer a análise estatística do valor mais provável da ddp e como representar este valor.

OBJETIVOS

- Aprender a utilizar o multímetro analógico e digital para medidas de diferença de potencial utilizando pilhas e baterias.
- Coletar dados para trabalhar estatisticamente com medidas elétricas.

5.1 Material Utilizado

1. Pilhas e baterias variadas;
2. 1 Multímetro Analógico;

5.2 INTRODUÇÃO

5.3 Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes e equipamentos;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**
- Observar a escala de medida antes de efetuar qualquer operação.

5.4 Experimento 1: Medida da diferença de potencial (ddp) com voltímetro analógico.

Observação: Sempre que for medir ddp conecte as ponteiros do voltímetro em paralelo ao circuito medido!



Procedimento 1:

1. Selecione a escala adequada no multímetro digital para medir ddp das pilhas (2,5V). Conecte os cabos diretamente nos terminais da pilha.
- 2.

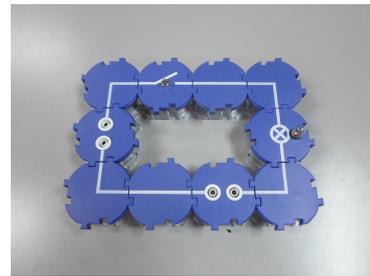


Fig. 25 Medida da ddp em uma pilha.

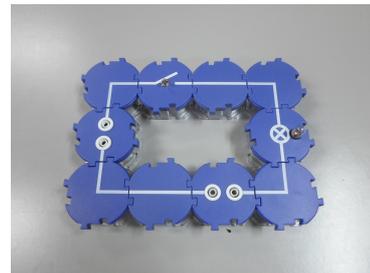


Fig. 26 Medida da ddp em uma bateria.

5.5 Experimento 2: Medida de ddp em baterias

Procedimento 2:

1. Selecione a escala adequada no multímetro digital para medir ddp das baterias (10V). Conecte os cabos diretamente nos terminais da pilha.
2. Monte o circuito da figura 39:
3. Insira os cabos no Multímetro digital e gire o seletor para a escala adequada do voltímetro (20V).
4. Conecte o voltímetro em paralelo com a fonte desligada.
5. Insira os cabos no Multímetro analógico e gire o seletor para a escala adequada do amperímetro (0,25A).
6. Conecte o amperímetro em série com o circuito.

7. Ligue a fonte e acione a chave do circuito para ligá-lo. Gire lentamente o knob da fonte estabelecendo valores inteiros de 0 a 10 V.
8. Anote os valores de d.d.p e os respectivos valores de corrente preenchendo a tabela a seguir.
9. Faça o gráfico de $V \times I$:

V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mA											

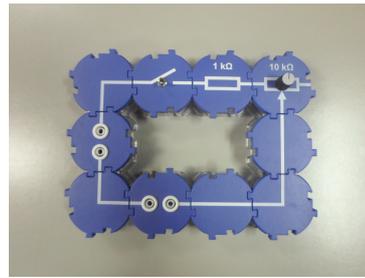


Fig. 27 Circuito utilizado para medir corrente elétrica no resistor equivalente.

5.6 Experimento 3: Medida de corrente elétrica no resistor

Procedimento

1. Troque no circuito da figura 39 a lâmpada pelo resistor de $1k\Omega$.
2. Repita as operações anteriores preenchendo a tabela a seguir e confeccionando o gráfico $V \times I$ para o resistor.

V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mA											

5.7 Experimento 3: Medida de corrente elétrica no potenciômetro

Procedimento

1. Monte o circuito da figura 27:
2. Estabeleça o valor de 10 V na fonte.
3. Com o eixo do potenciômetro na abertura mínima prepare-se para iniciar a rotação do eixo até a abertura máxima.
4. Entre a posição mínima e máxima serão estabelecidos 10 posições intermediárias para medida a corrente elétrica.
5. Para cada ponto medido, desconecte os cabos da fonte e conecte no ohmímetro. Meça a resistência equivalente para cada posição. **OBS: A fonte deverá estar totalmente desconectada do circuito na medição da resistência!**
6. Preencha a tabela a seguir e confeccionando o gráfico $V \times I$ para o resistor.

Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
mA											
Ω											

5.8 Questões

1. Explique porque um voltímetro deve ser inserido em paralelo e o amperímetro deve ser inserido em série no circuito a ser medido?
2. Considerando uma lâmpada incandescente e com base nos gráficos obtidos, em que situação é mais provável a lâmpada queimar? Quando liga ou quando desliga? Explique o porquê.
3. Considerando os resultados obtidos o que determina a corrente que circula em um circuito?
4. Utilize um software científico para construção de gráficos e obtenha pelo método do mínimos quadrados o melhor ajuste. Exemplos: QtiPlot - Gratuito para plataformas LINUX ou Origin - versões pagas para plataforma WINDOWS.
5. O que representa o coeficiente angular da reta nestes gráficos?

6 REVISÃO: FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

Neste experimento faremos alguns experimentos que foram as bases para o desenvolvimento do eletromagnetismo como o experimento de Oested, verificação da lei de Ampère, lei de Faraday e lei de Lenz. Faremos a construção de um galvanômetro e estudaremos o funcionamento dos motores e geradores elétricos. É imprescindível a leitura das sessões de eletromagnetismo, por exemplo o livro do Halliday¹.

OBJETIVOS

- Observar a fenomenologia de alguns dos experimentos básicos do eletromagnetismo¹;
- Estudar os fenômenos e descrevê-los fisicamente fazendo os diagramas de corpo livre;
- Descrever a construção dos aparatos experimentais;
- Construir um galvanômetro, um gerador elétrico e um motor elétrico.

6.1 Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block” para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. Cabos de conexão, 32 A, 250mm, vermelho e azul
2. Fonte de alimentação, 0...12 V DC / 6 V, 12 V AC;
3. Bússola;
4. 1 kit de montagem - Galvanômetro;
5. 1 kit de montagem - Motor elétrico;
6. Equipamento de observação da Lei de Lenz.

6.2 INTRODUÇÃO

6.3 Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes e equipamentos;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**
- Observar a escala de medida antes de efetuar qualquer operação.

6.4 Experimento 1: Experimento de Oested

Procedimento 1

1. Observe os fenômenos e descreva-os fisicamente (Faça também o diagrama de forças).
2. De posse do circuito montado, ajuste a corrente para 1 A.
3. Represente esquematicamente o experimento;
4. Estique e alinhe o fio paralelamente ao eixo magnético terrestre.
5. Posicione a bússola abaixo do fio e ligue o circuito.
6. Afaste gradativamente a bússola do fio.
7. Agora com o fio não esticado faça uma volta, construindo uma espira.
8. Coloque a bússola no centro da espira e ligue o circuito.
9. Dê exemplos de aplicação.
10. Gire o *knob* até atingir o valor máximo. Anote o valor e volte ao zero.
11. Gire lentamente o *knob* fixando valores exatos de 0,0 a 10,0 V.

6.5 Experimento 2: Indução de Faraday

Procedimento 2:

1. Monte o circuito indicado.
2. Observe os fenômenos e descreva-os fisicamente (Faça também o diagrama de forças).
3. Represente esquematicamente o experimento
4. Ligue o circuito à pilha.
5. Inverta a polaridade
6. Troque a pilha por uma bobina e mova o ímã por dentro da bobina mantendo esta fixa.
7. Mantendo agora o ímã fixo, mova a bobina.
8. Verifique o que acontece com o aumento da frequência de oscilação.
9. Dê exemplos de aplicação.

6.6 Experimento 3: Lei de Lenz

Procedimento 3

1. Observe os fenômenos e descreva-os fisicamente (Faça também o diagrama de forças).
2. Represente esquematicamente o experimento
3. Conhecendo a altura de queda, estime o tempo de queda do objeto através dos tubos
4. Meça o tempo de queda nos dois tubos
5. Dê exemplos de aplicação.

6.7 Experimento 4: O motor elétrico

Procedimento 4

1. Observe os fenômenos e descreva-os fisicamente.
2. Monte o circuito indicado
3. Varie lentamente a ddp na fonte
4. Dê exemplos de aplicação.

6.8 Experimento 5: O gerador elétrico

Procedimento 5

1. Observe os fenômenos e descreva-os fisicamente.
2. Monte o circuito indicado
3. Varie lentamente a ddp na fonte
4. Dê exemplos de aplicação.

6.9 Questões

1. Como funciona o galvanômetro?
2. Como funciona um gerador elétrico?
3. Como funciona um motor elétrico?

Referências

- 1 Phywe, *Manual PHYWE de Experimentos de Física Moderna*, Versão 11.10 - 2010.
- 2 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Fundamentos de Física*, Vo I. 4, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.

7 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: RESISTÊNCIA

Neste experimento faremos a medidas resistências elétricas utilizando os ohmímetros analógicos. Aprenderemos como medir, como fazer a escolha da melhor escala de medida e como expressar sua leitura.

OBJETIVOS

- Aprender a utilizar o multímetro para medidas de continuidade e resistência elétrica¹ utilizando circuitos com resistores fixos e variáveis.

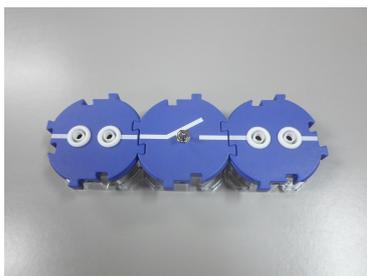


Fig. 28 Circuito utilizado para medir continuidade.

7.1 Material Utilizado

Utilizaremos o "Sistema Building Block para circuitos elétricos e eletrônica, módulo SB, parte 1"(cód. 05600.88) da PHYWE².

1. Módulos conectores com resistores, potenciômetros e lâmpadas incandescentes;
2. Cabos de conexão, 32 A, 250mm, vermelho e azul;
3. 1 Multímetro Analógico 07028.01

7.2 Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**

7.3 Experimento: Medida da continuidade de um circuito elétrico

Observação: Sempre que for medir continuidade de um circuito desligue-o da fonte de energia elétrica!

Procedimento:

1. Monte o circuito da figura 28;
2. Insira os cabos no Multímetro e gire o seletor para medir continuidade.
3. Junte as pontas dos cabos e anote o que aparece no display.
4. Insira os cabos nos conectores do circuito montado. Acione a chave por duas vezes e anote o que acontece.

7.4 Experimento: Medida de resistência fixa

Observação: Sempre que for medir resistência de um circuito desligue-o da fonte de energia elétrica!

Procedimento 1:

1. Monte o circuito da figura 29;

2. Insira os cabos no Multímetro e gire o seletor para a escala adequada de resistência.
3. Junte as pontas dos cabos e anote o que aparece no display.
4. Observando o módulo de conexão, qual o valor nominal do resistor e sua tolerância?
5. Insira os cabos nos conectores do circuito montado. Acione a chave e meça o valor da resistência.

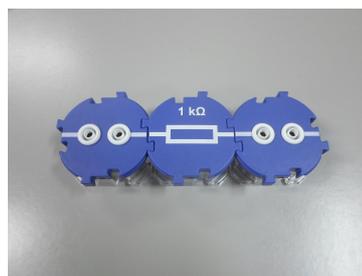


Fig. 29 Módulo utilizado para medir resistência elétrica fixa.

Procedimento 2:

1. Monte o circuito da figura 30;
2. Insira os cabos no Multímetro e gire o seletor para a escala adequada de resistência.
3. Observando a lâmpada fora do receptáculo, qual o seu valor nominal?
4. Insira os cabos nos conectores do circuito montado. Acione a chave e meça o valor da resistência:

7.5 Experimento: Medida de resistência variável

Procedimento:



Fig. 30 Módulo utilizado para medir resistência elétrica da lâmpada.

1. Monte o circuito da figura 31:
2. Insira os cabos no Multímetro e gire o seletor para a escala adequada de resistência.
3. Observando o módulo, qual o valor nominal do potenciômetro?
4. Insira os cabos nos conectores do circuito montado. Acione a chave e meça o valor da resistência para: a) Abertura mínima do eixo. b) Abertura máxima c) Meio da escala. d) 1/4 da escala e e) 3/4 da escala.

7.6 Questões

1. Pesquise na literatura como funciona um ohmímetro.
2. Como funciona um potenciômetro?
3. Qual a geometria da pista condutora de um potenciômetro linear? E de um logarítmico?

RESISTORES DE PAPEL E GRAFITE: ENSINO EXPERIMENTAL DE ELETRICIDADE COM PAPEL E LÁPIS*

João Bernardes da Rocha Filho
Suzana Coelho
Faculdade de Física –PUCRS
Marcos Salami
MCT – PUCRS
Marília Rangel Maciel
Pedro Ubirajara Schrage
Alunos do Colégio Estadual Júlio de Castilhos
Porto Alegre – RS

Resumo

Este artigo apresenta um desenvolvimento realizado na PUCRS, em julho e agosto de 2002, envolvendo a viabilidade da utilização de resistores feitos de grafite depositado sobre papel, para a aprendizagem experimental de eletricidade, especificamente em relação aos conteúdos “resistividade e cálculo de resistência equivalente de associações em série e em paralelo de resistores”. Tal técnica permite ao estudante manipular lúdica e variáveis envolvidas na definição de resistência elétrica, além de criar e modificar livremente associações de resistores, utilizando unicamente um multímetro, papel e lápis, e tem potencial para acelerar seu processo de compreensão e aprendizagem desses conteúdos porque é agradável, simples, barata e promove o engajamento e a livre participação de todos os alunos.

Palavras-chave: *Ensino de Física, experimentação, resistência elétrica.*

I. Introdução

O conceito de resistência elétrica e o procedimento de cálculo de resistência equivalente de associações de resistores não é, tradicionalmente, um conteúdo de Física considerado difícil pelos estudantes do Ensino Médio, talvez porque o nível típico de conhecimentos exigidos nas avaliações inclui, preponderantemente, a aplica-

* Publicado no Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 20, n. 2, ago. 2003.

ção direta de equações. Como a elaboração matemática desse conteúdo pode ser relativamente simples –incluindo apenas soma de frações e um pouco de álgebra– e abordagens descritivas ou qualitativas nem sempre são incluídas como complemento à aplicação de fórmulas, é possível que uma parcela dos estudantes adquira habilidades limitadas à realização mecânica dos cálculos envolvendo resistividade e associações de resistores, sem que ocorra a apropriação da fenomenologia correspondente. Por esse motivo, é imprescindível que as escolas ofereçam oportunidades de aprendizagem experimental, inclusive porque:

“Estudos adicionais sobre habilidades de experimentação mostram que elas se relacionam intimamente com as habilidades de pensamento formal [...] sabemos também que a maioria dos recém-adolescentes e muitos jovens adultos ainda não atingiram a plenitude de sua capacidade de raciocínio formal”. (PADILLA, 1988, p. 165)

Professores atentos à possibilidade de perda de sincronismo entre o conhecimento teórico e o aplicado podem optar, por exemplo, por proporcionar a seus alunos práticas experimentais que enfatizem a descrição qualitativa dos fenômenos, reforçando as relações de interdependência das variáveis resistência, resistividade, comprimento e área de seção reta dos condutores. Mesmo nesses casos, entretanto, o enfoque dado pelo professor às aulas experimentais pode caracterizar-se pela preponderância de práticas envolvendo associação de resistores, em detrimento das relações entre resistência e dimensões do condutor, por razões de ordem pragmática: a facilidade com que podem ser realizadas montagens, empregando simplesmente multímetros e resistores de filme de carbono –muito baratos e disponíveis em todas as cidades brasileiras, seja em lojas especializadas, seja na sucata de aparelhos eletrônicos– e a dificuldade intrínseca em desenvolver experimentos econômicos envolvendo a relação entre a resistência elétrica e as dimensões do condutor.

Embora a experimentação relacionada à associação de resistores usando componentes comerciais seja adequada aos propósitos educacionais, raramente experimentos envolvendo a relação entre resistência elétrica e as dimensões são realizados, porque não é trivial produzir alteração nas variáveis dimensionais de componentes comerciais, nem é prático alterá-las em fios metálicos. Uma proposta de experimentação didática que possa contemplar a criação e a manipulação de resistores, além da medição das resistências elétricas individuais e resultantes de associações pode ser, então, uma técnica útil à implementação de práticas pedagógicas orientadas para a promoção de aprendizagens significativas, preenchendo uma lacuna da didática experimental. O desenvolvimento descrito neste artigo apresenta, justamente, uma opção metodológica que oferece aos professores de Física do Ensino Médio a possibilidade de realizar, tanto experimentos de associação de resistores, quanto experimentos en-

volvendo dimensões e resistência elétrica, utilizando apenas lápis, papel e multímetros comerciais de baixo custo. Ainda que a economia dessa técnica, em relação a procedimentos experimentais que envolvam associação de resistores comerciais, não seja significativa, dado o preço acessível desses componentes, ela pode ser utilizada concomitantemente pelos professores que já dispõem de conjuntos de resistores de filme de carbono, ou resistores de níquel-cromo, pois apresenta pelo menos três vantagens complementares importantes:

a) possui um potencial promissor para despertar o interesse dos alunos e motivar a aprendizagem, pois lhes oferece a prerrogativa de construir seus próprios resistores e associações, de forma lúdica e criativa;

b) envolve medições de resistência elétrica com possibilidade de atuação sobre variáveis dimensionais, que não são realizadas corriqueiramente no Ensino Médio, permitindo uma compreensão experimental da relação entre a geometria do condutor e sua resistência elétrica;

c) permite que o professor de Física desenvolva um trabalho interdisciplinar com os professores de Química, já que a espessura da camada de grafite depositado sobre o papel tem, normalmente, algumas dezenas de nanômetros, sendo constituída por um número relativamente pequeno de átomos, cuja dimensão é alvo de estudos naquela disciplina.

II. Criando e analisando resistores de papel e grafite

Os resistores de papel e grafite descritos neste artigo são construídos simplesmente desenhando-os sobre uma folha comum de caderno. Não são necessários recortes, colagens ou qualquer outra operação além do desenho e da medição. Como se sabe, a grafita é um material condutor, embora sua resistividade seja relativamente elevada quando comparada com a dos metais em geral. Como o grafite do lápis é constituído de grafita processada, um risco feito sobre uma superfície isolante, como o papel, por exemplo, se tiver continuidade elétrica suficiente para que se consiga medir a resistência entre dois pontos, pode ser usado como um resistor experimental, útil em laboratórios didáticos de Física.

Conseguir continuidade elétrica em um único risco, porém, pode ser difícil, em face da flexibilidade e irregularidades do papel, que acabam interrompendo o filme de grafite depositado. Nas avaliações realizadas com os grupos de estudantes e professores descritos no resumo, ficou claro que, embora experimentos satisfatórios possam ser obtidos sem muitos cuidados, os melhores resultados desta técnica não são atingidos com riscos isolados, mas com desenhos de, pelo menos, 2 mm de largura, obtidos com diversos riscos fortes de lápis com grafite mole (tipo 6B), usado em desenho, que produzem linhas bem escuras e brilhantes.

Embora praticamente qualquer trecho desenhado em grafite possa ser usado como um resistor experimental, alguns desenhos típicos são mostrados na Fig. 1, na qual R_a , R_b e R_c são exemplos de desenhos diferentes que podem ser adotados, e foram testados preliminarmente pelos grupos e turmas que nos apoiaram. Cabem aqui algumas considerações sobre a escolha da geometria dos desenhos dos resistores. O resistor R_c representa o desenho tradicional utilizado pela maioria dos livros de Física para representar resistores, assim como por grande parte dos professores no momento de abordarem o respectivo assunto. O R_b é um tipo de resistor de grafite e papel que o aluno não possuidor de muitos conhecimentos sobre o assunto tende a criar, segundo nossa experiência, provavelmente porque se trata de um desenho intuitivo. E o formato do resistor R_a foi escolhido aleatoriamente, sem preocupação prévia com sua geometria, simplesmente porque é um desenho possível. É importante destacar que o professor ou o aluno que desejar utilizar essa técnica está livre para poder investigar qualquer formato para seus resistores que não constem neste trabalho. As possibilidades são delimitadas pela imaginação, e não iremos nos deter na descrição de outros formatos pois, na compreensão dos autores, seria uma tarefa redundante.

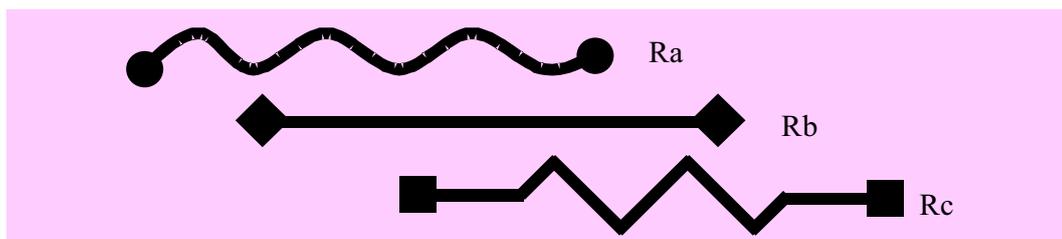


Fig. 1 - Exemplos de desenhos adequados para a aplicação da técnica resistores de papel e grafite.

Os círculos e quadriláteros que foram colocados nas extremidades dos traços dos resistores desenhados, mostrados na Fig. 1, representam um detalhe necessário: têm funções importantes para a realização da experimentação e sua necessidade ficou evidente nos testes preliminares. A ampliação da área de contato do filme de grafite com as ponteiros metálicas do multímetro usado para a medição da resistência elétrica evita que deficiências nesse contato elétrico causem instabilidade na indicação do instrumento. Além disso, os detalhes assinalam precisamente o ponto de medição, garantindo a repetitividade de medições sucessivas da resistência do mesmo resistor desenhado, minimizando a influência da resistência elétrica desses trechos de interligação na resistência final da associação. Essas terminações fazem o papel de elo de ligação do resistor desenhado com o sistema de medição ou com outros resistores. Nos resistores comerciais, estas partes de interligação são metálicas, tendo pouca influência na resistência final daqueles componentes. Como não é interessante usar metais

para unir os resistores desenhados, dado que um aumento de complexidade pode prejudicar a aplicabilidade desse experimento didático, fazer essas conexões mais largas que os próprios resistores garante que sua influência seja pequena.

Portanto, nas associações em série, paralelo e mista, é necessário que os elos de ligação entre os resistores desenhados sejam mais largos que os próprios resistores, de modo a influírem minimamente na resistência equivalente. Assim, exemplos de possíveis associações usando resistores semelhantes aos mostrados anteriormente, são dados nas Fig. 2, 3 e 4. Os grandes retângulos desenhados, unindo as extremidades dos resistores associados nas Fig. 2 e 4, destinam-se a reduzir a resistência elétrica dos trechos de união. As letras X e Y, nessas figuras, assinalam os pontos em que podem ser aplicadas as ponteiros do multímetro, com o objetivo de medir a resistência equivalente da associação. Esses formatos são sugeridos e foram aplicados pelas equipes de professores e estudantes que avaliaram a técnica, e a resistência acrescentada ao circuito pelos retângulos de interligação foi da ordem de 3% da resistência final da associação, sendo desprezível para nossos objetivos educacionais. Os exemplos de associações de resistores, mostrados a seguir, podem ser desenhados no caderno, pelo aluno, e o mesmo pode alterar estas configurações de acordo com suas dúvidas.

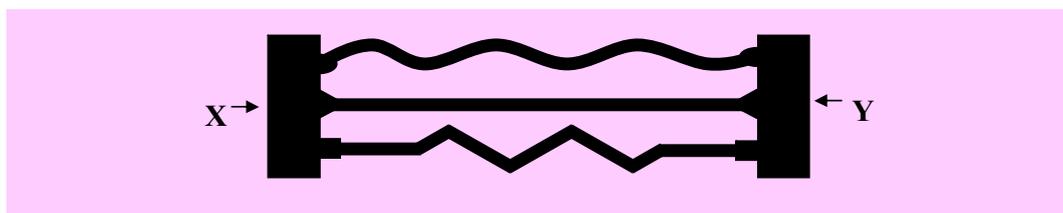


Fig. 2 - Exemplo de associação em paralelo de três resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.



Fig. 3 - Exemplo de associação em série de três resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.

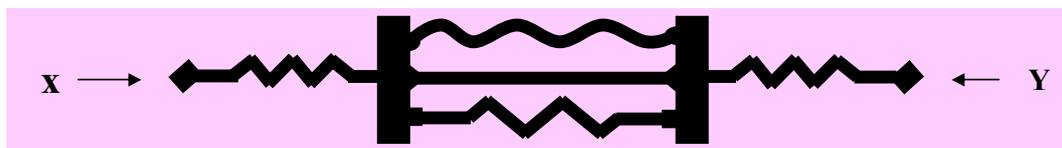


Fig. 4 - Exemplo de associação mista de cinco resistores semelhantes aos mostrados na Fig. 1.

III. Comportamento elétrico dos resistores de papel e grafite

Para testar a aplicabilidade dos resistores desenhados como alternativa aos resistores comerciais, no ensino de Física, foram realizados experimentos visando a verificação da dependência da resistência elétrica com o comprimento do resistor desenhado, assim como testes envolvendo a largura mínima dos traços que poderiam ser usados com segurança para essa técnica ou a correspondência do valor calculado com o valor medido para associações de resistores. Os dados foram recolhidos durante a apresentação da técnica aos graduandos e mestrandos e, principalmente, durante extensos testes realizados pelos auxiliares de pesquisa no Laboratório de Física do MCT/PUCRS.

Traços de 0,5 mm a 2,5 mm de espessura e 12 cm de comprimento foram feitos com grafite 6B sobre folhas de papel milimetrado, e enquanto uma ponteira do multímetro era mantida sobre uma das extremidades do traço a outra ponteira era deslizada sobre seu comprimento; a resistência indicada pelo instrumento era anotada a intervalos de 2 cm, na tabela 1. Esses experimentos produziram uma família de curvas que pode ser vista na Fig. 5, onde se evidencia a dependência entre o comprimento e a resistência elétrica para larguras de traços maiores, e que valores praticamente ideais são obtidos a partir de 2 mm de largura. A dispersão das medidas, apesar de ser muito pequena e apenas perceptível no gráfico do resistor 1, reduz-se com o aumento da largura, o que não prejudica a experimentação pois traços de 2 mm de grafite sobre papel são extremamente simples de serem obtidos.

Tabela 1 – Variação da resistência em função da distância das ponteiros de medição para resistores de papel e grafite retangulares, de 12 cm de comprimento.

Distância entre as ponteiros de medição (cm)	R ₁ largura do traço: 0,5 mm (k Ω)	R ₂ largura do traço: 1,0 mm (k Ω)	R ₃ largura do traço: 1,5 mm (k Ω)	R ₄ Largura do traço: 2,5 mm (k Ω)
2	22,6	4,9	1,8	1,3
4	50,0	9,8	3,5	2,6
6	74,8	14,9	6,1	4,0
8	103,9	19,0	9,1	5,5

10	128,0	26,2	11,4	7,4
12	148,6	33,1	14,6	9,9

Embora o comportamento linear da resistência em função da distância entre ponteiros seja fundamental para o uso didático dos resistores de papel e grafite, outro elemento determinante da aplicabilidade dos resistores desenhados é a concordância entre os valores das resistências calculadas e medidas para associações. Para verificar essa concordância, foram desenhados conjuntos de dois a sete resistores e medidas as suas resistências individuais. Em seguida, eles foram unidos em série e/ou paralelo, e foram feitas medições da resistência total das associações, do mesmo modo mostrado nas Fig. 2, 3 e 4. O resultado disso está sintetizado na tabela 2, que relaciona os valores previstos por cálculo e os que são medidos diretamente para a resistência das associações.

As pequenas divergências entre as duas últimas colunas da tabela 2 devem-se, principalmente, à resistência acrescida à associação pelas ligações entre os resistores desenhados, e podem ser utilizadas como tema de um debate crítico, ao final de uma aula experimental, quando os próprios alunos podem ser levados a discutir e explicar seus resultados. Em uma etapa posterior do processo, o professor pode explorar essas divergências como mais um recurso didático oferecido pela técnica, solicitando aos alunos que meçam as resistências das conexões, e as incluam nos cálculos.

Tabela 2 – Resistências individuais medidas e resistências calculadas e medidas para associações.

Tipo de associação de resistores	R_1 (M Ω)	R_2 (M Ω)	R_3 (M Ω)	R_4 (M Ω)	R_5 (M Ω)	R_6 (M Ω)	R_7 (M Ω)	Resistência equivalente (calculada) (M Ω)	Resistência equivalente (medida) (M Ω)
paralelo $R_1//R_2$	0,21	0,11	---	---	---	---	---	0,07	0,07
paralelo $R_1//R_2$	0,46	0,77	---	---	---	---	---	0,29	0,29
paralelo $R_1//R_2$	0,15	0,07	---	---	---	---	---	0,05	0,05
série R_1+R_2	0,23	0,17	---	---	---	---	---	0,40	0,40
série R_1+R_2	0,11	0,34	---	---	---	---	---	0,45	0,46
série $R_1+R_2+R_3$	0,39	0,54	0,43	---	---	---	---	1,36	1,39
mista $R_1+(R_2//R_4)+R_3$	0,41	0,29	0,34	0,28	---	---	---	0,89	0,92
mista $R_5//(R_3+R_4)/(R_1+R_2)$	0,20	0,34	0,19	0,20	0,32	---	---	0,13	0,13
mista $R_1+(R_2//R_3)+R_4+(R_5//R_6//R_7)$	0,76	0,75	0,57	1,42	0,84	0,60	0,58	2,72	2,75

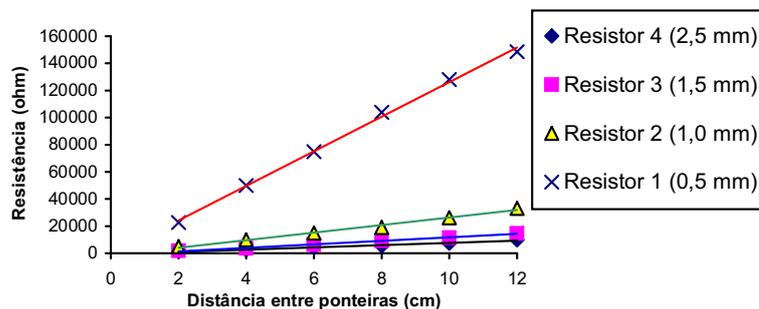


Fig. 5 - Família de curvas mostrando a dependência da Resistência \times Comprimento para resistores desenhados de 12 cm de comprimento e de diferentes larguras.

Foram realizados, também, testes para averiguar se os resistores de papel e grafite apresentavam a dependência inversa esperada entre a resistência e a largura, de forma que pudessem ser utilizados para práticas experimentais que envolvessem a verificação da influência da largura do traço na resistência final. Como se pode avaliar pela tabela 2, comparando a resistência de resistores com larguras diferentes e ponteiras igualmente distanciadas, a relação inversa da resistência com a largura fica melhor caracterizada para resistores mais largos. Os experimentos realizados sugerem que esse fato esteja relacionado à relativa dificuldade em desenhar resistores com larguras pequenas e espessuras constantes e, assim, para experimentos nos quais o professor esteja interessado em explorar a relação entre a largura do resistor e sua resistência elétrica, é aconselhável que utilize desenhos com mais 5 mm de largura. Em experimentos com resistores desenhados de 10 mm e 20 mm de largura e 100 mm de comprimento, foi possível obter concordância melhor que 5 % na relação entre a resistência esperada e a medida.

IV. Conclusões

A técnica resistores de papel e grafite foi desenvolvida com o objetivo de oferecer aos alunos uma prática experimental simples e econômica, eficaz na construção de concepções úteis, que contribua substancialmente para a aprendizagem significativa de alguns conceitos em eletricidade. Para avaliar preliminarmente os efeitos de sua aplicação, a técnica foi apresentada a professores mestrandos do EDUCEM/PUCRS, a alunos de graduação em Física da FAFIS/PUCRS e a estudantes do Ensino Médio, das redes pública e privada de Porto Alegre, que participam de um programa de intercâmbio com o MCT/PUCRS.

Dentro do espírito de tentar melhorar a qualidade do ensino de Física a partir da disseminação de práticas experimentais simples, os resistores de papel e grafite representam uma técnica de baixo custo, lúdica e eficiente como auxiliar do ensino

dos conceitos de resistência elétrica e de associação de resistores. Sua difusão ao maior número possível de professores do Ensino Médio está sendo providenciada por meio deste artigo e de apresentações em seminários e oficinas. Opiniões, sugestões e críticas de colegas interessados no tema serão bem acolhidas.

V. Referências Bibliográficas

PADILLA, M. J. Habilidades processuais em ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5, n. 3, p. 162-167, 1988.

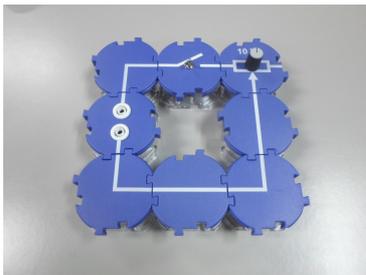


Fig. 31 Módulo utilizado para medir resistência elétrica variável.

8 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: CORRENTE

Neste experimento faremos a medidas da diferença de potencial (ddp) e da corrente elétrica que circula em um componentes eletrônico. Utilizaremos o voltímetro para medir ddp e o galvanômetro para medir a corrente. Depois trocaremos este último por um amperímetro. Aprenderemos a fazer a escolha da melhor escala de medida e fazer sua leitura. Aproveitaremos os resultados das medidas para fazer gráficos e a analisar a curva característica dos componentes eletrônicos estudados.

OBJETIVOS

- Aprender a utilizar o multímetro para medidas de corrente elétrica utilizando circuitos com resistores fixos e variáveis.
- Coletar dados para observar a lei de Ohm através do gráfico $I \times V$ para cada elemento resistivo e classificá-los como elementos resistivos ôhmicos e não ôhmicos¹
- Coletar dados e fazer gráficos das curvas $I \times V$ dos componentes eletrônicos.

Fundamentação Teórica

A valorização de uma quantidade pode ser realizada ou por comparação direta com um padrão, ou por efeitos que esta quantidade possa produzir. Fica explícito então os dois métodos de medidas que comumente denominamos de métodos direto e indireto. Um exemplo de uma medida direta é a determinação do comprimento de uma barra por comparação com uma escala calibrada no sistema métrico, ou mesmo a medida de uma certa diferença de potencial por comparação com uma pilha padrão. Em eletricidade, medidas assim diretas nem sempre são possíveis, tornando-se então necessário medir quantidades por outros meios. Quando uma corrente passa através de um fio, dois efeitos são facilmente notados. O fio fica aquecido, e um campo magnético é estabelecido através de toda a sua extensão. Esses efeitos fornecem métodos pelos quais a corrente pode ser medida. O aquecimento do fio provocará o seu crescimento, de modo que existe uma correspondência entre o comprimento de um fio e a corrente que flui através dele. Chegamos então à conclusão de que poderíamos construir um amperímetro (um medidor de corrente) baseado nesse fenômeno físico. Realmente, no passado, pesquisadores lograram construir medidores de correntes por aquecimento do fio. Entretanto, problemas ligados aos seus mecanismos de funcionamento tornaram esses aparelhos inoperantes.

Conceitos Físicos

Quando começamos a trabalhar no campo das medidas elétricas, é importante rever os conceitos da eletrostática e da eletricidade elementar. Esses conceitos são indispensáveis para dar um entendimento mais profundo das próprias quantidades e da aplicação dos vários princípios da eletrostática a certos tipos de instrumentos de medida. Portanto é extremamente desejável que o estudante faça uma revisão detalhada da disciplina Física Geral III na referência¹.

Condução Elétrica nos Metais

Nos átomos de um metal os elétrons da última camada estão fracamente ligados aos seus núcleos. Por isso, estes elétrons podem se deslocar quase que livremente de um átomo a outro. A condução elétrica nos metais é devida a estes elétrons livres. O número de elétrons livres é aproximadamente constante e pode ser verificar que quase não depende da temperatura. A uma dada temperatura, a nuvem eletrônica (elétrons livres) está submetida a um movimento térmico aleatório (movimento Browniano, velocidade média dos elétrons igual a zero). Quando se aplica uma diferença de potencial em um condutor aparece, além da agitação térmica aleatória, um movimento de deriva global dos elétrons livres, ou seja, uma corrente percorre o condutor. Essa corrente depende, essencialmente, do número de elétrons livres e da velocidade de deriva (a velocidade de deriva é definida como a velocidade média dos elétrons e, neste caso, é diferente de zero). A agitação térmica dos elétrons aumenta com a temperatura. Isso traz uma consequência imediata.

O crescimento do movimento aleatório cria dificuldade ao movimento de deriva global, o que implica numa velocidade de deriva menor. Assim, para uma ddp fixa, quando a temperatura cresce, a corrente elétrica diminui. Em outras palavras, podemos dizer que: para um condutor metálico, a resistência elétrica é uma função crescente da temperatura.

Condução Elétrica nos semicondutores

Em um semicondutor puro os elétrons da última camada estão fortemente ligados aos seus núcleos. Assim, não existe, como nos condutores metálicos, uma nuvem eletrônica livre para participar do processo de condução elétrica. Para que um semicondutor passe a conduzir deve ser a ele cedida uma quantidade de energia suficiente para romper as ligações covalentes de alguns elétrons. Esta energia pode ser fornecida ao semicondutor através de calor: Assim, quando se aquece um semicondutor, elétrons antes fortemente ligados aos seus núcleos se liberam e podem participar da condução elétrica. O número de elétrons que são liberados por aquecimento é normalmente pequeno (1 em 105 elétrons) de maneira que não podemos falar em movimento aleatório dos mesmos. Dessa maneira, quando se aplica uma diferença de potencial fixa a um semicondutor e se aquece o mesmo, elétrons são liberados para conduzir e assim ocorre um aumento na corrente elétrica. Dito de maneira diferente: para um semicondutor a resistência elétrica é função decrescente da temperatura.

Coefficiente de Temperatura

Uma vez que a resistência R de um condutor qualquer varia com a temperatura T , podemos escrever:

$$R = R(T). \quad (1)$$

Surge agora uma questão. Se o resistor sofre uma variação de temperatura, de quando ele muda a sua resistência? Ou melhor, qual o coeficiente de temperatura do resistor? Vamos fazer esse estudo desenvolvendo $R(T)$ em uma série de Taylor ao redor da temperatura arbitrária T_0 , e limitando a expansão ao segundo termo, teremos:

$$R(T) = R(T_0) + \frac{dR}{dT}(T - T_0) + \frac{d^2R}{dT^2}(T - T_0)^2, \quad (2)$$

considerando $T_0 = 0^\circ\text{C}$ e reescrevendo os termos para a temperatura ambiente, teremos:

$$R(T_{amb}) = R(T_0)[1 + \alpha(T_{amb}) + \beta(T_{amb})^2], \quad (3)$$

onde T_{amb} é a temperatura ambiente, R_0 é a resistência elétrica a 0°C , α e β são coeficientes determinados pelos elementos constituintes do material.

Se o condutor é um metal, α é positivo pois R aumenta com a temperatura. No caso dos semicondutores e do carbono, α é negativo pois R diminui com a temperatura. Para o Tungstênio: $\alpha = 4,82 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ e $\beta = 6,76 \times 10^{-7} \text{K}^{-2}$.

A resistência R_0 pode ser calculada usando a relação:

$$R_0 = \frac{R(T_{amb})}{1 + \alpha T_{amb} + \beta T_{amb}^2}. \quad (4)$$

Resolvendo a equação (4) explicitando T, teremos:

$$T = 273 + \frac{1}{2\beta} \left[\alpha^2 + 4\beta \left(\frac{R(V,i)}{R_0} \right) - 1 - \alpha \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

onde $R(V,i)$ é o valor da resistência medida através da curva característica do material.

O comportamento elétrico de um elemento de circuito pode ser representado pela equação de estado que liga a ddp, à qual é submetido o elemento e à corrente I que o atravessa: $R(V)$. Este comportamento pode ser também representado pela curva $I \times V$, que se chama curva característica do elemento. Um elemento ôhmico, Fig. 32 - a), apresenta uma relação linear simples entre V e I. Já a Fig. 32 - b) representa a relação não linear de um elemento não ôhmico. Logo os elementos de circuito são caracterizados com ôhmicos ou não ôhmicos de acordo com sua curva $V \times I$.

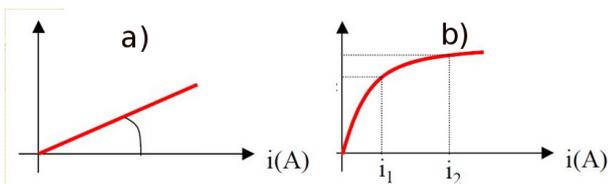


Fig. 32 A linearidade da curva $I \times V$ representada no gráfico a) mostra o comportamento de um resistor ôhmico. A não linearidade apresentada na curva do gráfico b) mostra o comportamento de um resistor não ôhmico.

A lei de Ohm

A corrente total que flui em um dado circuito é determinada pela resistência do circuito tanto como pela fonte de força eletromotriz. Esta proporcionalidade entre a corrente que atravessa um fio condutor e a ddp aplicada aos terminais do mesmo define a chamada lei de Ohm que escrita na forma matemática é:

$$V = Ri, \quad (6)$$

onde V é a ddp em unidades de volt, i é a corrente em unidades de ampere e R é a resistência dada em ohm (Ω). Esta é usada para definir a unidade de resistência elétrica.

Como definição para a unidade de resistência: O ohm é a resistência elétrica que existe entre dois pontos de um condutor quando uma diferença de potencial constante de 1 volt, aplicada entre esses dois pontos, produz, nesse condutor, uma corrente de 1 ampère, não tendo esse condutor nenhuma força eletromotriz².

No entanto, a taxa com que a energia é transferida da fonte eletromotriz ao circuito é dada por:

$$P = iV. \quad (7)$$

O fio ou componente transportando a corrente torna-se aquecido e quanto maior a resistência, maior o calor que é dissipado em cada segundo para um mesmo valor de corrente. A equação 7 é sempre válida, mas escrita em termos de R representa a dissipação de energia no elemento (fio ou componente) e é dada pela eq.(8). A taxa de energia dissipada para uma corrente de i ampere (A) em uma resistência de R (Ω) (isto é, potência), dada em unidades de watt (W) é conhecida como:

$$P = Ri^2. \quad (8)$$

ou em termos da ddp,

$$P = \frac{V^2}{R}. \quad (9)$$

8.1 Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block“ para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. Módulos conectores com resistores, interruptores, potenciômetros e lâmpadas;
2. Cabos de conexão, 32 A, 250mm, vermelho e azul
3. 2 Multímetros Analógicos
4. Fonte de alimentação, 0...12 V DC / 6 V, 12 V AC

8.2 Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**

8.3 Experimento 1: Evidenciando a passagem da corrente elétrica

- Monte o circuito da Fig. 34;
- Ajuste o valor da corrente máxima da fonte em um quarto de volta;
- Ajuste a fonte de alimentação para 0,0 V e ligue-a;
- Feche o interruptor e muito lentamente aumente a tensão, até que o ponteiro atinja a deflexão total;
- Reduza a tensão para 0,0 V, enquanto isso observe o ponteiro e a lâmpada de filamento;
- Anote suas observações no quadro e desligue a fonte de alimentação.



Fig. 33 Detalhe da fonte de eletricidade a ser utilizada.

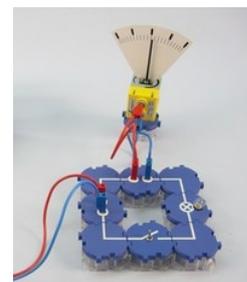


Fig. 34 Circuito a ser montado no experimento 1.

8.4 Experimento 2: Medida de corrente elétrica em resistores

Procedimento 2

1. Com a fonte desligada e utilizando o circuito da figura 35;
2. Troque neste circuito a lâmpada pelo resistor;

3. Ligue a fonte e acione a chave do circuito para ligá-lo.
4. Compare com o experimento anterior e anote no *logbook* suas observações;
5. Insira o amperímetro analógico em série no circuito e na escala adequada para medir corrente;
6. Insira o voltímetro em paralelo e na escala adequada para medir a ddp na fonte conforme a figura 36;
7. Utilizando a lei de Ohm calcule a corrente que circulará no circuito;
8. Selecione a escala adequada para a medida conforme resultado obtido;
9. Gire lentamente o *knob* da fonte estabelecendo 10 valores entre 0,0 e 10,0 V;
10. Anote os valores de ddp e os respectivos valores de corrente preenchendo a tabela a seguir;
11. Faça o gráfico de $I \times V$ para o resistor;
12. Repita as operações anteriores preenchendo as tabelas e confeccionando os gráficos $I \times V$ para os outros resistores.

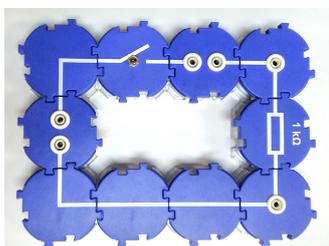


Fig. 35 Diagrama do experimento 2.

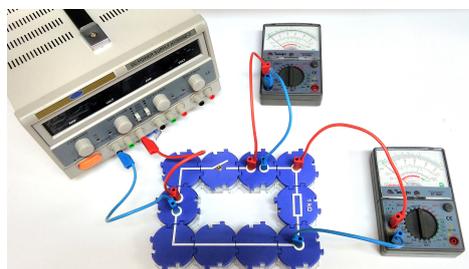


Fig. 36 Ligações elétricas do experimento 2.

Resistor 1

Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V											
mA											

Resistor 2

Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V											
mA											

Resistor 3

Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V											
mA											
P (W)											

Experimento 3: Medida da potência elétrica dissipada no resistor

Procedimento 3

1. Utilizando a equação (8) preencha a segunda linha da tabela anterior e faça o gráfico $P \times I$ para este resistor. Faça o ajuste e obtenha a curva de potência no resistor.
2. Confeccione o gráfico $\text{Log}(P) \times \text{Log}(I)$ para o resistor. Este é o procedimento de linearização. A partir deste gráfico obtenha o valor da inclinação. O que representa este valor?.

8.5 Experimento 4: Medida de ddp e corrente elétrica na lâmpada

Observação: Sempre que for medir corrente elétrica o amperímetro deverá ser conectado em série ao circuito medido! Para medir ddp conecte as ponteiros do voltímetro em paralelo ao circuito medido!

Procedimento 4

1. Com a fonte desligada e utilizando o circuito da figura 35 conecte o amperímetro analógico no lugar do galvanômetro;
2. Troque o resistor pela lâmpada;
3. Gire o seletor para a escala adequada (10A) no amperímetro;
4. Conecte o voltímetro em paralelo com a fonte;
5. Ligue a fonte e acione a chave do circuito para ligá-lo. Gire lentamente o *knob* da fonte estabelecendo 10 valores entre 0,0 e 10,0 V;
6. Anote os valores de ddp e os respectivos valores de corrente preenchendo a tabela a seguir;
7. Faça o gráfico de $I \times V$ da lâmpada;
8. Utilizando a equação (8) preencha a segunda linha da tabela a seguir e faça o gráfico $P \times I$ para a lâmpada.
9. Faça o ajuste e obtenha a curva de potência na lâmpada.
10. Desligue a fonte;

Nº	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V											
mA											
P (W)											

8.6 Questões

1. Explique porque um voltímetro deve ser inserido em paralelo e o amperímetro deve ser inserido em série no circuito a ser medido?
2. Considerando uma lâmpada incandescente e com base nos gráficos obtidos, em que situação é mais provável a lâmpada queimar? Quando liga ou quando desliga? Explique o porquê.
3. Considerando os resultados obtidos o que determina a corrente que circula em um circuito?
4. Utilize um software científico para construção de gráficos e obtenha pelo método dos mínimos quadrados o melhor ajuste. Exemplos: QtiPlot - Gratuito para plataformas LINUX ou Origin - versões pagas para plataforma WINDOWS.
5. O que representa o coeficiente angular da reta nestes gráficos?

Referências

- 1 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vo I. 4, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.
- 2 INMETRO. SISTEMA Internacional de Unidades - SI. 8ª. ed. Rio de Janeiro, 2003.
- 3 Phywe, *Manual PHYWE de Experimentos de Física Moderna*, Versão 11.10 - 2010.

9 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: POTÊNCIA

Neste experimento faremos a medidas da diferença de potencial (ddp) e da corrente elétrica que circula em circuitos em série e em paralelo. Mediremos e analisaremos o comportamento de lâmpadas quanto ao seu brilho e sua relação com o consumo elétrico.

OBJETIVOS

- Investigar a dependência da potência elétrica em relação a corrente e a tensão conectando uma lâmpada de filamento em série e em paralelo¹.
- Coletar dados para analisar circuitos básicos em corrente contínua.

9.1 Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block” para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. Módulos conectores com interruptores e lâmpadas;
2. Cabos de conexão, 32 A, 250 mm, vermelho e azul
3. 2 Multímetros Analógicos
4. Fonte de alimentação, 0...12 V DC / 6 V, 12 V AC

9.2 Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**
- **Observação:** Sempre que for medir ddp conecte as pontes do voltmetro em paralelo ao circuito medido!
- **Observação:** Sempre que for medir corrente elétrica o amperímetro deverá ser conectado em série ao circuito medido!

9.3 Experimento 1: Circuito em Paralelo

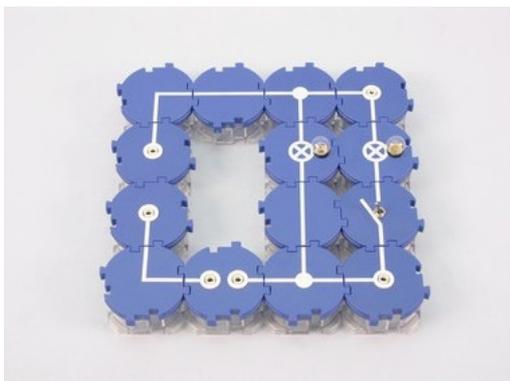


Fig. 37 Circuito utilizado para medir corrente elétrica em lâmpadas ligadas em paralelo.

Procedimento 1

1. Monte o circuito conforme mostra na figura 37, com o interruptor aberto;
2. Conecte a fonte de alimentação nos soquetes da esquerda;
3. Conecte o amperímetro e o voltmetro conforme a figura 38;
4. Selecione as escalas de medição de 250 mA no multímetro;
5. Ajuste a fonte de alimentação para 0,0 V, e ligue-a;

6. Lentamente aumente a tensão da fonte de alimentação até que o voltmetro através das lâmpadas mostre exatamente 9,0 V;
7. Meça a corrente i e anote o valor medido para na Tabela 1;
8. Feche o interruptor e ligue a lâmpada L2 em paralelo com a lâmpada L1. Meça a corrente i (depois de ajustar a tensão para 9,0 V, se necessário);
9. Meça a corrente i e anote na Tabela 1 (página de resultados);
10. Observe o brilho de cada lâmpada. Anote no quadro (1) na página de resultados o que você pode deduzir;
11. Obtenha a curva característica desta montagem;
12. Ao final, ajuste a fonte de alimentação para 0,0 V.

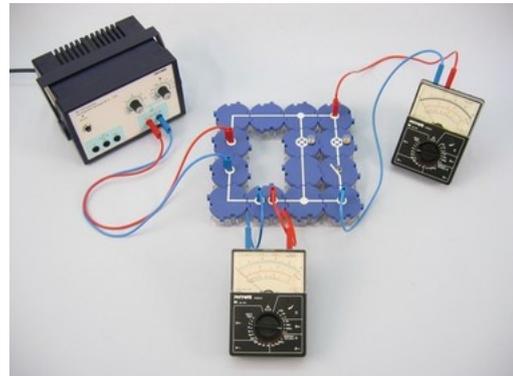


Fig. 38 Montagem para medir corrente elétrica em lâmpadas ligadas em paralelo.

9.4 Experimento 2: Circuito em Série

Procedimento 2

1. Altere a montagem do experimento para ligar em série as lâmpadas 39.
2. Conecte a fonte de alimentação e os multímetros conforme a figura 40.
3. Aumente a tensão da fonte de alimentação até a corrente atingir 0,1 A. Meça a tensão U necessária para atingir esta corrente e anote na Tabela 1.
4. Obtenha a curva característica desta montagem;
5. Ao final, ajuste a fonte de alimentação para 0,0 V, e desligue-a.

Preencha a tabela 1 a seguir com uma indicação referente ao desempenho total da iluminação das lâmpadas. Com as informações da Tabela 1, preencha a Tabela 2.

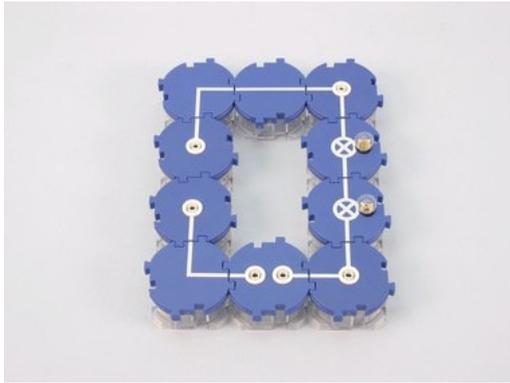


Fig. 39 Circuito utilizado para medir corrente elétrica em lâmpadas ligadas em série.

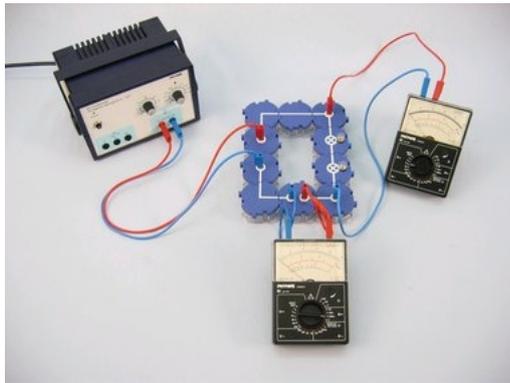


Fig. 40 Montagem para medir corrente elétrica em lâmpadas ligadas em série.

Nº de lâmpadas	ddp (V)	i (A)	Desempenho total das lâmpadas
1			brilho normal (referência)
2 (em paralelo)			
2 (em série)			

Nº de lâmpadas	ddp (V)	i (A)	Desempenho total das lâmpadas
3 (em paralelo)			normal (referência)
4 (em paralelo)			
3 (em série)			
4 (em série)			

9.5 Questões

- Complete a segunda e a terceira linha da Tabela 1 com uma indicação referente ao desempenho total da iluminação das lâmpadas. Com as informações da Tabela 1, preencha a Tabela 2.
- As relações entre potência elétrica P , corrente i e tensão U podem ser resumidas como: $P \sim U \times i$ ou $P = U \times i$, quando a unidade $1V \times 1A = 1W$ (watt) é utilizado para potência. Quando a lâmpada brilha à uma potência P por um tempo t , então o trabalho elétrico (consumo) é obtido por multiplicação:

$$W_{el} = P \times t = \frac{U}{t}$$

- . Calcule o trabalho elétrico (consumo) de uma lâmpada do experimento quando acesa por 5 minutos.

Referências

- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. 3, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.

10 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Capacitância

Neste experimento faremos as medidas da diferença de potencial (ddp) e da corrente elétrica que circula em processos de carga e descarga de capacitores. Mediremos e analisaremos o comportamento destes quanto suas potenciais aplicações em circuitos elétricos.

OBJETIVOS

- Examinar como varia a tensão durante o processo de carga e descarga do capacitor;
- Examinar como varia a tensão durante o processo de descarga do capacitor;
- Determinar quais fatores influenciam estes processos e que influência têm¹;
- Coletar dados para analisar circuitos básicos em corrente contínua.

Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block” para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. 1 Interruptor liga/desliga, SB
2. 1 Interruptor comutador, SB
3. 1 Resistor de $10\text{ k}\Omega$, SB
4. 1 Resistor de $47\text{ k}\Omega$, SB
5. 1 Capacitor $470\ \mu\text{F}$, SB
6. 1 Capacitor $47\ \mu\text{F}$, SB
7. 1 Cronômetro digital (use a função do seu *smartphone*);
8. Cabos de conexão, 32 A, 250 mm, vermelho e azul;
9. 2 Multímetros Analógicos;
10. Fonte de alimentação, 0...12 V DC / 6 V, 12 V AC.

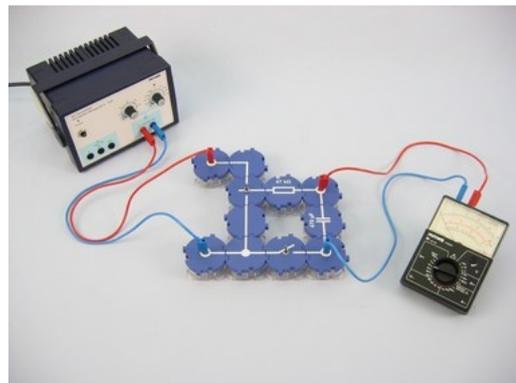


Fig. 41 Circuito a ser montado no experimento 1.

Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**
- Ajustar a corrente máxima em $0,2\text{ A}$ antes de iniciar.
- Preste atenção, em particular, ao que acontece ao ligar e ao desligar o circuito.

10.1 Experimento 1: Efeito do capacitor instalado em corrente contínua

Neste experimento será verificado o comportamento da tensão em um capacitor ao longo do tempo nos processos de carga e de descarga do mesmo.

Antes de iniciar, determine as relações qualitativas dos fenômenos físicos estudados.

Procedimento 1

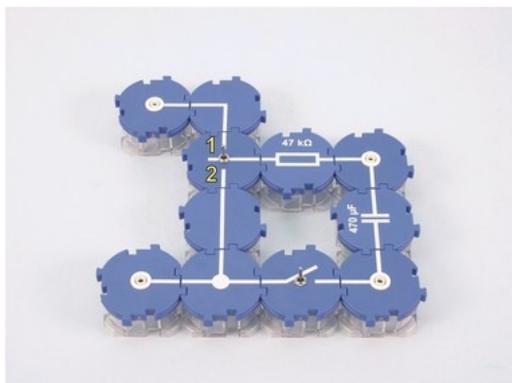
1. Monte o circuito, conforme ilustrado na 41 e na 42 inicialmente um capacitor de $470\ \mu\text{F}$;
2. Selecionar a escala adequada do voltímetro (10 V);
3. Ligar a fonte de tensão e ajustar a saída para 10 V ;
4. Com a chave do circuito aberta e com a chave seletora na posição 1;
5. Usar a chave que fecha/abre o circuito para fechar o circuito de carga do capacitor. Observar o voltímetro e anote as observações no ponto (1), no caderno de laboratório.
6. Mudar a chave seletora de carga/descarga para a posição 2 (descarga), fechando o circuito de descarga. Outra vez observar o voltímetro e anote as observações no ponto (2).

7. Curto-circuitar o capacitor durante alguns segundos utilizando um cabo e desligar somente quando a tensão no capacitor for $U_C = 0\text{V}$.
8. Mover a chave seletora de carga/descarga para a posição 1 e, começando de $0,0\text{ V}$, ler a tensão no capacitor ddp_C a cada 10 segundos. Anotar os valores na tabela 1.
9. **Nota: A aquisição desses dados exige concentração e alguma prática. Caso as leituras não sejam feitas nos tempos corretos numa primeira série de leituras, curto-circuitar rapidamente o capacitor e reiniciar as medições.**

10.2 Experimento 2: Efeito de um capacitor menor instalado no mesmo circuito

Procedimento 2

1. Monte o circuito conforme mostra a figura 42 utilizando agora o capacitor de $47\ \mu\text{F}$;
2. Mover a chave seletora de carga/descarga para posição 1, fechar o circuito de carga e medir o tempo que o capacitor leva para atingir a tensão $ddp_C = 6,0\text{ V}$. Registrar o tempo na Tabela 1 a seguir;
3. Fechar o circuito de carga e medir novamente o tempo passado até que a tensão atinja o valor final de $ddp_C = 6,0\text{ V}$. Anotar o tempo t na Tabela 1;
4. Substituir o resistor de $47\text{ k}\Omega$ pelo resistor de $10\text{ k}\Omega$ e repetir as medições.
5. Substituir o capacitor de $47\ \mu\text{F}$ pelo capacitor de $470\ \mu\text{F}$ e repetir as medições.



Referências

- 1 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vo I. 4, LTC, 4^a ed., Rio de Janeiro, 1993.
- 2 Phywe, *Manual PHYWE de Experimentos de Física Moderna*, Versão 11.10 - 2010.

Fig. 42 Circuito a ser montado no experimento 1.

6. Desligar a fonte de tensão.

Tabela 1

Tempo (s)	0,0	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0
Carga $ddp_c(V)$							
Descarga $ddp_c(V)$							

De posse dos dados faça o gráfico a seguir.

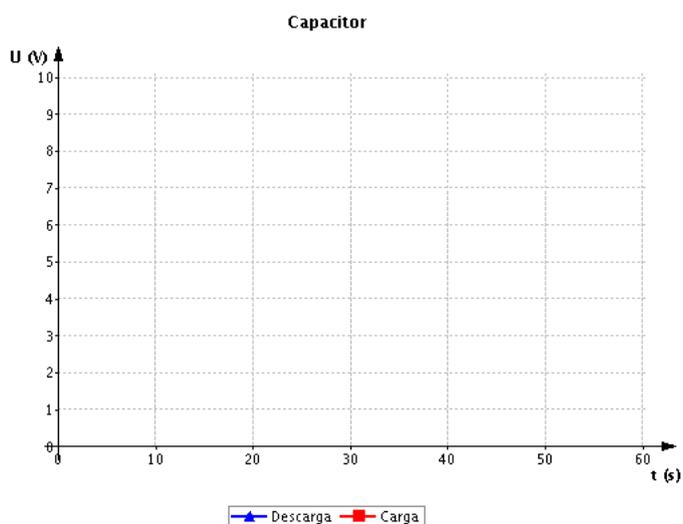


Fig. 43 Circuito a ser montado no experimento 2.

Tabela 2

$R(k\Omega)$	$C(\mu F)$	t(s) medido	$\tau(s)$ calculado
47	470		
47	47		
10	47		
10	470		

10.3 Questões

1. Observar o gráfico e explicar o comportamento da curva de carga do capacitor em acordo com as observações anotadas do experimento 1.
2. Expressar a dependência do tempo de carga do capacitor em função da capacitância C e da resistência R (chamada resistência de carga).
3. Calcular o tempo $\tau = R \times C$, para os valores contidos na Tabela 2 e compará-los com o tempo medido t.
4. Quais as possíveis aplicações para os capacitores?

11 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Corrente Alternada - AC

Neste experimento visualizaremos o processos de carga e descarga de capacitores acionados por uma fonte alternada utilizando o osciloscópio. Mediremos e analisaremos o comportamento da onda de entrada e saída para aplicações em circuitos elétricos.

OBJETIVOS

- Fazer medidas de Voltagem, frequência e período usando o osciloscópio;
- Examinar como varia a tensão durante o processo de carga do capacitor;
- Examinar como varia a tensão durante o processo de descarga do capacitor;
- Determinar quais fatores influenciam estes processos e que influência têm¹;
- Coletar dados para analisar circuitos básicos em corrente Alternada.

Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block” para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. 1 Resistor de 10 k Ω ;
2. 1 Resistor de 47 k Ω ;
3. 1 Capacitor 470 μ F;
4. 1 Capacitor 47 μ F;
5. 1 Capacitor 47 nF;
6. Cabos de conexão, 32 A, 250 mm, vermelho e azul;
7. 1 gerador de funções;
8. 1 Osciloscópio digital;

11.1 Experimento 1: Efeito do capacitor instalado em Corrente Alternada

Neste experimento será verificado o comportamento da tensão em um capacitor ao longo do tempo nos processos de carga e de descarga do mesmo em corrente alternada.

Antes de iniciar, determine as relações qualitativas dos fenômenos físicos estudados.

Procedimento 1

1. Monte o circuito da Fig. 44 inicialmente um capacitor de 470 μ F e resistor de 10k Ω . Obs: Este é o mesmo circuito utilizado no experimento de carga e descarga do capacitor feito em um experimento passado, mas substituindo o chaveamento manual por um eletrônico;
2. Calcule a constante de tempo do circuito;
3. Selecionar a forma de onda quadrada no gerador de funções;
4. Selecionar a escala de frequência adequada para enviar uma onda de 0,5 Hz com amplitude de 10 V;
5. Conecte as sondas nos pontos A e B conforme a Fig. 44;
6. Ligar o osciloscópio, aguardar o início e apertar a tecla <AUTO>;
7. Observar as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
8. Meça os valores de frequência e voltagem dos dois sinais;
9. Aumente gradativamente a frequência do sinal até 4 Hz medindo 10 valores intermediários para as respectivas voltagens de pico (monte uma tabela);
10. Faça o gráfico de V(ddp) versus Frequência em Hz. Para qual valor a voltagem decai para metade do valor fonte?

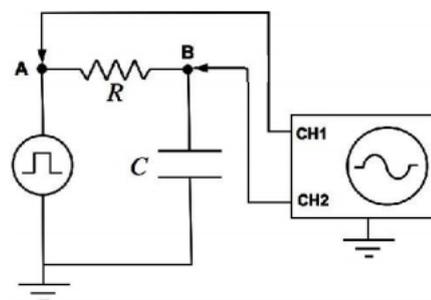


Fig. 44 Circuito a ser montado no experimento 1.

11.2 Experimento 2: Efeito de um capacitor menor instalado no mesmo circuito

Procedimento 2

1. Troque o capacitor de 470 μ F pelo capacitor de 47 nF;
2. Calcule a constante de tempo do circuito;
3. Mude a escala no gerador de funções para x100.
4. Aumente gradativamente a frequência a partir do menor valor até o valor máximo medindo as respectivas voltagem de pico para 20 valores intermediários (monte uma tabela);
5. Faça o gráfico de V(ddp) versus Frequência em Hz. Para qual valor a voltagem decai para metade do valor fonte?
6. Para qual valor a voltagem decai para metade do valor da fonte?

11.3 Experimento 3: Efeito da inversão de posição dos componentes no mesmo circuito

Procedimento 3

1. Com as mesmas configurações dos equipamentos permuta o resistor com o capacitor (use 47 μ F e depois 47 nF);
2. Calcule a constante de tempo dos circuitos;
3. Conecte as sondas nos pontos A e B conforme a Fig. 45
4. Na escala do gerador de funções em x10 (para o primeiro capacitor) aumente gradativamente a frequência do sinal do valor mínimo até o máximo medindo as respectivas voltagem de pico para 20 pontos intermediários (monte uma tabela);

5. Na escala de $\times 100$ no gerador de funções(para o segundo capacitor), aumente gradativamente a frequência do sinal do valor mínimo até o máximo medindo as respectivas voltagem de pico para 20 pontos intermediários (monte uma tabela);
6. Para qual valor a voltagem é 70% do valor a fonte?

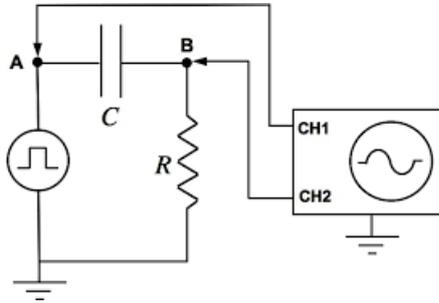


Fig. 45 Circuito a ser montado no experimento 3.

11.4 Questões

1. Observar as formas de onda e explicar o comportamento da curva de carga do capacitor em acordo com as observações anotadas do experimento 1.
2. Compare as formas de onda com os gráficos obtidos no experimento em corrente contínua;
3. Comparar $\tau = R \times C$, para os experimentos anteriores com a constante de tempo medido no osciloscópio.
4. Quais as possíveis aplicações para os capacitores nesta configuração?

Referências

- 1 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. III, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.
- 2 Phywe, *Manual PHYWE de Experimentos de Física: Eletromagnetismo e eletrônica*, Versão 11.10 - 2010.

12 MEDIDA DE GRANDEZAS ELÉTRICAS: Indutores em Corrente Alternada - AC

Neste experimento visualizaremos o funcionamento de um sistema indutor ligado em série com um resistor quando acionado por uma fonte de corrente alternada. Utilizando o osciloscópio, mediremos e analisaremos o comportamento da onda de entrada e saída e as aplicações em circuitos elétricos.

OBJETIVOS

- Fazer medidas de amplitude do sinal, frequência e período usando o osciloscópio;
- Examinar como varia a ddp durante o processo de carga do indutor;
- Examinar como varia a ddp durante o processo de descarga do indutor;
- Determinar quais fatores influenciam estes processos e que influência têm¹;
- Coletar dados para analisar circuitos básicos em corrente alternada.

Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block” para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. 1 Resistor de 1 k Ω ;
2. 1 Indutor 3 mH;
3. 1 Indutor 50 mH;
4. Cabos de conexão, 32 A, 250 mm, vermelho e azul;
5. 1 gerador de funções;
6. 1 Osciloscópio digital;

12.1 Experimento 1: Efeito do indutor instalado em corrente alternada

Neste experimento será verificado o comportamento da tensão em um indutor ao longo do tempo nos processos de carga e de descarga do mesmo em corrente alternada.

Antes de iniciar, determine as relações qualitativas dos fenômenos físicos estudados.

Procedimento 1

1. Monte o circuito da Fig. 46 inicialmente com o indutor de 3 mH e resistor de 1 k Ω .
2. Calcule a constante de tempo do circuito;
3. Selecionar a forma de onda quadrada no gerador de funções;
4. Escolha a escala adequada para obter a curva de carga e descarga do indutor;
5. Selecionar a forma de onda senoidal no gerador de funções;
6. Selecionar a escala para uma varredura rápida de 17 kHz a 300 kHz com amplitude de 10 V pico a pico;
7. Caso necessário ajuste o *offset* para centralizar a onda;
8. Conecte as sondas nos pontos A e B conforme a Fig. 46;
9. Observar as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
10. Meça os valores de frequência e voltagem do canal 2;
11. Aumente gradativamente a frequência do sinal até 300 kHz medindo 30 valores intermediários para as respectivas voltagens de pico (monte uma tabela);
12. Faça o gráfico de ddp *versus* frequência em Hz.
13. Determine o tipo de circuito.

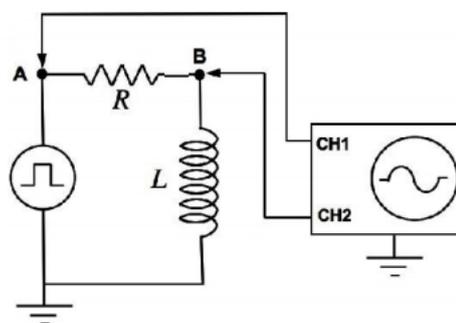


Fig. 46 Circuito a ser montado no experimento 1.

12.2 Experimento 2: Efeito de um indutor maior instalado no mesmo circuito

Procedimento 2

1. Troque o indutor de 3 mH pelo indutor de 50 mH;
2. Calcule a constante de tempo do circuito;
3. Acione a escala de 10 kHz no gerador de funções;
4. Faça uma varredura rápida em frequência com amplitude de 10 V pico a pico;
5. Inicie novamente, mas aumentando gradativamente a frequência a partir do menor valor até o valor máximo medindo as respectivas voltagem de pico para 30 valores intermediários (monte uma tabela);
6. Faça o gráfico da amplitude da ddp *versus* frequência em Hz.
7. Determine o tipo de circuito.

12.3 Experimento 3: Efeito da inversão de posição dos componentes no mesmo circuito

Procedimento 3

1. Com as mesmas configurações dos equipamentos, permute o resistor com o indutor (use 50 mH e depois 3 mH). Veja a Fig. 47;
2. Calcule a constante de tempo dos circuitos;
3. Repita os procedimentos anteriores para montar o gráfico da amplitude da ddp *versus* frequência em Hz.
4. Determine a função dos circuitos.

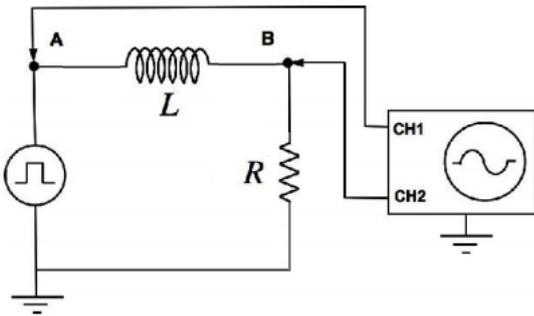


Fig. 47 Circuito a ser montado no experimento 3.

12.4 Questões

1. Observar as formas de onda e explicar o comportamento da curva de carga do indutor em acordo com as observações anotadas do experimento 1.
2. Compare as formas de onda com os gráficos obtidos no experimento de um capacitor e indutor em corrente alternada. A partir desta comparação o que representam os circuitos?
3. Comparar $\tau = R \times L$, para os experimentos anteriores com a constante de tempo medido no osciloscópio.
4. Quais as possíveis aplicações para os indutores nestas configurações?
5. Pesquise sobre o funcionamento de um estabilizador de voltagem.

Referências

- 1 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. III, LTC, 4ª ed., Rio de Janeiro, 1993.
- 2 Phywe, *Manual PHYWE de Experimentos de Física: Eletromagnetismo e eletrônica*, Versão 11.10 - 2010.

13 FONTES DE POTÊNCIA: Aplicação de diodos e capacitores

Neste experimento visualizaremos a conversão de corrente alternada em corrente contínua utilizando diodos e capacitores acoplados no processo de retificação de meia onda e onda completa. Mediremos e analisaremos o comportamento da onda de entrada e saída para aplicações em circuitos elétricos e o surgimento de ruídos proeminentes da tensão de Ripple.

OBJETIVOS

- Fazer medidas de Voltagem, frequência e período usando o osciloscópio;
- Medir a voltagem eficaz da fonte;
- Examinar como varia a tensão durante o processo de retificação e o uso do capacitor;
- Medir a tensão de Ripple.

Material Utilizado

Utilizaremos o “Sistema Building Block“ para circuitos elétricos e eletrônica da PHYWE.²

1. 1 Resistor de 10 k Ω ;
2. 1 Capacitor 470 μ F;
3. 1 Capacitor 47 μ F;
4. 1 Capacitor 47 nF;
5. Cabos de conexão, 32 A, 250 mm, vermelho e azul;
6. 1 Osciloscópio digital;
7. Fonte de alimentação, 0...12 V DC / 6 V, 12 V AC.



Fig. 48 Painel frontal da fonte e saídas para conexão ao osciloscópio do experimento 1.

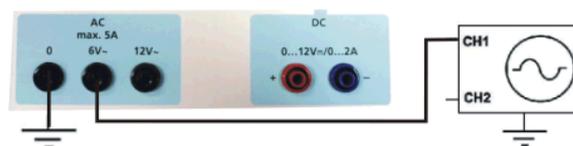


Fig. 49 Exemplo de conexão do osciloscópio com uma das saídas da fonte utilizada no experimento 1.

Procedimentos iniciais

- Familiarize-se com os componentes;
- **Não ligue nenhum equipamento sem permissão!**
- Ajustar a corrente máxima em 0,2 A antes de iniciar.
- Preste atenção, em particular, ao que acontece ao ligar e ao desligar o circuito.

13.1 Experimento 1: Medida da corrente alternada com osciloscópio

Procedimento 1

1. Utilizando a fonte elétrica da Fig. 48 conecte a sonda do osciloscópio nas saídas conforme Fig. 49.
2. Ligar o osciloscópio, aguardar o início e apertar a tecla <AUTO>;
3. Observar a forma de onda no canal 1 para a saída e anote as observações no caderno de laboratório.
4. Meça os valores de frequência e voltagem pico a pico e **rms** dos sinais;
5. Conecte a sonda do osciloscópio nas demais saídas, observe a forma de onda e anote as observações no caderno de laboratório.

13.2 Experimento 2: Efeito do diodo instalado em Corrente Alternada

Neste experimento será verificado o comportamento da onda senoidal ao atravessar o diodo. Este circuito é conhecido como retificador de meia onda.

Procedimento 2

1. Monte o circuito das Figs. 50 e ??;
2. Conecte as sondas nos pontos A e B.
3. Ligar o osciloscópio, aguardar o início e apertar a tecla <AUTO>;
4. Observar as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
5. Meça os valores de frequência e voltagem de pico e RMS dos dois sinais;
6. Inverta a posição do diodo no circuito e observe as formas de ondas.

13.3 Experimento 3: Efeito do capacitor instalado em Corrente Alternada

Neste experimento será verificado o comportamento da tensão em um capacitor ao longo do tempo nos processos de carga e de descarga do mesmo em

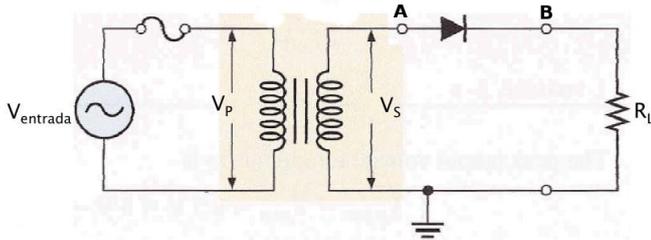


Fig. 50 Retificador de meia onda. Circuito a ser montado no experimento 2.

corrente alternada. Mediremos o ruído gerado pela tensão de ripple. Este r é o valor pico a pico do ruído na onda retificada.

Procedimento 2

1. Monte o circuito da Fig. 51 inicialmente um capacitor de 47 nF;
2. Conecte as sondas nos pontos A e B;
3. Observe as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
4. Substitua o capacitor para o de 47 μF e depois use 470 μF . Desenhe as formas de onda para cada situação.

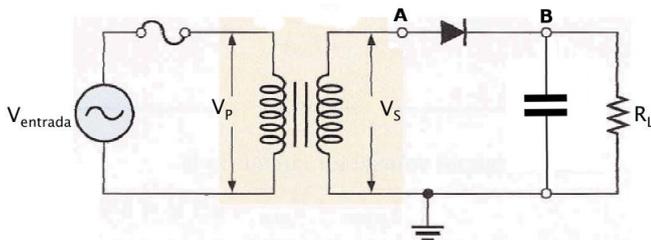


Fig. 51 Circuito a ser montado no experimento 2.

13.4 Experimento 3: O Retificador de onda completa

Neste experimento será montado um retificador de onda completa utilizando um transformador (interno da fonte) com *center tape* e mediremos a tensão de ripple.

Procedimento 3

1. Monte o circuito da Fig. 52;
2. Conecte as sondas nos pontos A e B;
3. Observe as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
4. Desenhe as formas de onda e tente descrever o funcionamento do circuito;
5. Insira um capacitor de 47 μF e depois um de 470 μF em paralelo com a carga, conforme Fig.53;
6. Desenhe as formas de onda e tente descrever o funcionamento do circuito;
7. No osciloscópio altere o acoplamento do canal 2 de DC para AC;
8. Dê um zoom na forma de onda na saída, desenhe sua forma e e meça seu valor.

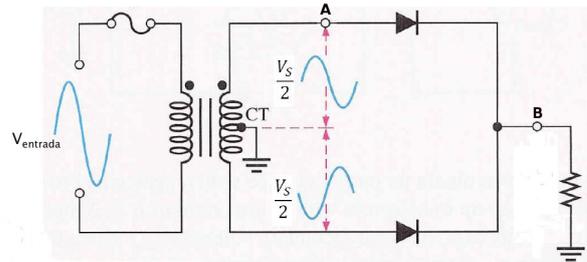


Fig. 52 Circuito a ser montado no experimento 3.

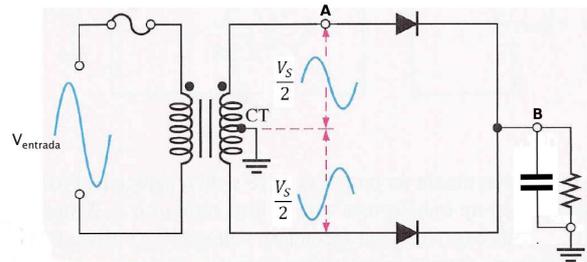


Fig. 53 Retificador de onda completa com filtro capacitivo. Circuito a ser montado no experimento 3.

13.5 Experimento 4: Construindo uma fonte simétrica

Procedimento 4

1. Monte o circuito da Fig. 54;
2. Conecte as sondas nos pontos A e B;
3. Observe as formas de onda no canal 1 e 2, sobreponha os sinais e anote as observações no caderno de laboratório;
4. Desenhe as formas de onda e tente descrever o funcionamento do circuito;
5. insira um capacitor 470 μF em paralelo com a carga;
6. Desenhe as formas de onda e tente descrever o funcionamento do circuito;

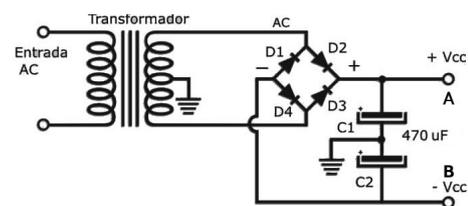


Fig. 54 Fonte simétrica com filtro capacitivo. Circuito a ser montado no experimento 4.

13.6 Questões

1. Observe as formas de onda e explique o comportamento da inserção de um diodo no circuito.
2. Compare as formas de onda com os gráficos obtidos no experimento e descreva o processo de retificação da onda;

Experimento 8 – Circuitos RC e filtros de frequência

1. OBJETIVO

O objetivo desta aula é ver como filtros de frequência utilizados em eletrônica podem ser construídos a partir de um circuito RC.

2. MATERIAL UTILIZADO

- osciloscópio;
- multímetro;
- gerador de sinais;
- resistor: $R=1\text{k}\Omega$;
- capacitor: $C=100\text{nF}$.

3. INTRODUÇÃO

Como vimos na **Aula 8**, a reatância do capacitor depende da frequência: quanto maior a frequência da forma de onda menor será a resistência que o capacitor oferecerá à passagem da corrente. Essa propriedade pode ser utilizada para a confecção de filtros de frequência de maneira a atenuar (ou mesmo eliminar) certos valores de frequência num dado circuito elétrico. Os filtros que cortam as frequências baixas são chamados de “filtros passa-altas”, ao passo que aqueles que cortam as frequências altas chamam-se “filtros passa-baixas”. A combinação dos dois tipos de filtros pode fornecer um filtro que deixa passar frequências intermediárias, atenuando as frequências baixas e altas. Um exemplo muito comum da aplicação de filtros são os equalizadores gráficos dos amplificadores de som. Isso se deve ao fato de que um sinal qualquer introduzido em um circuito eletrônico, como o caso dos sinais em equipamentos de som, é sempre visto pelo circuito eletrônico como sendo uma superposição de um número muito grande de funções senoidais, chamadas os harmônicos do sinal.

Aplicando as definições de reatância capacitiva e impedância discutidas na **Aula 8**, lembrando que para capacitores devemos utilizar a reatância capacitiva no lugar da resistência correspondente, as amplitudes das voltagem no capacitor (V_0^C) e no resistor (V_0^R) podem ser escritas como:

$$V_0^C = \frac{X_C}{Z} V_0, \quad (1)$$

$$V_0^R = \frac{R}{Z} V_0, \quad (2)$$

onde V_0 é a amplitude do sinal senoidal produzido pelo gerador.

Observe que o termo “resistência” aplica-se agora somente ao resistor. Para o capacitor utiliza-se “reatância capacitiva” e para a “resistência total do circuito” empregamos o termo “impedância”. Os filtros deixarão passar certas faixas de frequência dependendo da posição relativa do capacitor e do resistor no circuito.

3.1 – Filtro passa-baixas

Na **Figura 1** apresentamos um circuito RC que funciona como um filtro passa-baixas quando comparamos a voltagem no capacitor em relação à voltagem do gerador de sinais.

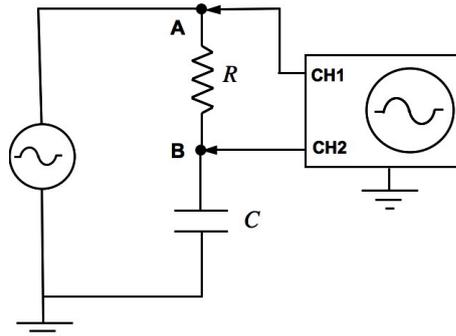


Figura 1: Filtros passa-baixas num circuito RC alimentado com corrente alternada.

Para o circuito da **Figura 1**, temos que a amplitude da voltagem no capacitor, que corresponde a V_0^B , é dada por:

$$V_0^B = \frac{X_C}{Z} V_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} V_0. \quad (3)$$

Definimos a razão entre as amplitudes V_0^B e V_0 por A_{PB} :

$$A_{PB} = \frac{V_0^B}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}. \quad (4)$$

As **Equações 3 e 4** mostram que para frequências próximas de zero, a voltagem no capacitor tem a mesma amplitude que a voltagem do gerador ($A_{PB}=1$), ou seja, o sinal não é atenuado. Por sua vez, à medida que a frequência cresce, a voltagem no ponto “B” diminui, o que significa que em relação ao sinal do gerador a voltagem no capacitor foi atenuada. Se tomarmos o limite de frequências tendendo a infinito, a amplitude A_{PB} tende a zero e neste caso a voltagem no capacitor é totalmente atenuada. Portanto, somente as frequências muito baixas não terão suas amplitudes diminuídas.

3.2 – Filtro passa-altas

Na **Figura 2** apresentamos um circuito RC que funciona como um filtro passa-altas quando comparamos a voltagem no resistor em relação à voltagem do gerador de sinais. Ele é obtido a partir do circuito da **Figura 1** trocando-se as posições do resistor e do capacitor.

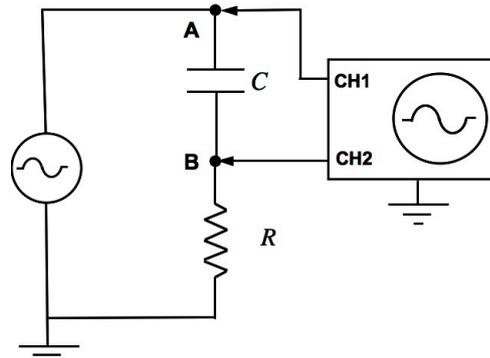


Figura 2: Filtros passa-altas num circuito RC alimentado com corrente alternada.

Para o circuito da **Figura 2**, temos agora que a amplitude da voltagem no resistor, que corresponde a V_0^B , é dada por:

$$V_0^B = \frac{R}{Z} V_0 = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} V_0. \quad (5)$$

Definimos a razão entre as amplitudes V_0^B e V_0 neste caso por A_{PA} :

$$A_{PA} = \frac{V_0^B}{V_0} = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}. \quad (6)$$

As **Equações 5** e **6** mostram que o filtro passa-altas tem um comportamento invertido com a frequência, em relação ao filtro passa-baixas. Frequências próximas de zero são muito atenuadas e frequências muito grandes são transmitidas com pequena atenuação.

3.3 – Frequência de corte

É costume definir para os filtros passa-baixas e passa altas uma frequência, chamada de “frequência angular de corte”, que determina a faixa de frequências a ser filtrada. A frequência angular de corte, ω_c é definida como aquela que torna a resistência do circuito igual à reatância capacitiva, ou seja, o valor de ω que faz com que $X_C = R$. Usando essa definição encontramos:

$$X_C = \frac{1}{\omega_c C} = R, \quad (7)$$

o que nos leva a:

$$\omega_c = \frac{1}{RC}. \quad (8)$$

A partir da **Equação 6** definimos a frequência linear de corte, ou simplesmente frequência de corte do filtro por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (9)$$

Na frequência de corte, tanto A_{PA} quanto A_{PB} têm o mesmo valor (verifique):

$$A_{PB}(\omega_c) = A_{PA}(\omega_c) = \frac{\sqrt{2}}{2} \cong 0,707. \quad (10)$$

Isto pode ser visto na **Figura 3** onde mostramos o comportamento de A_{PA} e A_{PB} com a frequência angular para um circuito RC , com $R=1k\Omega$ e $C=100nF$. Este tipo de curva é denominado curva característica do filtro.

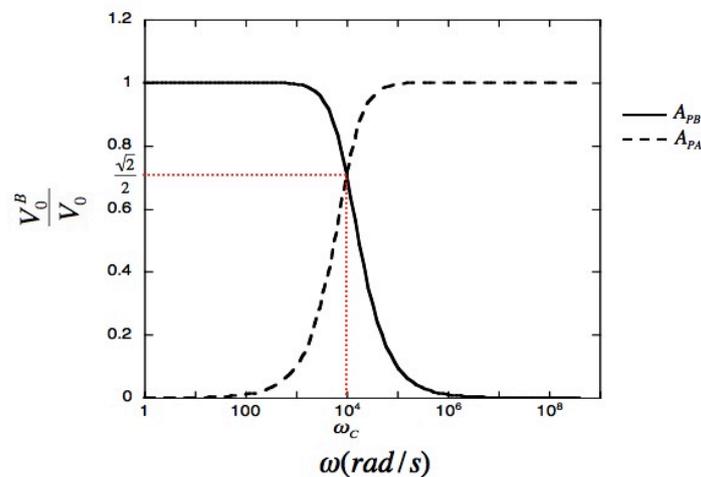


Figura 3: Curvas características dos filtros passa-altas (A_{PA}) e passa-baixas (A_{PB}) construídos com um circuito RC que utiliza $R=1k\Omega$ e $C=100nF$. A frequência angular de corte para este caso é $\omega_c = 10^4 rad/s$.

4. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

4.1 – Procedimento I – Filtro passa-altas

- 1) Monte o circuito da **Figura 4** utilizando um resistor de $1k\Omega$ e um capacitor de $100nF$. Meça o valor de R usando um multímetro.

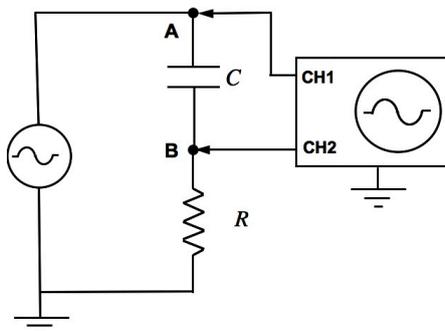


Figura 4: Filtro passa-altas.

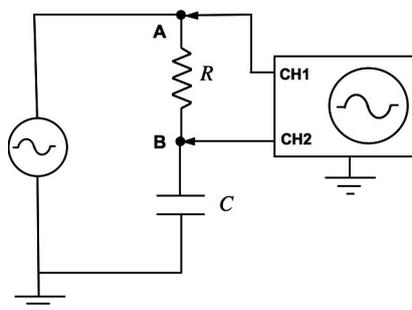
- 2) Ligue os equipamentos e ajuste o gerador (CH1) para um sinal senoidal, com frequência de 200Hz, e amplitude $V_0=5V$. Lembre-se de determinar o valor da frequência medindo o período correspondente no osciloscópio, e não o valor indicado no gerador.
- 3) Meça a voltagem de pico no resistor (tensão de saída, V_0^R) e anote esse valor na **Tabela 1**. Faça o mesmo com a voltagem de pico do gerador (V_0).
- 4) Mude a frequência do sinal no gerador para 500Hz. Verifique se a amplitude da tensão no gerador, V_0 , foi alterada. Caso tenha se alterado, faça correções para que ela volte a ter o mesmo valor anterior, ou seja, 5V. Complete a linha da tabela com os valores de V_R .
- 5) Repita esse procedimento para as outras frequências indicadas na **Tabela 1**.

$T \pm \sigma_T$ (s)	f (Hz)	$\ln f \pm \sigma_{\ln f}$	$V_0 \pm \sigma_{V_0}$ (V)	$V_0^R \pm \sigma_{V_0^R}$ (V)	$A_{PA} \pm \sigma_{A_{PA}}$
	200				
	500				
	1k				
	2k				
	5k				
	10k				
	20k				
	50k				
	100k				

Tabela 1: Resultados experimentais obtidos com o filtro passa-altas.

4.3 – Procedimento II

- 1) Monte o circuito da **Figura 5** utilizando um resistor de $1k\Omega$ e o capacitor de 100nF. Meça o valor de R utilizando um multímetro.

**Figura 5:** Filtro passa-baixas.

- 2) Ligue os equipamentos e ajuste o gerador (CH1) para um sinal senoidal, com frequência de 200Hz e amplitude $V_0=5V$. Lembre-se de sempre obter a frequência pela determinação do período correspondente, (com a respectiva incerteza), pelo osciloscópio e não pelo valor indicado no gerador.
- 3) Meça o valor de pico da tensão no capacitor V_0^C (tensão de saída), com sua respectiva incerteza e anote esse valor na **Tabela 2**. Faça o mesmo com a voltagem de pico do gerador V_0 .
- 4) Mude a frequência do sinal no gerador para 500Hz. Verifique se a amplitude da tensão no gerador se alterou. Caso tenha se alterado, faça correções para que ela volte a ter o mesmo valor anterior, ou seja, 5V. Complete a linha da tabela com o valor de V_0^C .
- 5) Repita esse procedimento para as outras frequências indicadas na **Tabela 2**.

$T \pm \sigma_T$ (s)	f (Hz)	$\ln f \pm \sigma_{\ln f}$	$V_0 \pm \sigma_{V_0}$ (V)	$V_0^C \pm \sigma_{V_0^C}$ (V)	$A_{PB} \pm \sigma_{A_{PB}}$
	200				
	500				
	1k				
	2k				
	5k				
	10k				
	20k				
	50k				
	100k				

Tabela 2: Resultados experimentais obtidos com o filtro passa-baixas.

14 DIODOS - Curva característica

Neste experimento utilizaremos antes da montagem o software de simulação para treinamento do procedimento de medidas em um circuito com diodos. Este experimento foi elaborado com base nas Notas de Aula do curso de Engenharia Elétrica da UFMG.

OBJETIVOS

- Aprender a fazer a simulação de circuitos;
- Entender a montagem em *protoboard*;
- Obter a curva característica de diodos de germânio, de silício e dos diodos emissores de luz - LED;

14.1 Introdução

Existem diversos tipos de diodos, muitos deles projetados e construídos com finalidades específicas. Os diodos semicondutores são apresentados comercialmente encapsulados em invólucros de vários tipos e materiais, como por exemplo, vidro, plástico ou metal. Quando o diodo deve suportar corrente elevada, o invólucro é feito de material bom condutor térmico o que permite sua instalação em dissipadores ou radiadores de calor que irradiam o calor mais facilmente. Os fabricantes fornecem folhas de dados sobre os diodos que trazem curvas características e especificações do diodo em condições de teste. Além da identificação do diodo e do conhecimento de suas características elétricas é importante que se possa a partir de ensaios simples e rápidos realizados em laboratório serem constatadas algumas de suas características elétricas.

14.2 Identificação

Em geral, o símbolo do diodo ou alguma marca é utilizado para a identificação dos terminais do diodo. Veja alguns exemplos a seguir Embora a identificação dos terminais do dispositivo possa ser feita através de inspeção de seu corpo, é necessário saber se o diodo está em condições de ser utilizado. Um teste rápido com o multímetro possibilita a verificação dessa condição.



Fig. 55 Terminais e simbologia do componente.



Fig. 56 Diodos de baixa potência e de uso geral.

14.3 Diodos especiais

Existem diversos tipos de diodos com características especiais para aplicações específicas.

Os LED's (Light Emitting Diode - Diodo emissor de luz) pertencem a categoria dos dispositivos opto-eletrônicos. Embora com um comportamento semelhante ao diodo de silício ou germânio utilizado outro tipo de semicondutor na construção dos LED's, o arsenieto de gálio (AsGa) e outros materiais

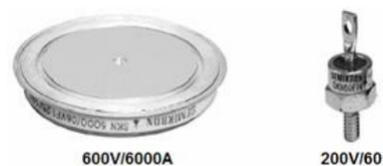


Fig. 57 Diodos especiais para altas potências.

como o fósforo. Os LED's tem por função emitir luz, quando diretamente polarizados. Seu símbolo é mostrado na Fig. 58 e sua estrutura na Fig. 59.



Fig. 58 Símbolo de um Diodo Emissor de Luz - LED

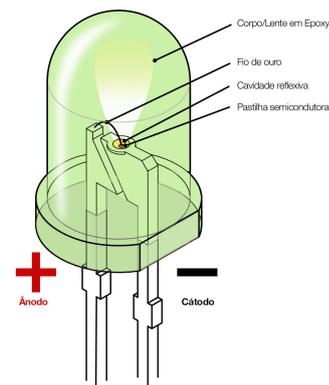


Fig. 59 Estrutura interna do encapsulamento do LED.

14.4 Teste do diodo com o multímetro

Com o multímetro analógico selecionado como ohmímetro, pode-se testar diodos através da análise das resistências encontradas, nos sentidos, direto e inverso.

No sentido direto, o diodo deve apresentar baixa resistência, pois conduz muito bem. No sentido inverso deve apresentar resistência elevada. Embora

seja um teste rápido, não permite constatar características elétricas fornecidas pelo fabricante. Esse teste permite verificar somente a função básica do diodo.

O teste com o multímetro consiste basicamente em conectar-se os terminais do diodo com a bateria interna do instrumento de medida. Dessa forma pode-se medir a resistência ôhmica do diodo quando diretamente e reversamente polarizado, invertendo-se as pontas de prova do multímetro. Ao utilizar-se de multímetros digitais, o processo é ainda mais simples, pois em sua maioria, os multímetros digitais possuem uma função especial para teste de semicondutores que indica a tensão de condução do diodo.

14.5 A curva característica

A curva característica de um dispositivo é a representação gráfica da corrente elétrica em função da tensão aplicada em seus terminais. A curva característica $I_D = f(V_D)$ de um diodo (Fig. 60) mostra que em polarização direta só haverá corrente significativa depois de vencida completamente a barreira de potencial interna que impõem uma queda de tensão de aproximadamente 0,7 V entre seus terminais. A partir desse ponto a corrente aumenta muito para pequenos acréscimos de tensão aplicada. Pode-se dizer que a tensão entre seus terminais permanece praticamente constante quando o diodo conduz. Em polarização reversa, a corrente é praticamente nula até que se atinja certo valor de tensão, diferente para diferentes tipos de diodos, conhecida como V_R (tensão de Break Down). A partir desse valor, inicia-se um processo de condução no sentido inverso. Diz-se que nesta condição o diodo está no estado de ruptura, pois foi vencida a barreira de potencial interna.

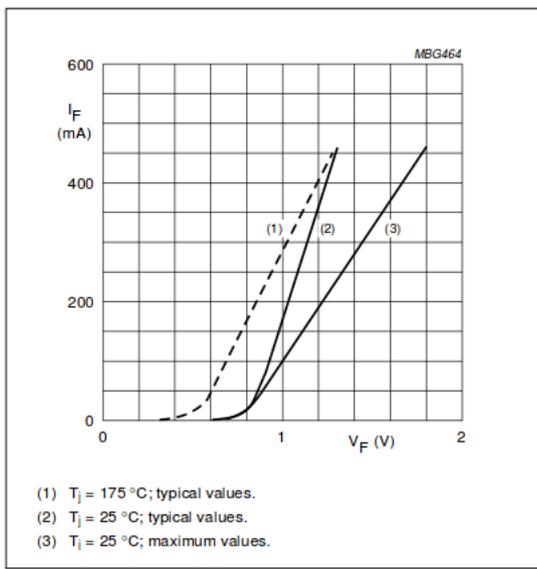


Fig. 60 Curva característica do diodo IN4148.

Há diodos fabricados para trabalhar na condição de polarização inversa e suportar a dissipação de potência que ocorre nessa situação. São os diodos conhecidos como **ZENER** e diodos de efeito **avalanche**.

14.6 Procedimento Experimental

Antes de montagem dos circuitos faremos a simulação dos mesmos no *software* MultisimBlue - Versão Estudante - ou *software* equivalente.

Material Utilizado

1. *Software* MultisimBlue (Versão Estudante) ou equivalente;
2. Bancada de Ensaio de Eletrônica EXSTO XD210².
3. 1 Resistor de 50 Ω ;
4. 1 potenciômetro linear de 1 k Ω ;
5. Diodo de uso geral 1N4148;
6. Diodo 1N4001;

Tabela 1 Dados de tensão e corrente no diodo em polarização reversa. Valor da fonte em 100 V.

%R2	V_D (volt)	I_D (10^{-3} A)
100%		
90%		
80%		
70%		
60%		
50%		
40%		
30%		
20%		
10%		
00%		

7. Diodos emissores de luz;
8. 1 multímetro analógico;
9. 1 multímetro digital;

14.7 Simulação 1: Curva característica do diodo em polarização reversa

Procedimento 1 Utilizando o software de simulação monte o circuito da Fig. 61

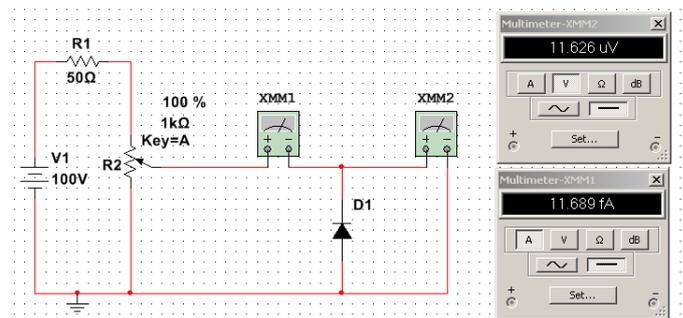
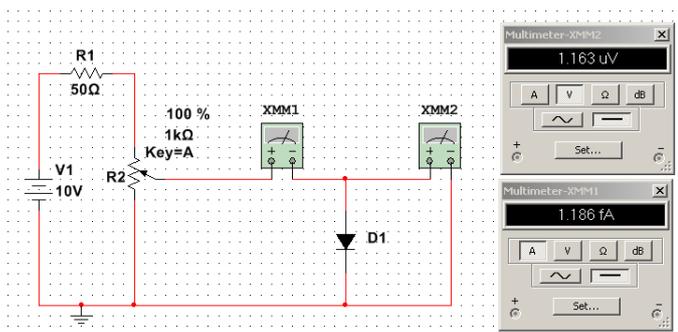


Fig. 61 Circuito para medir a curva característica do diodo em polarização reversa.

1. No circuito da Fig. 61 dê um *click* com o botão direito do *mouse* sobre o potenciômetro;
2. Escolha <Propriedades> do componente;
3. Ajuste o valor da resistência para 1 k Ω ;
4. Escolha a tecla <key> de controle. A letra minúscula incrementa o valor da resistência e a maiúscula decrementa;
5. Ajuste o valor de incremento do valor de resistência para 10%;
6. Ajuste o valor da fonte em 100 V;
7. Iniciando em 100% da resistência do potenciômetro decrémente os valores gradativamente preenchendo os valores de V_D e I_D na Tabela 1;

14.8 Simulação 2: Curva característica do diodo em polarização direta

Procedimento 2 No circuito da Fig 61 inverta a posição do diodo conforme Fig. 62.



Referências

- 1 D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamentos de Física, Vol. III, LTC, 4^a ed., Rio de Janeiro, 1993.
- 2 <http://www.exsto.com.br/produto-eletronica-xa101-banco-de-ensaios-em-eletronica-analogica>

Fig. 62 Circuito para medir a curva característica do diodo em polarização direta.

Tabela 2 Dados de tensão e corrente no diodo em polarização direta. Valor da fonte em 10 V.

%R2	V_D (volt)	I_D (10^{-3} A)
100%		
95%		
90%		
85%		
80%		
75%		
70%		
65%		
...
05%		
00%		

1. Ajuste o valor de incremento do valor de resistência para 5%;
2. Ajuste o valor da fonte em 10 V e repita o procedimento da simulação anterior preenchendo a Tabela 2;
3. Ajuste o valor da fonte em 100 V e repita o procedimento preenchendo a Tabela 3;
4. Apresente a curva I_D versus V_D do diodo;

Ciências – Física – Eletricidade e Eletrônica – 5 Diodos (P1373900)

PHYWE
excellence in science

5.3 A curva característica de um diodo de silício

Experimento desenvolvido por: Zenner1

Impresso: 4/Nov/2015 11:12:18

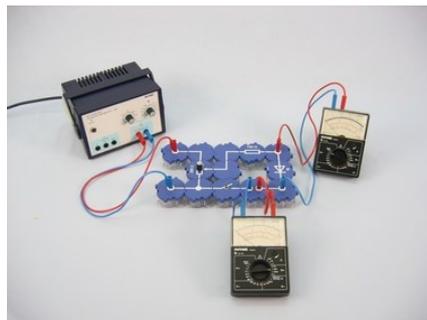
interTESS (Version 11.10 B193, Export 2000)

Tarefa

Tarefa

Que propriedades de um diodo podem ser derivadas de sua curva característica?

Determine a dependência da intensidade da corrente que flui por um diodo através da queda de tensão do diodo.



Montagem

Montagem

Monte o circuito conforme mostra em Fig. 1 e fig. 2, com o interruptor aberto; conecte o diodo no sentido correto; selecione os ranges de medição de 1 V e 30 mA.

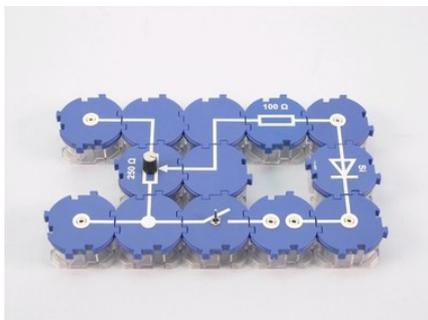


Fig. 1

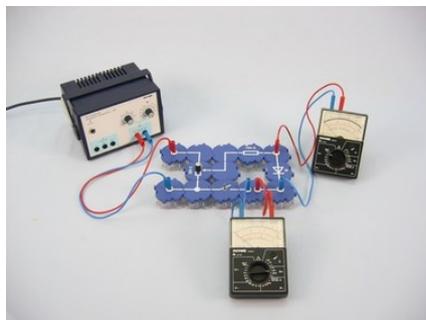


Fig.

Execução

Execução

- Gire o botão giratório do potenciômetro para o pnto final à esquerda, ligue a fonte de alimentação e ajuste-a para 12 V corrente contínua.
- Feche o interruptor.
- Aumente a tensão contínua em passos adequados até 0.7 V, meça a corrente em cada passo (corrente de estado de condutibilidade) e anote na Tabela 1 (página de resultados) os valores medidos.
- Selecione o range de medição de 300 mA e aumente a tensão além dos 0.7 V; anote o valor medido.
- Finalmente retorne a tensão aos 0 V, selecione o range de medição de 3 V e rotacione o diodo a 180°.
- Feche o circuito, determine a corrente (corrente reversa) para 1 V e 2 V e anote os valores na Tabela 1 (como valores de tensão negativa).
- Desligue a fonte de alimentação.

Questão 1:

Por que um gráfico como o apresentado no diagrama na página de resultados e chamado de curva característica?

Anote as informações que você pode derivar da curva característica referente ao comportamento do diodo.

Questão 2:

Qual a função do resistor de 100 Ω no circuito?

Resultados típicos

U_D em V	I_D em mA
0.0	0
0.2	0
0.4	0
0.6	2
0.65	6
0.7	19
0.75	51
0.77	90
-1.0	0
-2.0	0



Ciências – Física – Eletricidade e Eletrônica – 16 Diodos, Parte 2
(P1377900)

PHYWE
excellence in science

16.1 A curva característica de diodos Zener

Experimento desenvolvido por: Zenner1

Impresso: 4/Nov/2015 11:26:58

interTESS (Version 11.10 B193, Export 2000)

Montagem

Montagem

Primeiro experimento

Monte o circuito conforme mostra em Fig. 1 e Fig. 2. Conecte o diodo zener no sentido correto. Selecione os ranges de medição de 1 V- e 30 mA-. Certifique-se que a polaridade dos multímetros esteja correta e que os mesmos estejam conectados corretamente.

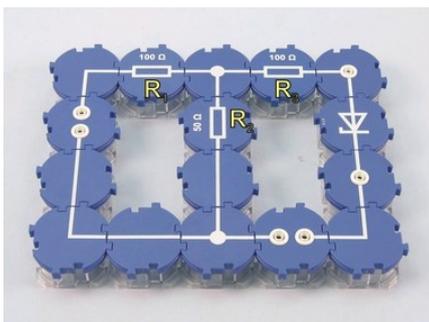


Fig. 1

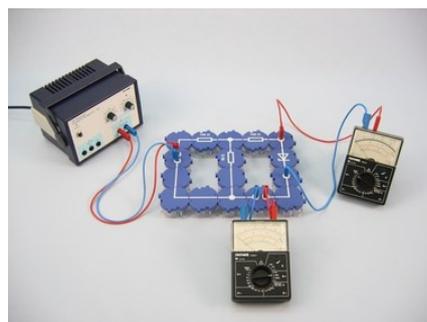


Fig. 2

Segundo experimento

Monte o circuito conforme mostra em Fig. 3 e Fig. 4.

Nota: Certifique-se de alterar a polaridade do diodo zener. Atere o range de medição para a tensão para 10 V-.

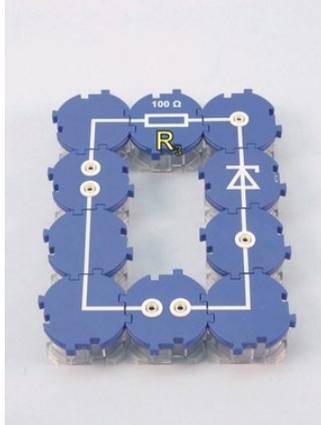


Fig. 3



Fig. 4

Execução

Execução

Primeiro experimento

- Ligue a fonte de alimentação. Aumente a tensão U_p na fonte de alimentação de 0 V a 10 V em incrementos de 1 V. Meça a tensão com o diodo no sentido correto U_F e a corrente com o diodo no sentido correto I_F . Anote as medições na Tabela 1 na página de resultados.
- Desligue a fonte de alimentação.

Segundo experimento

- Ligue a fonte de alimentação. Aumente a tensão U_p na fonte de alimentação de 0 V a 10 V em incrementos de 1 V. Meça a tensão com o diodo no sentido inverso U_R e a corrente com o diodo no sentido inverso I_R . Anote as medições na Tabela 2 na página de resultados.
- Desligue a fonte de alimentação.

Resultados

Resultados

Tabela 1

Nível de tensão na fonte de alimentação U_f em V	Tensão com o diodo no sentido correto U_f em V	Corrente com o diodo no sentido correto I_f em mA
0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Tabela 2

Nível de tensão na fonte de alimentação U_F em V	Tensão com o diodo no sentido inverso U_R em V (com sinal negativo)	Corrente com o diodo no sentido inverso I_R em mA (com sinal negativo)
0	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1	<input type="text"/>	<input type="text"/>
2	<input type="text"/>	<input type="text"/>
3	<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	<input type="text"/>	<input type="text"/>
5	<input type="text"/>	<input type="text"/>
6	<input type="text"/>	<input type="text"/>
7	<input type="text"/>	<input type="text"/>
8	<input type="text"/>	<input type="text"/>
9	<input type="text"/>	<input type="text"/>
10	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Nível de tensão na fonte de alimentação U_F em V	Tensão com o diodo no sentido inverso U_R em V (com sinal negativo)	Corrente com o diodo no sentido inverso I_R em mA (com sinal negativo)
0	0	0
1	-1	0
2	-2.1	0
3	-2.8	0
4	-3.9	-1
5	-4.5	-3.2
6	-4.6	-7.8
7	-4.7	-11.5
8	-4.7	-20.0
9	-4.8	-27.5
10	-4.8	-30.0

Fig. 5

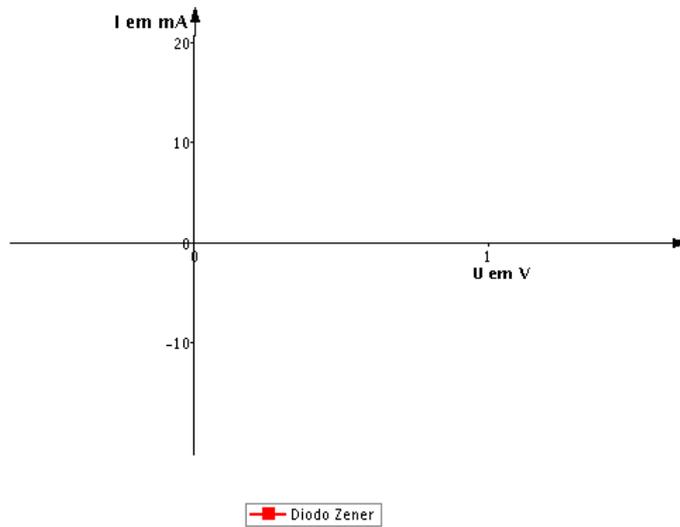
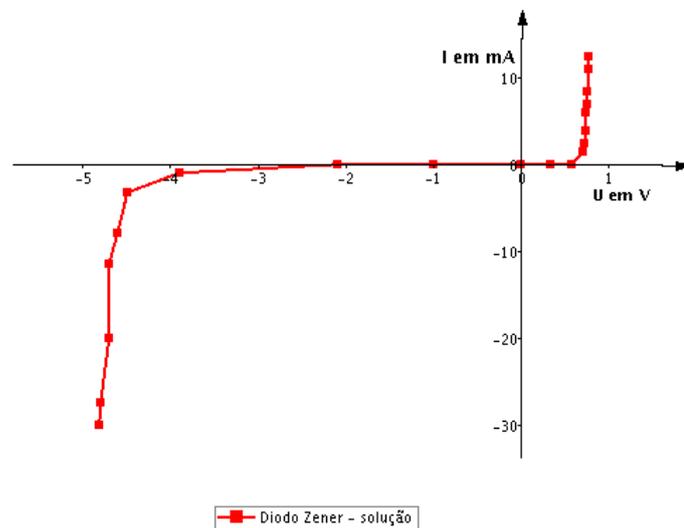


Fig. 5 - Solução



Avaliação

Avaliação

Questão 1:

Descreva o comportamento de um diodo Zener em um circuito. Utilize o termo tensão de Zener em sua explicação. Tensão de Zener é a tensão onde o diodo conectado no sentido inverso perde a habilidade bloqueadora.

Questão 2:

Como diodos Zener diferem-se de diodos retificadores normais?

Questão 3:

Qual o propósito do resistor R_3 ?



Questão 4:

Olhe a curva característica em Fig. 5. O braço esquerdo do gráfico representa a tensão U_R e o braço inferior a corrente I_R (os sinais negativos para ambos os braços são apenas para a realização técnica de indicar o gráfico). Determine a mudança na tensão no sentido inverso quando a corrente é aumentada de 20 mA para 30 mA. Como pode esta característica dos diodos Zener ser utilizada na prática?



Electronics

Components and basic circuits
Diodes

LD
Physics
Leaflets

P4.1.3.3

Recording the current-voltage characteristics of light-emitting diodes (LED)

Object of the experiment

- Studying the current I as a function of the voltage U for LEDs of different colours.

Principles

Virtually all aspects of electronic circuit technology rely on semiconductor components. The semiconductor diodes are among the simplest of these. They consist of a semiconductor crystal in which an n-conducting zone is adjacent to a p-conducting zone. Capture of the charge carriers, i.e. the electrons in the n-conducting and the "holes" in the p-conducting zones, forms a zone of low-conductivity at the junction called the depletion layer. The size of this zone is increased when electrons or holes are pulled out of the depletion layer by an external electric field with a certain orientation. The direction of this electric field is called the reverse direction. Reversing the electric field into forward direction drives the respective charge carriers into the depletion layer, allowing current to flow through the diode.

The experiment compares the characteristics of infrared, red, yellow and green light-emitting diodes. The threshold voltage U is inserted in the formula

$$e \cdot U_s = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

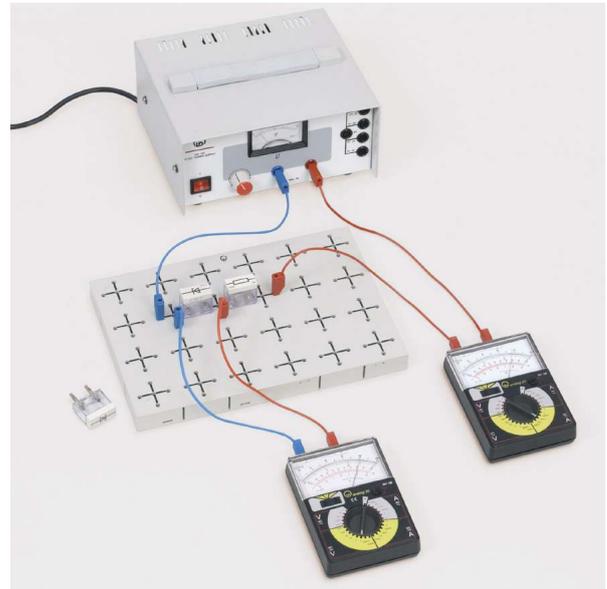
(with e : electron charge; c : velocity of light; h : Planck's constant)

to estimate the wavelength λ of the emitted light.

Apparatus

1 Rastered socket panel DIN A 4	576 74
1 STE Resistor 100 Ω , 2 W	577 32
1 LED, green, top	578 57
1 LED, yellow, top	578 47
1 LED, red, top	578 48
1 LED infrared, lateral	578 49
1 AC/DC Power supply 0...12 V / 3 A	521 485
2 Multimeters LD analog 20	531 120
1 Connecting Lead 100 cm Red	500 441
2 Pair cables 50 cm, red/blue	501 45

Setup



Carrying out the experiment

- Set up the experiment as shown in the figure. Plug in the green LED, the tip of the triangle pointing from plus to minus (in current direction). Pay attention of the measuring range and polarity of the multimeters.
- Record the characteristic: Carefully increase voltage U – starting with 0 V – and observe current I . The current I should not exceed 30 mA.
- For different pairs of voltage U and current I fill in the first two columns of table .
- Repeat the experiment with the other LEDs and fill in the remaining columns of the table.

P4.1.3.3

- 2 -

LD Physics leaflets

Measuring example

Table : Light emitting diodes in conducting-state direction

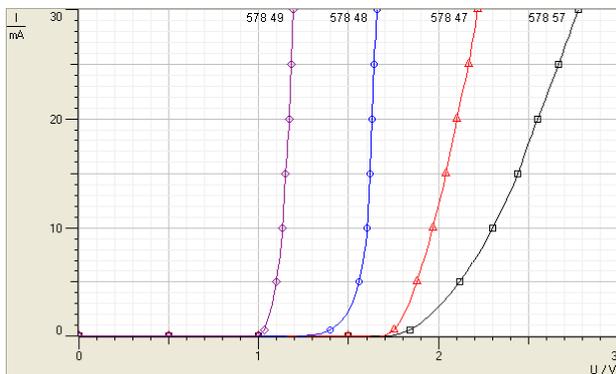
green 578 57		yellow 578 47		red 578 48		infrared 578 49	
$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{mA}$	$\frac{U}{V}$	$\frac{I}{mA}$
0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	0
1.0	0	1.0	0	1.0	0	1.0	0
1.5	0	1.5	0	1.40	0.5	1.03	0.5
1.84	0.5	1.75	0.5	1.56	5	1.10	5
2.12	5	1.88	5	1.60	10	1.13	10
2.30	10	1.97	10	1.61	15	1.15	15
2.43	15	2.03	15	1.63	20	1.16	20
2.57	20	2.10	20	1.64	25	1.18	25
2.67	25	2.17	25	1.66	30	1.19	30
2.78	30	2.22	30				

Cat. No.	Colour	Threshold voltage $\frac{U_s}{V}$	Wave-length $\frac{\lambda}{nm}$
578 57	green (appr. 500...580 nm)	2.1	590
578 47	yellow (appr. 590 nm)	1.9	650
578 48	red (appr. 600...800 nm)	1.6	780
578 49	Infrared (> 800 nm)	1.1	1100

The wavelength of the emitted light of a LED can be roughly approximated by inserting the measured value of the threshold voltage in the above mentioned formula. The emitted wavelength is always a bit shorter than the calculated one, due to the thermal energy of the charge carriers.

With modern LEDs, specifically green/blue ones based on GaN, it is possible that photons are emitted from deeper levels. In this case, the wavelength is smaller than it would be expected from the threshold voltage

Evaluation and results



LEDs are acting like a normal diode.

The threshold-voltage depends on the colour of the emitted light. Choosing a LED with smaller wavelength, i.e. higher frequency of the emitted light results in a higher threshold voltage.

Tabela 3 Dados de tensão e corrente no diodo em polarização direta. Valor da fonte em 100 V.

$\%R2$	$V_D(\text{volt})$	$I_D (10^{-3}\text{A})$
100%		
90%		
80%		
70%		
60%		
50%		
40%		
30%		
20%		
10%		
00%		

Apêndice