



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO
PAULO**

PSI- 3263

**Práticas de Eletricidade e
Eletrônica I**

2016

PSI- 3263 Práticas de Eletricidade e Eletrônica I

Introdução

Pedro Luís Próspero Sanchez

Objetivos:

Ao fim desta aula o aluno deverá ser capaz de:

- Identificar e desenvolver atitudes e expectativas adequadas a conduzi-lo, com sucesso e eficiência, durante o curso de engenharia elétrica.
- Conceituar conhecimento vulgar, conhecimento científico, e conhecimento prático, e apontar a importância de cada uma destas categorias de conhecimento.
- Formular objetivamente uma opinião pessoal a respeito da importância desta disciplina para a sua formação profissional
- Estabelecer suas metas pessoais com respeito ao proveito que deverá tirar da disciplina.
- Conceituar o que é um modelo.

1. Primeiras e mais importantes palavras

Este texto destina-se a ser um material de apoio para um primeiro contato com as disciplinas práticas do curso de engenharia elétrica de nossa escola. Por isso, é um texto atípico, diferente tanto em conteúdo como em estilo das demais apostilas do curso. Nele você vai encontrar algumas orientações gerais que serão úteis tanto no curso como na vida profissional. Também vai encontrar algumas questões de cunho filosófico, para reflexão.

O estudo da eletricidade, de forma mais ampla, e da eletrônica, em particular, é fortemente baseado em formulações teóricas nas quais utilizamos modelos matemáticos que são muitas vezes complexos*. O entendimento dessas formulações e modelos é muito importante para que o aluno tenha sucesso no acompanhamento do curso. Quem se dispõe a aprender eletricidade ou eletrônica deverá enfrentar com sucesso uma quantidade bastante grande de fórmulas matemáticas, o que por si só é motivo suficiente para o terror de muitos. No entanto,

* Nesta altura você talvez ainda não saiba o que é um modelo matemático. Mais à frente vamos dar uma noção. Por enquanto, leia como se estivesse escrito apenas “fórmula matemática”.

ser um gênio matemático não é requisito para se sair bem em eletricidade. Habilidade matemática pode ajudar, mas não resolve.

É muito importante ter em mente que os modelos teóricos são meras aproximações da realidade que pretendem representar. Por isso, não basta saber as fórmulas, porque todas elas, sem exceção, são inúteis e nocivas se não se souber como e quando aplicá-las. É preciso, mais que tudo, entender o que elas representam. Repito: é preciso entender o que elas representam.

Costuma ocorrer um momento mágico, em que o aluno percebe estar diante de uma bela expressão matemática da qual não consegue apreender o pleno significado. É nesse momento que se decide se o aluno irá adquirir o dom divino de conjurar as forças da natureza, tornando-se um mago da eletrônica, se será capaz de concluir seu curso sem maiores percalços, ou se terá destinos outros. Quando você se deparar com essa situação, pare e sane sua dificuldade. Se for durante a aula, pare o professor e exponha sua dúvida. *Em nenhuma hipótese prossiga deixando algo obscuro para trás. Você está em meio a um processo cujas etapas sucessivas são construídas sobre as bases oferecidas pelas etapas anteriores. Não tenha ilusões de que poderá aprender eletrônica, no nível que lhe será exigido, deixando pequenas dúvidas para trás.*

Nesta disciplina exige-se que o aluno venha preparado para a aula, tendo lido a apostila correspondente e realizado algum trabalho prévio. Faça o mesmo em todas as outras disciplinas. Se você o fizer, você terá condições de aproveitar melhor as aulas. Para isso você precisa saber qual será o assunto da próxima aula. Se o professor não informá-lo sobre o assunto da próxima aula, pergunte. Exija um curso de qualidade, mas faça também a sua parte, empenhe-se. Não seja passivo em sala de aula, participe, questione.

Um professor deve ser um facilitador da aprendizagem, e não um mero repetidor de textos. Leitura de textos se pode fazer em casa, de forma muito mais proveitosa, e segundo o ritmo de cada um. Por isso, ele deve ir além dos textos, inclusive os seus próprios. Preste muita atenção às contribuições pessoais que o professor der em aula, às observações que ele fizer fora dos textos – essa é a grande contribuição que ele pode lhe dar em sala da aula. Para ele seria muito mais fácil prender-se ao texto, manter-se no antigo caminho traçado e repisado pelos outros, com medo de errar, ou pior, com medo das críticas. Preste atenção nas histórias e casos que ele lhe contar, porque ilustram a experiência de vida de alguém que passou por caminhos que você pretende percorrer. Se o professor “viajar”, viaje junto. Um professor, a

palavra grega já dizia, é um guia. Se você não acompanhar o guia, não vai chegar a lugar algum.

Guarde bem que tudo que foi dito acima não se aplica somente a esta disciplina. Aplica-se ao curso todo. Aplica-se à prática profissional.

Nestas alturas o leitor provavelmente estará um tanto incomodado pelo fato deste texto, referente a uma experiência de laboratório de eletricidade, até agora não ter tocado diretamente no tema declarado da aula. Mau sinal. O interesse centrado exclusivamente nos aspectos técnicos, a visão estreita, a incapacidade de perceber o que é essencial, é possivelmente o pior mal de que podem padecer os estudantes. Um mal para toda a vida, e que passa para as futuras gerações*.

Aqueles que não se sentem incomodados talvez sentiram a utilidade do que vinha sendo dito. Com certeza, têm uma mente mais aberta. É provável que estejam mais preparados intelectualmente para aproveitar suas oportunidades na vida. Portanto, neste momento devem estar mais preparados para seguir um curso superior.**

Vamos agora nos aproximar um pouco mais do tema específico da aula.

2. Categorias de Conhecimento – vulgar, científico, teórico, prático

Cada disciplina do curso objetiva dar ao aluno condições de assimilar certo conhecimento, de forma que ele desenvolva habilidades que são consideradas importantes à sua formação.

Aqui se poderiam colocar algumas questões, por exemplo, a respeito do que distingue um curso superior de um curso de nível médio, ou quais habilidades especiais devem ser adquiridas frequentando um curso universitário. Sugere-se estes temas para reflexão e debate, porém aqui não vamos neles nos estender. Interessa-nos pensar sobre quais são os objetivos desta disciplina, e como ela se relaciona com as demais disciplinas do curso.

Esta é uma das disciplinas introdutórias à engenharia elétrica. Mais que isto, é uma disciplina prática, o que em poucas palavras quer dizer que nela os alunos deverão observar ou realizar,

*A preocupação excessivamente centrada nos aspectos técnicos, a atenção profunda porém restrita a problemas técnicos específicos, faz com que os cursos superiores das chamadas carreiras profissionais técnicas sejam como hospitais intelectuais onde se encontram curas fantásticas, mas também verdadeiros focos de infecção intelectual. Em ambientes assim, corre-se o risco de progressivamente perder a capacidade de pensar. Felizmente, há aqueles que são naturalmente imunes, e aqueles que se esforçam para evitar e combater a infecção.

**De qualquer forma, saibam aqueles que não o percebem, que em todo o texto precedente há quantidades razoáveis de técnica, apenas de um tipo diferente daquela que o estudante de engenharia costuma enfrentar. O autor ficará muito feliz de ensinar dela o que sabe.

em concreto, fenômenos ou fatos estudados de forma abstrata, racionalizada, nas assim chamadas disciplinas teóricas.

Tudo para que? Para adquirir conhecimento em uma área específica, que é a eletricidade e a eletrônica. Mas não qualquer espécie de conhecimento, e sim um conhecimento de qualidade, superior, capaz de evoluir, adaptar-se, capaz de atingir objetivos que não somos capazes de hoje prever.

Para o aluno interessado em saber mais sobre ciência do conhecimento, sugere-se que busque referências sobre *gnoseologia*. O tema é fascinante, e um contato mínimo com ele é fundamental para quem pretenda perceber o significado do curso superior, da universidade, da ciência. Segundo a *gnoseologia*, uma possível classificação das formas de conhecimento é a seguinte:

- Conhecimento vulgar;
- Conhecimento científico;
- Conhecimento teórico;
- Conhecimento prático.

O conhecimento vulgar é aquele mais imediato, que se adquire pela mera observação dos fenômenos da natureza. É um conhecimento dos fatos que ocorre de forma fortuita, sem que se estabeleçam nexos de semelhança, sem que determinem suas relações necessárias, e portanto sem abrange-los em uma explicação unificada. É aquilo que no linguajar corrente é chamado de “prática”. Note que esta “prática” não deve ser confundida com o conhecimento prático, que veremos logo mais que é coisa muito diferente.

O conhecimento científico eleva-se acima dos casos particulares, buscando um sentido ou razão que os explique. Procura determinar aquilo que traduz uma uniformidade ou semelhança entre os casos observados. O trabalho científico tenta classificar os fatos e ao mesmo tempo buscar os nexos que os unem. Portanto, o conhecimento científico não é o conhecimento do particular em si, mas o conhecimento geral, do particular em seu sentido de generalidade. É um conhecimento metódico, que segue um processo racional ordenado e ordenatório, que garante uma coerência em suas conclusões, uma *razoável* segurança quanto aos resultados, e principalmente uma satisfatória adequação ao real. Uma teoria é uma forma, ordem ou sistema de leis que torna os fenômenos logicamente compreensíveis. Uma teoria é dotada de lógica, estrutura e coerência. Toda explicação dá-se dentro de um contexto teórico.

Vamos conceituar, mais ou menos livremente, o conhecimento teórico como sendo uma sistematização do conhecimento científico. Portanto, o conhecimento teórico é na verdade fruto de considerável elaboração intelectual, construído sobre as formas de conhecimento, empírico e científico, que o antecederam.*

O conhecimento prático é a capacidade de aplicar o conhecimento teórico de maneira a atingir objetivos concretos. É o conhecimento que permite prever o resultado que decorreria da existência de uma situação hipotética e, com base nesta previsão, obter aquele resultado através da realização concreta da situação suposta em abstrato. Em outras palavras, corresponde à habilidade de projetar e realizar. Note que o conhecimento prático não é o mesmo que aquilo que vulgarmente se chama de “saber na prática”.

Um curso superior de eletricidade e eletrônica deve oferecer ao aluno condições que facilitem a aquisição do conhecimento científico e do conhecimento prático.

A experimentação é elemento importante do aprendizado. Além disso, as disciplinas de laboratório permitem ao aluno exercitar o conhecimento prático, e verificar as limitações dos modelos teóricos que utiliza.

3. Modelos

Muitas vezes pretendemos adquirir uma compreensão sobre um fenômeno ou um sistema, porém não podemos, ou não é conveniente, estudá-lo diretamente. Isto pode se dar porque o sistema é inacessível, por que é complexo demais, ou porque não podemos de fato afetar suas condições para controlá-lo e estudar seu comportamento. Na impossibilidade de estudar diretamente o sistema original, estudamos um outro que lhe seja semelhante.

* O conteúdo de nossas disciplinas de graduação é tradicionalmente desenvolvido em uma seqüência que é coerente e bem estruturada segundo o ponto de vista teórico. No entanto, conforme vimos, o conhecimento teórico é fruto de considerável elaboração intelectual. As teorias que embasam o curso de engenharia eletrônica são o resultado de uma longa evolução dos conhecimentos a respeito de fenômenos altamente complexos. Por isso, embora dotadas de lógica, estrutura e coerência, as teorias freqüentemente seguem por caminhos muito distantes daquilo que é significativo ao aprendiz, e que portanto caminhos que não são naturalmente compreensíveis.

É preciso ter em mente que o conhecimento acumulado da eletricidade e da eletrônica não foi obtido mediante uma dedução sistemática, seqüencial, lógica, como normalmente é apresentado em nossos cursos. Supõe-se ser essa uma ordem “didática”. Sem dúvida é uma ordem conveniente segundo alguns critérios, porém é inegável que não é a ordem como esse conhecimento foi naturalmente acumulado. Defendo uma abordagem construtivista para o ensino de eletrônica, mas talvez seja muito difícil adotar esta abordagem, em razão das circunstâncias que envolvem nosso sistema educacional.

Para tal, então, substituímos o sistema que é objeto de nosso estudo por outro que admitimos lhe seja semelhante nos aspectos que interessam, porém para o qual estejamos melhor equipados a estudar. A este outro sistema, chamamos de modelo. Estudando o modelo, pretendemos chegar a conclusões que sejam igualmente aplicáveis ao sistema original. Modelos são sempre uma simplificação, portanto imperfeitos.

Existem vários tipos de modelos. Por exemplo, quando estudamos um componente eletrônico e o representamos por uma expressão matemática, estamos usando um modelo matemático. Quando, para estudar o comportamento de uma aeronave, construímos uma miniatura da mesma e a submetemos a testes em um túnel de vento, estamos utilizando um modelo físico. Quando, para estudar o funcionamento de uma válvula eletrônica, colocamos uma série de eletrodos em um tanque d'água, e medimos o potencial elétrico em vários pontos do tanque, estamos utilizando um modelo analógico, e físico também.

É muito importante ter em mente que os *modelos são meras aproximações da realidade* que pretendem representar. Por isso, na utilização do modelo é essencial respeitar as *condições de validade do modelo*, ou seja, as condições nas quais o modelo representa adequadamente o sistema original.

Em eletricidade e eletrônica o uso de modelos matemáticos é a regra. As fórmulas existem aos montes. *Não basta saber as fórmulas*, porque todas elas, sem exceção, são inúteis e nocivas se não se souber *como e quando aplicá-las*, se não se respeitar as condições de validade do modelo. O importante é *entender o que elas representam*. Repito, pela quarta vez: é preciso *entender o que elas representam*.

4. Componente eletrônico e característica elétrica fundamental

Um componente ou dispositivo eletrônico é um *objeto do mundo real*, dotado de um certo número de terminais, que são pontos pelos quais se pode submeter o objeto a esforços de natureza elétrica. Submetido a estes esforços, o objeto do mundo real apresentará um comportamento que lhe é próprio, conseqüência de sua própria natureza física e da maneira como ele foi construído. Esse comportamento observado pode apresentar alguma utilidade, algum interesse de ordem prática, de maneira que podemos então utilizar aquele objeto do mundo real como meio para se atingir aquela utilidade.

Existem inúmeras utilidades que se podem obter dos componentes eletrônicos, por exemplo, produzir luz ou calor. Porém, uma utilidade importantíssima que se pode obter do dispositivo provém exatamente do seu comportamento elétrico, ou seja, da maneira como as

características elétricas observáveis nos terminais do dispositivo relacionam-se entre si. Por exemplo, podemos estabelecer os potenciais elétricos em dois terminais de um dispositivo e observar o potencial elétrico presente em um terceiro terminal. Conhecida a relação entre estas grandezas, e considerando-a útil, podemos utilizar este dispositivo como um meio de produzir o novo potencial a partir dos dois originais.

Um único dispositivo nos permite obter apenas um comportamento singular. Para obter comportamentos mais complexos é mister combinar vários dispositivos, interligando-os de forma que se influenciem mutuamente. Assim são compostos os sistemas eletrônicos nos quais, pela combinação complexa de vários comportamentos mais simples, logramos atingimos um objetivo determinado. É comum encontrar sistemas eletrônicos construídos através da interconexão de um número muito grande, às vezes milhões, de dispositivos.

Um componente eletrônico é um *objeto do mundo real*. Um objeto é escolhido para ser utilizado como componente porque seu comportamento é dominado por alguma característica, o que o torna instrumento adequado a introduzi-la no sistema. Alguns componentes apresentam uma característica dominante que é simples, elementar. Por exemplo, podem apresentar uma proporcionalidade entre tensão e corrente nos terminais (resistência), ou uma proporcionalidade entre corrente e variação de tensão nos terminais (capacitância), ou proporcionalidade entre variação da corrente e tensão nos terminais (indutância). Estes componentes mais simples são utilizados como meios efetivos para se implementar fisicamente essas características idealizadas. Meios efetivos, porém nunca perfeitos.

Para representar, entender e utilizar o componente, empregamos modelos que são meras aproximações. A própria compreensão que temos do componente é um modelo, um produto do intelecto. Uma coisa é o objeto físico, outra a compreensão que dele temos. É preciso a todo o momento ter em mente a distinção entre o componente físico e o seu modelo elétrico. Deve-se sempre lembrar que para o mesmo componente existem múltiplos modelos, que dependem das condições de operação do componente, dos fins do modelo, do tipo de análise que se está fazendo. Se aquilo que se observa na realidade é distinto daquilo previsto pelos modelos, não se deve negar a realidade a favor da verdade presumida dos modelos – com certeza os modelos não representam adequadamente a realidade, seja porque mal usados, seja porque partem de hipóteses a respeito dos dispositivos que simplesmente não correspondem à realidade dos fatos.

É comum que representemos os componentes elétricos por meio de modelos compostos por um número discreto de parâmetros concentrados, como se o componente fosse equivalente a um certo número de dispositivos elementares de características ideais. Representamos um resistor por uma resistência pura, por exemplo. No entanto, especialmente quando estamos lidando com sinais mais rápidos, com sinais em frequências mais altas, necessitamos de uma representação mais perfeita, que só é possível através não mais de um número discreto de elementos ideais de atributos concentrados, porém de elementos distribuídos. Tal se dá, por exemplo, quando temos um condutor que é longo, do ponto de vista dos sinais que são por ele transportados, tal como acontece por exemplo no cabo que conecta uma antena até um aparelho de televisão.

5. Valores nominais e tolerâncias

Para que um componente seja utilizado em aplicações práticas, é necessário especificar suas características principais, que são aquelas que nos garantem que ele operará adequadamente dentro das condições presentes no sistema em que será utilizado. Como exemplos, o valor de um parâmetro relacionado à função que o componente deve realizar, ou a tensão máxima que o componente suporta sem ser destruído, ou a potência máxima que ele pode dissipar em um ambiente a certa temperatura. Estas características que devem ser especificadas são os chamados valores nominais.

Não são fabricados componentes eletrônicos com qualquer combinação de valores nominais porque é inviável produzir economicamente componentes com características arbitrárias. Por conveniência de produção, os componentes são oferecidos em valores nominais padronizados. Na verdade, muito dificilmente um componente produzido comercialmente apresentará características iguais aos valores nominais indicados. Os dispositivos são fabricados utilizando processos que geram produtos com uma certa dispersão de valores. São posteriormente selecionados e separados em faixas de valores nominais, conforme as características que apresentem, e marcados de acordo. O que o fabricante garante é que o componente apresenta um conjunto de características que está dentro da faixa de dispersão declarada (**tolerância**). Um projeto eletrônico deve levar em conta as dispersões de valores dos componentes que utiliza. Deve considerar a pior combinação possível de valores reais, e garantir que o sistema continuará operando satisfatoriamente nesta situação. Desta maneira, estará garantido que ao se passar da etapa de projeto para a etapa de produção, os produtos serão consistentemente satisfatório.

PSI –3263 Práticas de Eletricidade e Eletrônica I

Experiência 1 - Componentes Passivos

Edição 2016

Ronaldo D. Mansano

Objetivos:

Ao fim desta aula o aluno deverá ser capaz de:

- Poder explicar a diferença entre o componente físico e a sua característica elétrica dominante, apontando claramente a distinção entre o componente físico e seu modelo elétrico.
- Conceituar o que é um componente eletrônico passivo e o que é um componente eletrônico ativo, dando exemplos.
- Descrever alguns processos construtivos de resistores, capacitores e indutores, e como esses processos afetam as características elétricas e o aspecto físico dos mesmos.
- Compreender o conceito de curva característica de um componente.
- Compreender e poder explicar os conceitos de valores limites máximos de operação de um componente eletrônico, de dissipação máxima de potência, e de faixa de operação segura.
- Fazer a leitura dos valores nominais de resistores, capacitores, e indutores, através da decodificação de cores e sinais neles presentes.
- Enumerar os critérios mais importantes para a especificação de resistores, capacitores e indutores.

1. Componentes passivos e componentes ativos

Oferecer uma definição simples do que seja *componente passivo* ou *componente ativo* é tarefa arriscada. As expressões são equívocas e possuem mais de um significado.

Do ponto de vista da eletricidade, qualquer elemento que produz energia sob a forma elétrica a partir de outras formas de energia é um *elemento ativo*. Como exemplo, podemos citar a pilha, onde se converte energia química em energia elétrica. Neste ponto do curso, esta é a aceção fácil de se compreender, porém o conceito é um pouco mais abrangente. Um elemento capaz de converter energia elétrica que se apresenta com certas características, transmutando-a ainda em energia elétrica, porém dotada de outras características, também é considerado um elemento ativo. É o caso de um dispositivo amplificador, capaz reforçar a energia associada a um sinal originalmente mais fraco.

Na verdade, seja qual for a forma original da energia, o papel realizado por um elemento ativo é “produzir” mais energia elétrica com uma certa característica que não existia originalmente.

Inversamente, um *elemento passivo* é um elemento que *consome energia* elétrica.

Sabemos que a energia não se perde nem se cria, apenas se transforma. Daí então que podemos concluir que aquele elemento ativo que converte uma forma de energia elétrica em outra, ao convertê-la a reduz. Portanto, do ponto de vista da energia em sua forma original, o mesmo elemento antes considerado ativo deve ser agora ser considerado um elemento passivo. Pense nisto.

E será que existem elementos que são às vezes passivos, às vezes ativos? Será possível apontar exemplos? Vamos apontar um exemplo interessante: a antena de rádio. Uma antena serve tanto para transmitir quanto para receber sinais eletromagnéticos. Quando na transmissão, queremos que a energia produzida pelo equipamento de rádio-emissão seja irradiada aos receptores, da forma mais eficiente possível. Nesta função, desejamos que a antena absorva toda a energia produzida pelo transmissor e a envie ao espaço. A antena, então, é um componente passivo. Inversamente, na recepção, desejamos que a antena receba do espaço a energia irradiada pelo transmissor e a transfira, sob a forma de um sinal elétrico, ao aparelho receptor. Do ponto de vista do receptor, a antena se comporta como um dispositivo ativo.

São inúmeros os componentes passivos utilizados em eletricidade. Três são os mais simples e os mais usados: o resistor, o capacitor, e o indutor.

Sabemos que a energia não se perde nem se cria, apenas se transforma. Daí então que podemos concluir que aquele elemento ativo que converte uma forma de energia elétrica em outra, ao

convertê-la a reduz. Portanto, do ponto de vista da energia em sua forma original, o mesmo elemento antes considerado ativo deve ser agora ser considerado um elemento passivo. Pense nisto.

2. Resistores

Resistores são componentes eletrônicos cuja principal finalidade é controlar a passagem de corrente elétrica. Denomina-se resistor todo condutor, no qual a energia elétrica consumida é transformada exclusivamente, em energia térmica.

A resistência de um resistor é uma característica determinada principalmente por alguns fatores físicos em especial, suas dimensões, material, temperatura de operação, etc...

Todos os corpos apresentam resistência elétrica, ou seja, oferecem oposição à passagem de corrente elétrica. A resistência de um corpo é determinada pelas suas dimensões e pelo material que o constitui, e pode variar conforme a sua temperatura.

Se medirmos a resistência de vários corpos condutores, todos com a mesma seção transversal, feitos do mesmo material e na mesma temperatura, verificaremos que o que apresenta maior resistência é o que tem maior comprimento, o que nos permite concluir que a **resistência elétrica é diretamente proporcional ao comprimento do condutor**. Do mesmo modo se tomarmos vários condutores de mesmo comprimento, todos feitos do mesmo material, e na mesma temperatura, observaremos que a maior resistência é apresentada pelo condutor de menor seção transversal, assim podemos concluir que a **resistência elétrica é inversamente proporcional à seção transversal do condutor**.

Agora se mantivermos as dimensões dos condutores e a temperatura, mas variarmos o material que constitui os mesmos, verificaremos que os condutores apresentam valores de resistência diferentes. A conclusão que podemos tirar disto é que a **resistência elétrica depende do material do condutor**. A característica dos materiais que define isso é a resistividade.

Com o que foi apresentado até o momento podemos enunciar a **segunda lei de Ohm**, que relaciona as características físicas dos condutores com sua resistência:

$$\mathbf{R = \rho \cdot L/A}$$

onde:

R: valor da resistência (Ω)

ρ : resistividade do material ($\Omega \cdot m$)

L: comprimento do material (m)

A: Área da seção transversal (m^2).

Na tabela a seguir são fornecidos os valores de resistividade elétrica de alguns materiais.

Resistividade , a 20 °C, de alguns materiais	
Material	Resistividade ($\Omega.m$)
Cobre	$1,77.10^{-8}$
Alumínio	$2,83.10^{-8}$
Bismuto	119.10^{-8}
Prata	$1,63.10^{-8}$
Níquel	$7,77.10^{-8}$
Nicromel	$99,5.10^{-8}$

3. Processos de Fabricação

Existem vários tipos de resistores, obtidos através de vários processos construtivos. O aspecto e características físicas e elétricas do resistor, e portanto seu campo de aplicação, diferem conforme o processo usado em sua fabricação.

Atualmente são mais utilizados dois processos básicos para a fabricação de resistores: a deposição de filme (camada) de material resistivo, e o uso de fio resistivo enrolado. Estes processos básicos possuem variantes, em que pela escolha de materiais resistivos diversos e das técnicas de deposição do material, bem como do método de ajuste final, se obtêm resistores com características bem diversas.

Utilizando estes dois processos principais de fabricação podemos obter resistências de vários tipos:

- Resistência de carbono aglomerado
- Resistência de película de carbono
- Resistência de película metálica
- Resistência bobinada
- Resistência bobinada vitrificada

Os resistores de filme são obtidos pela deposição de uma camada de material resistivo sobre um material isolante, em geral um bastão cerâmico, dotado de um terminal metálico em cada extremidade. O acabamento é feito com resina epóxi, sobre o qual se faz a marcação dos valores nominais do componente por meio de caracteres ou códigos de cores.

O ajuste do valor dos resistores de filme é feito pelo controle da espessura da camada depositada, e posteriormente pela abertura de um sulco em hélice em sua superfície. Este sulco tende a introduzir um caráter indutivo indesejado, principalmente nos resistores de valor elevado. Pode-se reduzir este efeito indutivo fazendo metade do sulco em hélice girando em um sentido e a outra metade girando em sentido contrário.

Resistores de fio são construídos enrolando um fio metálico de alta resistividade em um suporte cerâmico. Apresentam grande precisão, e podem ser obtidos em valores bastante baixos. Possuem um caráter indutivo apreciável. São muito úteis em situações que requerem alta dissipação de potência, pois suportam temperaturas extremas. Costumam ser muito fáceis de identificar.

Devido a variações nos modos de fabricação e nas aplicações específicas de cada tipo de resistor eles apresentam características bastante específicas e vantagens e desvantagens em sua utilização.

- **Resistores de carbono aglomerado**

Estes resistores são fabricados utilizando uma mistura de pó de grafite com um material neutro (talco, argila, areia ou resina acrílica). A resistência é dada pela densidade de pó de grafite na mistura. O acabamento deste componente é feito com camadas de verniz, esmalte ou resina.

Apresenta baixa precisão pois devido ao método de fabricação que depende da mistura de materiais, pode haver grande disparidade de valores dentro da mesma seqüência de fabricação com tolerâncias de 5%, 10% e 20 %. A oxidação do carbono pode provocar a alteração do valor nominal da resistência, causando problemas na polarização de outros componentes.

Este componente também apresenta altos níveis de tensão de ruído o que o faz impróprio em etapas pré-amplificadoras. A principal vantagem deste tipo de resistor é o seu baixo custo de 3 a 6 vezes menor que os de película metálica.

- **Resistor de película de carbono**

Este componente é fabricado pela deposição em vácuo de uma fina película de carbono cristalino e puro sobre um bastão cerâmico. Para resistores de valor elevado, o valor é ajustado pela abertura de um sulco espiralado sobre sua superfície.

Estes resistores são bastante precisos e menos ruidosos que os de carbono aglomerado, e apresentam grande estabilidade nos circuitos. O sulco espiralado pode assumir caráter indutivo, mas isso pode ser minimizado pelo fabricante. São fabricados com tolerância de $\pm 1\%$ e em valores de até 100 M Ω .

- **Resistor de película metálica**

Este componente é fabricado de um modo muito semelhante ao do resistor de carbono onde o grafite é substituído por uma liga metálica que apresenta alta resistividade ou por um óxido metálico. A película normalmente é inoxidável, o que impede a variação do valor da resistência com o passar do tempo. Pode ser fabricado em espiral o que aumenta a resistência.

Estes componentes tem grande precisão pois o processo é bastante controlado, obtendo-se resistências com tolerâncias entre 0,1% e 2%. As principais desvantagens deste tipo de resistor são seu alto custo e baixa potência de dissipação.

- **Resistor bobinado**

Este componente pode ser fabricado com um material de resistência específica, pela união de vários materiais, ou pelo uso de ligas metálicas. O fio condutor é enrolado em um tubo cerâmico e para evitar curto-circuito entre as espiras, é feito o recobrimento do fio com esmalte que suporta altas temperaturas. As principais vantagens destes componentes são o baixo custo e a alta dissipação de potência. Tem como desvantagem sua grande dimensão.

- **Resistor bobinado vitrificado**

O processo de fabricação é o mesmo do resistor bobinado, tendo como diferenças que o tubo onde é enrolado o condutor é vitrificado e a isolacão entre as espiras é feita com uma camada de material vítreo de grande espessura. Isto permite um melhor isolamento térmico da resistência de outros componentes que podem interferir em suas características elétricas.

- **Resistores variáveis**

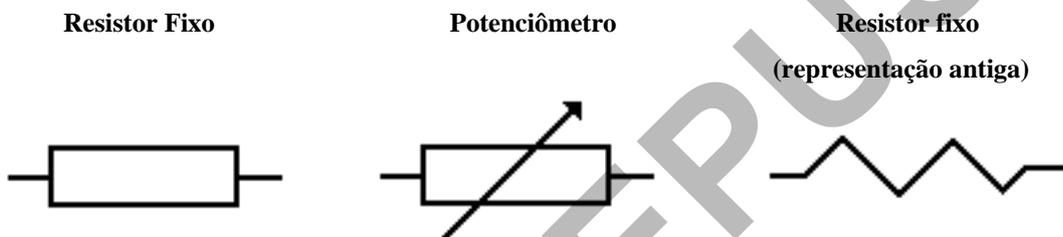
Também podem existir resistores com valores variáveis utilizados em circuitos que precisam de ajustes. Estes componentes são bastante empregados em controle de volume, controle de fontes de alimentação e em filtros. São conhecidos por “Trim pots”, “potenciômetros” ou “reostatos” e podem ser fabricados tanto com películas de carbono, metálicas ou por fio enrolado, e a variação da resistência é obtida pela variação do comprimento do condutor (posição de um cursor sobre as espiras do resistor) ou pela área da película metálica definida entre o cursor e os terminais do componente.

4. Identificação

Todos os componentes eletrônicos devem ser representados graficamente para tornar possível o projeto dos circuitos e o armazenamento de forma gráfica dos mesmos. Assim estes componentes devem ter sinais gráficos que possam torná-los conhecidos mundialmente. Com isso foram criados diversos códigos que os identificam tanto como desenho, quanto como componente em si.

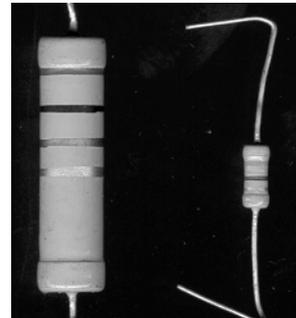
Representação gráfica

A representação de um resistor está associada à sua principal característica de dificultar a passagem de corrente elétrica. Ocorreram variações nesta representação na década de 70. Por isso abaixo apresentamos as duas representações, que podem ser encontradas em circuitos elétricos.



Identificação dos resistores

Dois resistores de filme de carbono, marcados com código de cores. Observe os anéis (coloridos). O primeiro anel, mais próximo a uma das extremidades, indica o primeiro algarismo do valor da resistência nominal. O segundo anel, indica o segundo algarismo. Em resistores de alta precisão, anéis adicionais poderão indicar algarismos sucessivos. O penúltimo anel indica o expoente da potência de dez multiplicativa. O último anel indica a tolerância. Sempre estão presentes pelo menos três anéis, indicando dois dígitos e a potência dez; se não houver o quarto anel, a tolerância é de $\pm 20\%$.



Resistores de fio, marcados por meio de inscrições. Notam-se as identificações do fabricante. No exemplo superior, a marcação do valor nominal é 3R3, indicando um valor de $3,3\Omega$. A tolerância de 10% está indicada diretamente. Dissipação máxima de potência também está indicada, porém não é visível na foto.

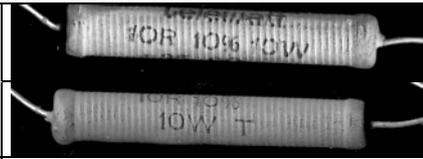


Neste segundo exemplo, lê-se claramente a marcação 10R, indicando o valor nominal de 10Ω , a tolerância de 10%, e a dissipação máxima de potência de 10W.



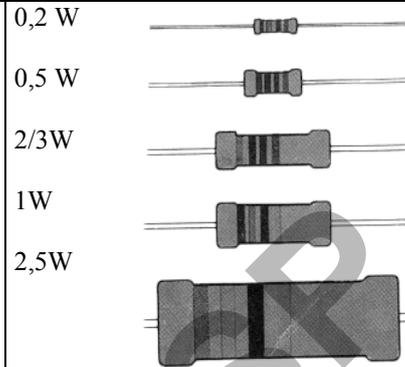
Resistores de fio enrolado

São construídos enrolando-se um fio resistivo sobre um corpo cerâmico. São precisos, e capazes de suportar altas temperaturas. Nas fotos, pode-se perceber a espiral de fio.

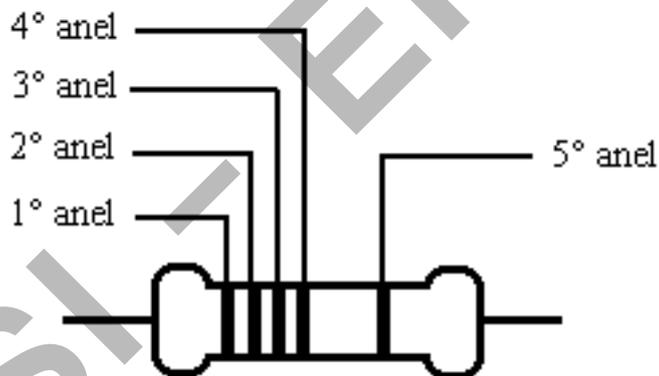


Capacidade de Dissipação de Potência

Para que tenham condição de suportar dissipações de potência mais elevadas, os dispositivos devem apresentar uma maior área externa para irradiar ou transmitir o calor gerado. A ilustração mostra o tamanho real de resistores de filme de carbono, de diversas capacidades de dissipação.



Esquema da posição dos anéis de valores para resistores com cobertura de epóxi



Obs.: Os resistores das séries E6, E12 e E 24 não apresentam o 4°anel. Com isso o fator de multiplicação é dado pelo 3° anel.

Tabela de cores para resistores séries E48 e E96 (Película metálica)

Cor	1º. anel	2º. anel	3º. anel	4º. anel	5º. anel
Preto	-	0	0	10^0	
Marrom	1	1	1	10^1	± 1 %
Vermelho	2	2	2	10^2	± 2 %
Laranja	3	3	3	10^3	
Amarelo	4	4	4	10^4	
Verde	5	5	5	10^5	
Azul	6	6	6	10^6	
Violeta	7	7	7	10^7	
Cinza	8	8	8	10^8	
Branco	9	9	9	10^9	
Prata	-	-	-	0,01	
Ouro	-	-	-	0,1	
nenhuma	-	-	-		

**Tabela de cores para resistores séries E6, E12 e E 24 (película de carbono)
(usados nesta experiência)**

Cor	1º. anel	2º. anel	3º. anel	4º. anel
Preto	-	0	10^0	
Marrom	1	1	10^1	
Vermelho	2	2	10^2	
Laranja	3	3	10^3	
Amarelo	4	4	10^4	
Verde	5	5	10^5	
Azul	6	6	10^6	
Violeta	7	7	10^7	
Cinza	8	8	10^8	
Branco	9	9	10^9	
Prata	-	-	0,01	± 10%
Ouro	-	-	0,1	± 5%
nenhuma	-	-		± 20 %

Valores nominais de resistência para resistores comerciais padrão EIA/MIL/IEC		
±5%	±10%	±20%
1,0	1,0	1,0
1,1		
1,2	1,2	
1,3		
1,5	1,5	1,5
1,6		
1,8	1,8	
2,0		
2,2	2,2	2,2
2,4		
2,7	2,7	
3,0		
3,3	3,3	3,3
3,6		
3,9	3,9	
4,3		
4,7	4,7	4,7
5,1		
5,6	5,6	
6,2		
6,8	6,8	6,8
7,5		
8,2	8,2	
9,1		

5. Capacitores

Um capacitor também apresenta uma característica elétrica dominante que é simples, elementar. Apresenta uma proporcionalidade entre corrente entre seus terminais e a variação da diferença de potencial elétrico nos mesmos. Ou seja, possui uma característica elétrica dominante com a natureza de uma capacitância. Um capacitor é fundamentalmente um armazenador de energia sob a forma de um campo eletrostático.

Existem vários tipos de capacitores, numa variedade bem maior do que a dos resistores. O aspecto e características físicas e elétricas do capacitor dependem bastante do material e do processo usado em sua fabricação. Portanto, também sua utilidade.

Freqüentemente capacitores são utilizados com o fim de eliminar sinais indesejados, oferecendo um caminho mais fácil pelo qual a energia associada a esses sinais espúrios pode ser escoada, impedindo-a de invadir o circuito protegido. Nestas aplicações, normalmente quanto maior a capacitância melhor o efeito obtido. Portanto, o pior caso é quando a capacitância é mínima. Por isso, alguns tipos de capacitor que são empregados nesta função de filtragem podem possuir tolerâncias para mais muito grandes, sem qualquer problema. Podem mesmo possuir tolerâncias assimétricas, por exemplo, 80% para mais e 20% para menos. Já capacitores empregados em aplicações que requerem maior precisão, tais como os capacitores que determinam a freqüência de oscilação de um circuito, possuem tolerâncias menores.

6. Tipos de Capacitores

Capacitores são construídos colocando-se duas superfícies condutoras em proximidade, de forma a que as cargas elétricas presentes em cada uma das superfícies tenham condição de produzir um campo elétrico que afeta as cargas na superfície oposta. Desta maneira, a estrutura tem condição de armazenar energia sob a forma de um campo eletrostático. O efeito é mais pronunciado quanto maior for a área das superfícies condutoras em confronto, e quanto mais próximas estiverem.

O campo elétrico será tanto mais intenso, quanto mais próximas, as superfícies estiverem. Por outro lado, quanto maior a distância entre as superfícies condutoras, e quanto maior a capacidade que o meio isolante entre elas tiver de resistir ao campo elétrico (rigidez dielétrica), maior a diferença de potencial que o dispositivo suportará entre seus terminais.

O valor da capacitância de um capacitor de placas paralelas é dada pela expressão:

$$C = \epsilon \cdot A / d$$

Onde:

C: Capacitância

ϵ : Constante dielétrica do isolante = $\epsilon_r \cdot \epsilon_0$

ϵ_r (ou **k**): Constante dielétrica relativa

ϵ_0 : Constante dielétrica do vácuo = $8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m

d: Distância entre as superfícies condutoras

A: Área dos condutores.

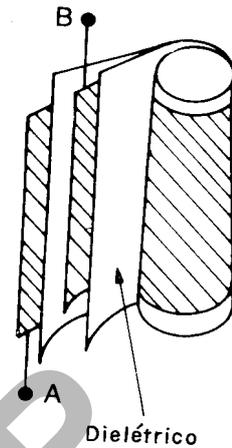
Alguns materiais isolantes proporcionam baixas perdas de energia quando submetidos a campos elétricos variáveis, e por isso funcionam melhor como dielétricos em um capacitor. Um capacitor com baixas perdas aproxima-se mais de uma capacitância ideal, além de sofrer menos com problemas de dissipação de calor.

Na tabela seguinte são fornecidos os valores de rigidez e constante dielétrica de alguns materiais isolantes:

Rigidez e constante dielétrica relativa		
Material	Rigidez (kV/cm)	ϵ_r
Ar	30	1
Vidro	75 - 300	3,8
Ebonite	270 - 400	2,8
Mica	600 -750	5,4 -8,7
Borracha Pura	330	3
Óxido de alumínio	-	8,4
Pentóxido de Tântalo	-	26
Cera de abelha	1100	3,7
Parafina	600	3,5

- **Capacitores de filme metalizado**

Os capacitores de filme metalizado são obtidos pela deposição de uma camada de material condutor, em geral alumínio, sobre um dos lados de uma película de material flexível isolante, em geral um filme plástico de baixas perdas dielétricas, por exemplo, poliéster. Isto feito, duas películas são enroladas uma sobre a outra, de maneira que as superfícies metalizadas não se toquem. Temos assim, dentro de um pequeno volume, uma estrutura em que existem duas superfícies condutoras com uma área bastante grande se confrontando a pequena distância, resultando em uma grande capacitância equivalente. Conecta-se então um terminal a cada superfície metálica. O acabamento é feito com cera fundida, ou com resina epóxi, sobre o qual se faz a marcação dos valores nominais do componente por meio de caracteres ou códigos de cores.



Pela utilização de dielétricos de outros tipos de materiais podem ser obtidos capacitores com características diversas. No passado, antes do advento dos filmes plásticos, utilizou-se muito o papel, normalmente embebido em um óleo mineral, para melhorar as características dielétricas do papel.

Existem capacitores de filme metálico que utilizam diversos dielétricos, que podem ser divididos do seguinte modo:

- Capacitores de mica
- Capacitores de papel
- Capacitores Stiroflex
- Capacitores de polipropileno
- Capacitores de poliéster
- Capacitores de policarbonato
- Capacitores cerâmicos
- Capacitores eletrolíticos de alumínio
- Capacitores eletrolíticos de tântalo

A seguir apresentamos uma breve descrição de cada tipo de capacitor e suas principais características:

- **Capacitores de mica**

São fabricados alternando-se películas de mica (silicato de alumínio) com folhas de alumínio. Sendo a mica um dielétrico muito estável e de alta resistividade, estes capacitores são utilizados em circuitos que trabalham com alta frequência (etapas osciladoras de radio-frequência). Suas capacitâncias variam de 5pF a 100 nF, apresentando elevada precisão.

- **Capacitores de papel**

São fabricados enrolando-se uma ou mais folhas de papel entre folhas metálicas. Todo o conjunto é envolvido em resina termoplástica. Em alguns casos utiliza-se papel metalizado. Esse tipo de componente é barato e é aplicado em usos gerais.

Para melhorar as características destes componentes o papel pode ser impregnado com óleo , o que ocasiona:

- Aumento da rigidez dielétrica
- Aumento da margem da temperatura de aplicação do capacitor
- Aplicação de altas tensões.

- **Capacitores Stiroflex**

É o primeiro capacitor a utilizar o plástico como dielétrico, neste caso o poliestireno. Este material apresenta a constante dielétrica mais baixa entre os plásticos e não sofre influência das frequências altas. É um componente robusto não apresentando degradação em presença de ácidos, umidade ou solventes orgânicos. Do mesmo modo dos anteriores são enroladas folhas de poliestireno entre folhas de alumínio.

As principais vantagens deste tipo de capacitor são: o reduzido fator de perda, alta precisão, tolerância baixa (em torno de 0,25 %), tensões de trabalho entre 30 e 600 V.

- **Capacitores de polipropileno**

O polipropileno é um plástico com propriedades análogas ao polietileno, e apresenta maior resistência ao calor, aos solventes orgânicos e a radiação. O modo de fabricação é o mesmo

utilizado no capacitor de poliestireno. Estes componentes são ideais para aplicação em circuitos de filtros ou ressonantes.

- **Capacitores de poliéster**

Estes componentes foram criados para substituir os capacitores de papel, tendo como principais vantagens sobre os constituídos de papel: maior resistência mecânica, não é um material higroscópico, suporta ampla margem de temperatura (-50 °C a 150 °C) com grande rigidez dielétrica. Por apresentar variações de sua capacitância com a frequência, não são recomendados para aplicação em dispositivos que operem em frequências superiores a MHz.

Os valores típicos são de 2pF a 10 µF com tensões entre 30 e 1000 V.

- **Capacitores de policarbonato**

Idênticos aos de poliéster com valores típicos entre 1 nF e 10 µF com tensões de trabalho entre 60 e 1200 V.

- **Capacitores cerâmicos**

São os mais próximos aos capacitores ideais, pois apresentam:

- Indutância parasitária praticamente nula
- Fator de potência nulo
- Alta constante dielétrica
- Capacitâncias entre frações de pF a 1 nF
- Ideais para circuitos sintonizadores.

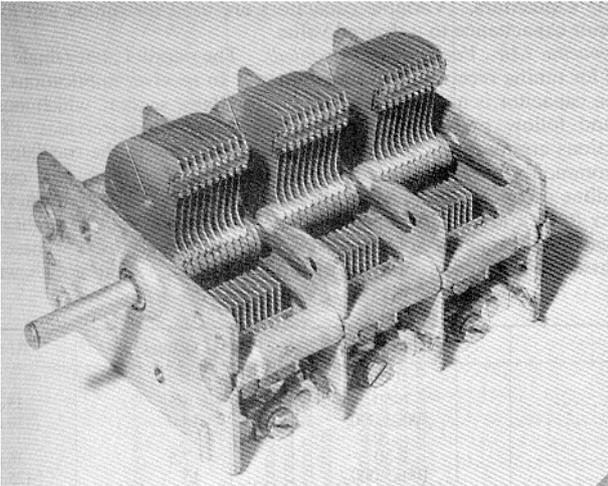
- **Capacitores eletrolíticos de alumínio**

Componentes normalmente utilizados para grandes capacitâncias (1 µF a 20.000 µF). O dielétrico consiste em uma película de óxido de alumínio (Al_2O_3) finíssima que se forma sobre o polo positivo, quando sobre o capacitor se aplica uma tensão contínua. As principais desvantagens deste tipo de componente são a sua elevada tolerância (chegando a 100 % maior que o valor nominal, e 10 % no sentido negativo) e o fato de ser altamente influenciado pela temperatura tanto na capacitância como na resistência de perda.

- **Capacitores eletrolíticos de tântalo**

Componentes de constituição idêntica aos capacitores eletrolíticos de alumínio. O dielétrico utilizado é o óxido de tântalo (Ta_2O_5) que reduz a dimensão destes capacitores em relação aos outros eletrolíticos. Estes componentes apresentam baixas tolerâncias (20 %), tem baixa dependência com a temperatura com máxima tensão de operação de 120 V, mas são mais caros.

- **Capacitores ajustáveis**



Uma categoria importante é a dos capacitores variáveis. Nestes dispositivos, pode-se controlar a área das superfícies condutoras submetidas ao campo elétrico, efetivamente controlando a capacitância. Na figura ao lado, pode-se observar um capacitor variável. Neste capacitor, a rotação de um eixo movimenta um conjunto solidário de placas metálicas que se introduzem mais ou menos

nos vãos entre outro conjunto de placas fixas, sem todavia tocá-las. Este tipo de capacitor é empregado normalmente no controle de frequência de aparelhos de rádio-comunicação. Atualmente tem sido substituído, na maior parte das aplicações, por dispositivos baseados em semicondutores.

- **“Trimmers” e “Padders”**

São capacitores variáveis com pequenas dimensões normalmente utilizados em rádios portáteis e em diversos dispositivos eletrônicos. Tem capacitâncias máximas em torno de 500pF. São utilizados principalmente para o ajuste do valor correto da capacitância total de um circuito.

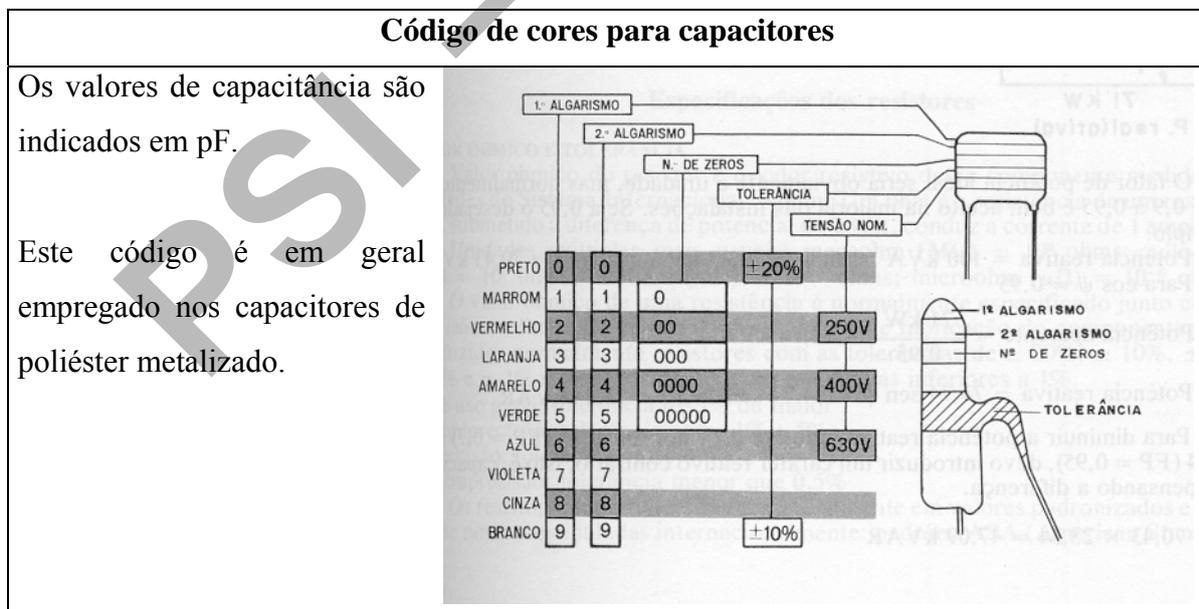
O ajuste pode ser obtido :

- Variando a superfície das placas
- Variando a distância entre as placas
- Variando o material do dielétrico.

7. Escolha do tipo de capacitor

Quando se especifica um capacitor é importantíssimo indicar o seu tipo, pois seu funcionamento e área de aplicação dependem muito de sua construção física. Fora isso, são três as características principais, necessárias à especificação de um capacitor para fins práticos, os chamados valores nominais. Eles são: a *capacitância nominal*, a *tolerância da capacitância nominal*, e a *tensão máxima de operação*. De maneira simplificada mas pouco técnica, normalmente se diz apenas valor nominal, tolerância e tensão máxima – não é recomendável o uso destes termos em textos técnicos mais cuidadosos.

A *capacitância nominal* indica um valor de *referência* para o valor da capacitância equivalente, em baixa frequência, do capacitor. O valor real da capacitância estará dentro de uma faixa em torno do valor nominal, que é indicada pela tolerância. A *tolerância da capacitância nominal* é normalmente indicada sob a forma de uma porcentagem do valor da capacitância nominal, indicando os desvios máximos para cima e para baixo. Valores comuns de tolerância são $\pm 10\%$ e $\pm 20\%$. Similarmente ao que ocorre para os resistores, os valores nominais de capacitância obedecem escalas padronizadas pela indústria. A progressão de valores nestas escalas é semelhante, e segue a mesma sistemática dos resistores. Até mesmo o código de cores empregado na marcação dos componentes é muito semelhante. Veja o diagrama que segue.



Marcação dos Capacitores

Capacitores eletrolíticos têm seus valores indicados por meio de inscrições. Na parte superior da foto, observe a indicação do valor nominal da capacitância, 100 μ F, e da tensão máxima de operação, 25V. A indicação de tolerância não aparece na foto.

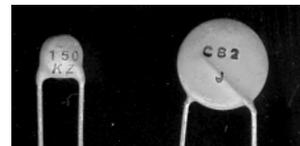


Capacitores eletrolíticos normalmente são polarizados, isto é, requerem que se seja sempre preservado o sentido da diferença de potencial aplicado a seus terminais. No capacitor da parte inferior da foto pode ser observada a indicação do terminal que deve ser mantido no potencial mais baixo, indicado pela seta e o sinal negativo. Inversamente, costuma-se indicar o outro terminal pelo sinal positivo.

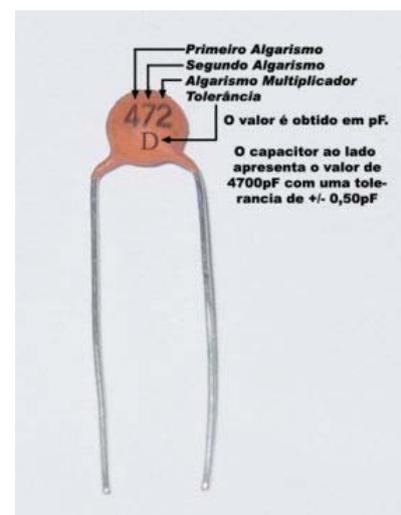
Neste outro exemplo, podemos ver a indicação do fabricante. A marcação 100n indica o valor nominal da capacitância, 100nF. A tensão máxima de operação é de 6,3V. A tolerância não está indicada. Neste caso, a tolerância deve ser obtida a partir das especificações que o fabricante fornece sobre a família de capacitores, identificada pelo aspecto físico geral do componente.



Capacitores cerâmicos são às vezes marcados com códigos de cores, mas em geral são marcados com inscrições. Os valores da capacitância nominal são indicados em pF. São possivelmente aqueles em que as marcações são as mais obscuras. No exemplo da foto, o capacitor da esquerda está marcado 150K. Isso deve ser entendido como 150×10^3 pF, ou seja, 150nF. O da direita, é melhor ainda, pois permite a leitura direta. A marcação diz 082, Portanto, o valor deve ser interpretado como 82 pF. O terceiro algarismo também pode representar o número de zeros, como o exemplo da figura ao lado.



A letra sob o valor da capacitância corresponde a tolerância do componente.



Tolerância

Até 10pF	Acima de 10pF
B=0,10pF	F=1% M=20%
C=0,25pF	G=2% P=+100%-0%
D=0,50pF	H=3% S=+50%-20%
F=1pF	J=5% Z=+80%-20%
G=2pF	K=10%

8. Representação gráfica

A representação gráfica dos capacitores é apresentada em função das placas metálicas e do dielétrico. Os principais símbolos são apresentados a seguir:

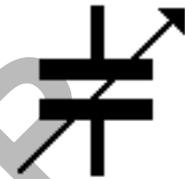
Capacitor fixo



Capacitor eletrolítico



Capacitor variável



9. Indutores

Resistores, capacitores, e outros tipos de dispositivos elétricos estão geralmente disponíveis como componentes comerciais, em valores padronizados, e com características bem conhecidas. Indutores e transformadores, por outro lado, em geral são produzidos especialmente para a aplicação em vista. Com o recente avanço da miniaturização, um certo número de indutores tem sido disponibilizado como elementos padronizados.

Indutores, como os resistores e capacitores, apresentam uma característica elétrica dominante que é simples. Apresenta uma proporcionalidade entre a variação corrente entre seus terminais e a diferença de potencial elétrico nos mesmos. Possui, portanto, uma característica elétrica dominante com natureza de uma indutância. Um indutor é fundamentalmente um armazenador de energia sob a forma de um campo magnético.

Indutores são produzidos enrolando um fio condutor, em geral sobre uma forma de material isolante que lhe dá suporte mecânico. Existem indutores construídos sem qualquer forma, por exemplo quando o próprio fio é suficientemente rígido, ou quando são enrolados diretamente sobre um núcleo magnético.

Este núcleo pode ser apenas um suporte mecânico, ou forma não magnética. Para reduzir perdas, estes suportes são basicamente cilindros ocos, de modo que se diz que o indutor tem núcleo **de ar**. Eventualmente, se o fio for suficientemente sólido a forma pode ser dispensada.

Para aumentar o fluxo de indução magnético causado por uma dada força magneto-motriz e concatenado com a bobina, aumentando sua indutância, usam-se também **núcleos ferromagnéticos**.

Em frequências baixas (até o limite superior das frequências de áudio, ou cerca de 50 kHz) este núcleo pode ser construído com chapas laminadas de ferro silício ou outro material magneticamente “macio”, de alta permeabilidade e baixas perdas.

Para frequências mais altas as perdas desses materiais metálicos seriam proibitivas e usam-se então núcleos de ferrite tipo Ferroxcube. Estes ferrites são materiais cerâmicos, feitos com misturas de óxidos de ferro, zinco, níquel e manganês, cuidadosamente controlados e tratados. O material acabado é estruturalmente estável, com boa resistência mecânica e alta resistividade elétrica. A permeabilidade e as perdas podem ser controladas variando-se as proporções dos óxidos e o respectivo tratamento.

Resumindo, temos então dois grandes tipos de indutores:

- **Indutores com núcleo de ar (não magnético)**

São componentes usados em frequências altas (rádio- frequências) ou em equipamento especial, em que se deseja evitar não-linearidades ou efeitos de temperatura associados com os núcleos magnéticos;

- **Indutores com núcleo ferromagnético**

São componentes adequados quando se quer indutância elevada, em frequências não muito altas. Para frequências de áudio ou menores usam-se normalmente núcleos laminados de ferro-silício ou análogos; para frequências acima dessa faixa recorre-se a núcleos sinterizados de ferrite.

Os indutores **perfeitos**, seriam dispositivos capazes de armazenar energia exclusivamente sob forma magnética, sem nenhuma perda ou dissipação de energia. Nos **indutores reais**, parte da energia fornecida é dissipada, por transformação em calor, seja por efeito da resistência dos fios condutores ou das várias perdas no material do núcleo. Além disso, parte da energia pode ser armazenada sob forma eletrostática, nas capacitâncias associadas com a bobina. Assim sendo, o modelo de um indutor real incluirá uma ou mais resistências **de perdas**, que dão conta da energia dissipada, e uma **capacitância parasita**, que leva em conta o armazenamento da energia sob forma eletrostática. Em geral mede-se a **qualidade** do indutor real por algum **índice de mérito**, associado com as energias armazenada e dissipada. Em linhas gerais, a indutância é proporcional ao número de espiras de fio, segundo uma razão de proporcionalidade que depende dos aspectos geométricos do indutor e do material do núcleo. Caso o indutor tenha núcleo ferromagnético, a indutância também será função da característica do material denominada permeabilidade magnética (μ). Indutores tendem a ser volumosos e pesados, quando comparados com os demais componentes utilizados no mesmo

sistema. Por isso, exceto nas aplicações em que os indutores são utilizados como armazenadores de energia, nas abordagens modernas a tendência é evitá-los e substituí-los por outros elementos.

A indutância **mútua** ocorre quando vários enrolamentos ou bobinas de fio condutor têm um fluxo de indução magnética em comum. Um dispositivo com indutância mútua entre várias bobinas é designado por **transformador**. Em técnica de medidas de alta frequência um dispositivo com indutância mútua variável é chamado **variometro**. Os transformadores podem também ter núcleo de ar ou ferromagnético, sendo este último de ferro-silício ou de ferrite.

10. Transformadores

Para algumas aplicações são necessárias tensões de alimentação diferentes das fornecidas pela rede elétrica. Com isso, às vezes é necessário reduzir e/ou aumentar este valor conforme a aplicação. Este aumento ou redução é feito por intermédio de um dispositivo denominado transformador, cujos princípios básicos são:

Ao aplicarmos ao primário do transformador um sinal variável no tempo, este produzirá um fluxo variável, que por sua vez irá induzir uma tensão no secundário, cuja amplitude poderá ser maior, menor ou igual (transformador de desacoplamento) ao sinal aplicado, dependendo unicamente da relação de espiras (transformador ideal).

O transformador ideal, é aquele que segue a lei:

$$V_1/V_2 = I_2/I_1 = N_1/N_2$$

onde:

V = tensão

I = corrente

N = número de espiras

1 = primário

2 = secundário

Obs.: Neste tópico só apresentamos o conceito básico de transformador. Para o cálculo de um transformador real, o aluno deve procurar referências específicas que orientam o projeto, levando em consideração as perdas e a escolha dos materiais empregados na fabricação destes componentes.

11. Representação gráfica

Bobina/Indutor



Bobina com núcleo ferromagnético



Indutor variável



Transformador



**Transformador com núcleo
Ferromagnético**



**Transformador com núcleo
laminado**



12. Relés

O relé é um comutador elétrico que pode ser operado magnética ou eletromagneticamente. Os relés eletromagnéticos são os mais comuns, especialmente nas aplicações que requerem o controle de um circuito elétrico. Seu funcionamento é simples: a corrente elétrica de um circuito externo flui através de uma bobina, estabelecendo um campo eletromagnético. Um induzido de ferro doce (armadura) é atraído por esse campo o que provoca a abertura ou fechamento de um contato, conforme o tipo de relé. Os dispositivos magnéticos possuem, ao invés de uma bobina, um ímã permanente.

Nos projetos que envolvem relés eletromagnéticos, é preciso considerar o tipo de circuito no qual o dispositivo será instalado. O funcionamento num circuito de corrente contínua, por exemplo, é praticamente o mesmo que um de corrente alternada, ou seja a bobina move-se igualmente e no mesmo sentido nos dois circuitos. Em corrente alternada, no entanto, são necessários alguns

cuidados com relação à formação de outras correntes no núcleo de ferro, correntes essas denominadas *parasitárias*, que podem ser evitadas usando núcleos de chapas laminadas.

Outro ponto importante é a escolha das características dos contatos, que deve ser feita em função do circuito em que serão utilizados. Num equipamento de comutação de potência, por exemplo, é preciso levar em conta que o *centelhamento* pode danificar as superfícies dos contatos, modificando-as e levando-as a permanecerem encostadas. As superfícies costumam ser feitas de cobre, mas podem ser fabricadas em ferro ou ouro que as torna mais duráveis e oferecem maior segurança.

A disposição dos contatos também é importante e depende da seqüência de operações que deve ser realizada no circuito externo: fechamento, abertura, comutação; fechamento antes da abertura; fechamento depois da abertura. Os relés usados em centrais telefônicas, por exemplo, fazem combinações dessas seqüências e cada um deles pode operar até seis conjuntos de contatos.

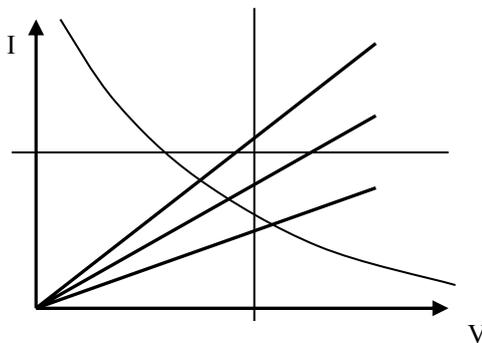
A força de atração do eletroímã determina o número de contatos que um relé pode operar, e conseqüentemente, sua velocidade de operação. Circuitos que exigem alta velocidade devem ter relés em que a massa das partes móveis (induzidos e contatos) tenha sido reduzida; nestes circuitos, é preciso também que a indutância da bobina seja a menor possível, o que se consegue reduzindo o número de espiras. Isso, porém diminui a força de atração da bobina, tornando necessário o uso de elevadas correntes de controle no relé. A situação inversa também ocorre: velocidades lentas de operação são obtidas com o aumento do número de espiras na bobina, ou com a adição de um indutor em série ou um capacitor em paralelo. Um tipo importante de relé não convencional é o *automantido* em que se utilizam pulsos de corrente para a comutação do circuito, ao contrário do que ocorre nos relés comuns em que a comutação é feita pela passagem ou interrupção da corrente. O relé *automantido* é composto geralmente por duas bobinas e dois induzidos.

Os relés de *lingüeta* e de *palheta* (*reed switch or dry reed contact*) foram criados para isolar a superfície dos contatos da contaminação atmosférica, responsável pela alteração do valor de suas resistências. Nos de palheta a solução foi envolver suas partes móveis em uma atmosfera inerte, geralmente nitrogênio seco.

comportamento de forma adequada para certos fins, e nos permitem por exemplo saber como o dispositivo se comportará quando submetido a determinadas condições.

Por exemplo, podemos traçar as curvas que relacionam a corrente que passa pelos terminais de um dispositivo com a tensão entre esses mesmos terminais, em distintas temperaturas. Talvez obtenhamos uma família de curvas como representada no gráfico abaixo.

São comuns e bastante importantes as curvas que relacionam a corrente que passa através do dispositivo com a diferença de potencial presente entre os terminais de entrada e saída dessa mesma corrente. Uma das razões dessa importância é que o produto da corrente pela tensão vai indicar a potência absorvida (ou fornecida) pelo dispositivo.



Os dispositivos elétricos reais possuem capacidades limitadas de suportar tensões, conduzir correntes, e dissipar potência. Para saber qual a região de operação segura do dispositivo, podemos traçar, no gráfico das curvas características ao lado, uma linha horizontal que representa o limite máximo da corrente suportável. Da mesma forma, podemos delimitar com uma linha vertical o valor limite das tensões. Finalmente, uma hipérbole que corresponde ao produto tensão×corrente igual à potência máxima delimita a região em que não é excedida a máxima dissipação de potência. A região, ou área, de operação segura é aquela delimitada entre as três linhas. Sempre que o dispositivo operar fora desta área, sua integridade física estará ameaçada, sendo o resultado mais comum a degradação acelerada, terminando pela destruição do componente.

15. Referências

1. Delcyr Barbosa Saraiva “Materiais Elétricos”, Guanabara Koogan, 251 pp, 1988.
2. Antonio Marco Vicapi Cipelli; Waldir João Sandrini “ Teoria e Desenvolvimento de Projetos de Circuitos Eletrônicos”, Érica, 580pp. 1979.
3. Paulo José Mendes Cavalcanti “ Fundamentos de Eletrotécnica”, Freitas Bastos, 223 pp, 1977.
4. Robert L. Boylestad, “Introdução à Análise de Circuitos”, Prentice-Hall do Brasil, 10ª. Ed., 2003.
5. www.howstuffworks.com

Anexo I – Placa de Componentes

