

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
EEL7011 – Eletricidade Básica

AULA 01
ERROS, PADRÕES, CORRENTE, TENSÃO, LEI DE OHM, POTÊNCIA
E ENERGIA

1 INTRODUÇÃO

A tecnologia moderna exige que as avaliações das grandezas que tomam parte nos fenômenos físicos sejam feitas com precisão e exatidão cada vez maiores. Na engenharia elétrica, a medida de certas grandezas é de fundamental importância tanto na pesquisa, quanto na monitoração, funcionamento seguro, proteção e controle de equipamentos eletroeletrônicos e redes elétricas.

Um dos objetivos desta disciplina é fornecer noções básicas para as medições elétricas, estudando os instrumentos mais comumente empregados nestas medições.

A disciplina tem como finalidade capacitar o aluno para solucionar os problemas básicos das medições elétricas.

- O que medir;
- Com que medir;
- Como avaliar a medição.

Na medição elétrica as grandezas fundamentais são:

- Corrente;
- Tensão;
- Frequência;
- Potência.

Além disso, existem outras grandezas que podem ser medidas, tais como:

- Resistência;
- Capacitância;
- Indutância;
- Fator de potência;
- Energia.

Os instrumentos normalmente utilizados na medição elétrica são do tipo:

- Bobina móvel (A, V, Ω);
- Ferro móvel (A, V);
- Eletrodinâmicos (W, A, V, $\cos \phi$);
- Lâminas vibratórias (Hz);
- Indução (K Ω);
- Eletrostáticos (V);
- Eletrônicos (A, V, Hz).

Além disso, o conhecimento sobre as grandezas a serem medidas é de fundamental importância nas tarefas práticas do curso de Engenharia Elétrica. Por isso, nesta aula serão vistos alguns conceitos importantes referentes às principais grandezas elétricas.

2 ERROS EM MEDIDAS

2.1 Algumas definições importantes

Erro

É o desvio observado entre o valor medido e o valor verdadeiro (ou aceito como verdadeiro).

Valor verdadeiro

É o valor exato da medida de uma grandeza obtido quando nenhum tipo de erro incide na medição.

Na prática é impossível eliminar todos os erros e obter um valor aceito como verdadeiro. Utiliza-se uma medida de uma amostra de um determinado número de medidas técnicas, usando o mesmo material e mantendo-se as mesmas condições ambientais, usando então este valor como verdadeiro.

Exatidão

É a característica de um instrumento de medida que exprime o afastamento entre a medida nele observada e o valor de referência aceito como verdadeiro.

Precisão

Refere-se a maior ou menor aproximação da medida em termos de casas decimais. A precisão, portanto, revela o rigor com que um instrumento de medida indica o valor de uma certa grandeza.

Classe de exatidão

É o limite de erro, garantido pelo fabricante de um instrumento, que se pode cometer em qualquer medida efetuada pelo mesmo, ou seja, é uma classificação do instrumento de medida para designar a sua exatidão. O número que a designa chama-se índice de classe.

Índice de classe (IC)

Número que designa a classe de exatidão, o qual deve ser tomado como uma porcentagem do valor de plena escala de um instrumento.

Escala de um instrumento

É o intervalo de valores que um instrumento pode medir. Normalmente vai de zero a um valor máximo que se denomina calibre ou valor de plena escala.

Valor de plena escala

É o máximo valor da grandeza que um instrumento pode medir.

Erro absoluto (δX)

É a diferença algébrica entre o valor medido (X_m) e o valor aceito como verdadeiro (X_v). Assim, pode-se dizer que o valor verdadeiro situa-se entre:

$$X_m - \delta X < X_v < X_m + \delta X$$

Neste caso, δX é o limite máximo do erro absoluto ou simplesmente erro absoluto. Assim, diz-se que:

- Se $X > X_v$, o erro é por excesso;
- Se $X < X_v$, o erro é por falta.

Erro relativo (ε)

É definido como a relação entre o erro absoluto (δX) e valor aceito como verdadeiro (X_v) de uma grandeza, podendo ou não ser expresso em percentual.

$$\varepsilon = \frac{\delta X}{X_v} \quad \text{ou} \quad \varepsilon\% = \frac{\delta X}{X_v} \cdot 100$$

Para efeito de cálculo do erro relativo, pode-se considerar $X_v = X_m$, logo:

$$\varepsilon = \frac{\delta X}{X_m}$$

Classificação dos erros

Os erros podem ser classificados como:

- Grosseiros;
- Sistemáticos;
- Acidentais, aleatórios ou residuais.

3 PADRÕES

Todas as medições realizadas na prática são feitas através de instrumentos de medição que foram previamente calibrados por comparação com outros instrumentos de medidas, denominados padrões de medidas.

3.1 Padrão

É um instrumento de medida destinado a definir, conservar ou reproduzir a unidade base de medida de uma grandeza.

Os padrões podem reproduzir a unidade base de medida, bem como seus múltiplos e submúltiplos.

Padrão primário

É como se denomina o padrão que possui as mais elevadas qualidades de reprodução de uma unidade de medida de uma grandeza. Os padrões primários nunca são utilizados diretamente para medições, a não ser na geração de padrões secundários. São conservados em condições especiais de ambiente nos laboratórios nacionais.

Padrão secundário ou padrão de trabalho

É um intermediário entre os padrões primários que viabiliza a distribuição das referências de medidas para os laboratórios secundários, onde são utilizados para aferição dos instrumentos de medidas.

A principal característica deste padrão é a permanência, que é a capacidade do mesmo em conservar a classe de exatidão por maior espaço de tempo, dentro de condições especificadas de utilização.

Qualidades exigidas de um padrão

- Ser constante;
- Ser de alta precisão;
- Ser consistente com a definição da unidade correspondente.

Não existe padrão permanente. O que existe são padrões com elevado grau de permanência.

Calibração e manutenção de padrões

A calibração de padrões é feita regularmente através de laboratórios nacionais, comparando-os com os padrões definidos como primários para uma grandeza especificada.

Esta comparação também é chamada aferição. O processo de aferição permite a criação de padrões secundários, que poderão servir de padrões intermediários ou de transferência.

4 ALGUMAS NOÇÕES IMPORTANTES SOBRE MEDIDAS**4.1 Notação**

O resultado de uma medida (X) é constituído por três itens, a saber:

- Um número representado por x ;
- Uma unidade representada por u ;
- Uma indicação da confiabilidade, indicada pelo erro provável (Δx).

Desta forma tem-se:

$$X = (x \pm \Delta x)u$$

Após o erro, quando representado, e a unidade deve haver um caractere de espaço. Maiores informações podem ser obtidas no documento “*Unidades Legais de Medidas*” do Inmetro (<http://www.inmetro.gov.br>).

4.2 Algarismos significativos

Os resultados de uma medida devem ser representados com apenas os algarismos de que se tem certeza mais um único algarismo duvidoso.

4.3 Critérios de arredondamento

Ao realizar operações com medidas realizadas em diferentes instrumentos, que possuem diferentes números de algarismos significativos, exprime-se o resultado final com apenas um algarismo duvidoso, isto é, mantém-se o menor número de algarismos significativos.

Durante as operações, podem-se expressar os resultados intermediários com todos os algarismos possíveis, a fim de diminuir o erro devido aos arredondamentos. Apenas no final é que se arredonda o resultado para preservar um algarismo duvidoso. A regra a ser seguida é:

- Quantidade após o algarismo duvidoso maior que 5, 500, etc. → arredonda-se o algarismo duvidoso para mais;
- Quantidade após o algarismo duvidoso menor que 5, 500, etc. → arredonda-se o algarismo duvidoso para menos;
- Quantidade após o algarismo duvidoso igual a 5, 500, etc. → torna-se o algarismo duvidoso par.

O erro, com exceção do percentual, sempre deve ser representado com apenas um algarismo significativo.

Maiores informações sobre os itens vistos neste tópico podem ser esclarecidos consultando o livro “*Introdução ao Laboratório de Física*”, da Editora da UFSC.

5 INSTRUMENTOS ELÉTRICOS DE MEDIÇÃO

5.1 Instrumentos elétricos de medição analógicos

Os instrumentos elétricos empregados na medição das grandezas elétricas apresentam um conjunto móvel que é deslocado aproveitando um dos efeitos da corrente elétrica: efeito térmico, efeito magnético, efeito dinâmico, etc.

Preso a um conjunto móvel, está um ponteiro que se desloca na frente de uma escala graduada de valores da grandeza que o instrumento é destinado a medir.

Os instrumentos mais utilizados são os instrumentos de bobina móvel e ímã permanente (BMIP), os de ferro móvel (FM), e os eletrodinâmicos, descritos a seguir.

Instrumento de bobina móvel e ímã permanente

São também denominados de instrumentos magnetoelétricos. Uma representação simplificada deste instrumento é apresentada na figura 1.

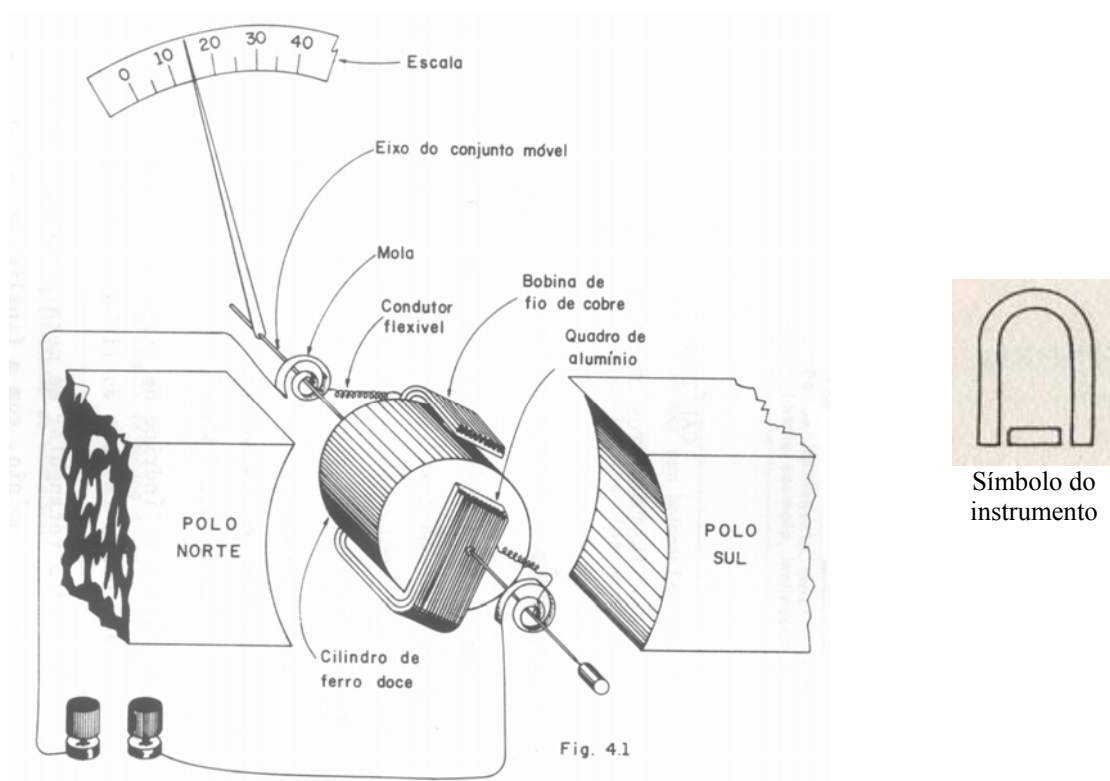


Figura 1 – Instrumento de bobina móvel e ímã permanente.

As principais partes deste instrumento estão descritas a seguir:

- Ímã permanente de peças polares cilíndricas, fornecendo no entreferro uma indução magnética de cerca de $0,125 \text{ Wb/m}^2$;

- Núcleo cilíndrico de ferro doce, com a finalidade de tornar radiais as linhas de fluxo magnético;
- Quadro retangular de metal condutor, em geral feito de alumínio, com a finalidade de servir de suporte à bobina e produzir amortecimento por corrente de Foucault (corrente parasita);
- Bobina de fio de cobre, enrolada sobre o quadro de alumínio, por onde circulará a corrente a medir.

Princípio de funcionamento dos instrumentos de bobina móvel e imã permanente

Quando um condutor é percorrido por uma corrente I , na presença de um campo magnético (B), fica submetido a uma força F cujo sentido é dado pela regra da mão direita. Assim a corrente I a medir, ao percorrer a bobina “b” vai dar origem às forças F e o descolamento do ponteiro será proporcional à corrente a ser medida. Esses instrumentos não são adequados para medir correntes que variam rapidamente no tempo, mais propícios então para medir sinais contínuos.

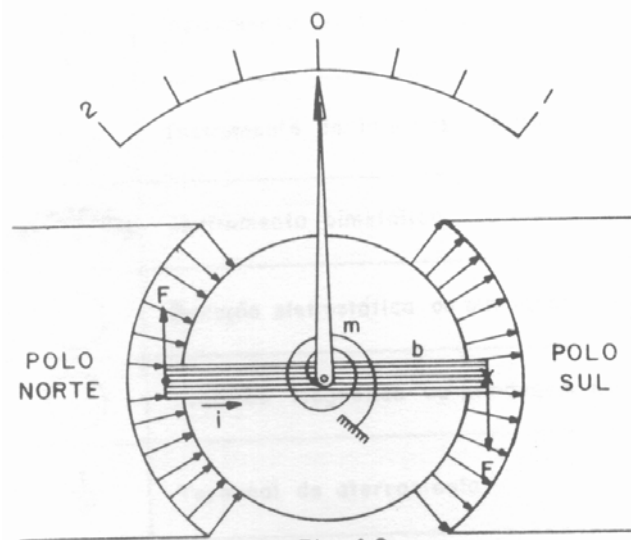


Figura 2 - Princípio de funcionamento do instrumento de bobina móvel e imã permanente.

Instrumentos de ferro móvel (FM)

Os instrumentos de ferro móvel são também conhecidos como instrumentos ferromagnéticos ou eletromagnéticos.

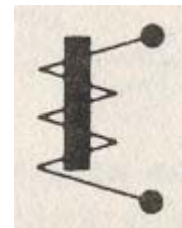
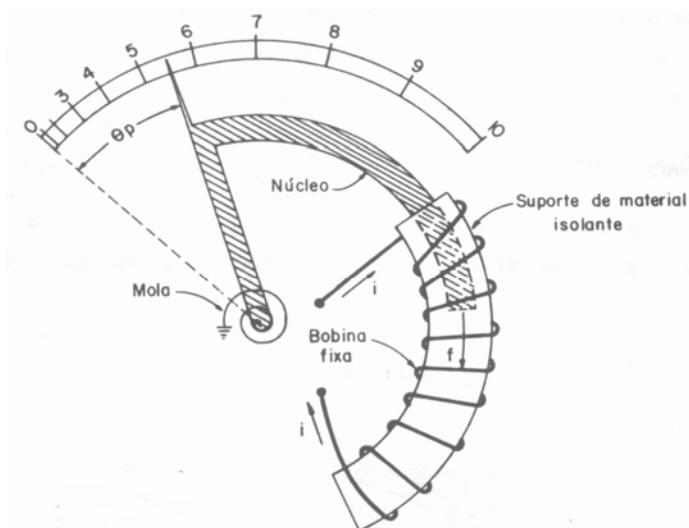
O seu princípio de funcionamento é baseado na ação do campo magnético, criado pela corrente a medir percorrendo uma bobina fixa, sobre uma peça de ferro doce móvel.

Existem dois tipos de instrumentos básicos de ferro móvel:

- Instrumento de “atração” ou de “núcleo mergulhador”;
- Instrumento de “repulsão” ou de “palheta móvel”.

A figura 3 a seguir mostra as partes essenciais do instrumento.

A corrente I circulando pela bobina fixa, faz surgir um campo magnético que atrai o núcleo de ferro doce, dando uma leitura proporcional a corrente circulante.



Símbolo do instrumento

Figura 3 – Instrumento de ferro móvel com núcleo mergulhador.

5.2 Instrumentos elétricos de medição digitais

Multímetro digital

Até a última década ou década e meia, as medidas de tensão eram realizadas com aparelhos de medida com agulha, bobina e ferro móvel, como visto anteriormente. Hoje, em todas as aplicações foram ou estão sendo substituídas por voltímetros ou multímetros digitais.

Uma das vantagens dos multímetros digitais sobre os analógicos é a sua facilidade de utilização, de fato, o valor medido é diretamente apresentado como uma série de dígitos facilmente legíveis, o que permite sempre a mesma interpretação, independente do observador (não há paralaxe!). Além disso, estes multímetros possuem posicionamento automático da vírgula, detecção automática da polaridade e, freqüentemente, busca e mudança automática da escala de medida.

A mudança automática de escala é importante na medida em que permite ao multímetro realizar medições sempre com a resolução otimizada, sem a intervenção do operador, quaisquer que forem as circunstâncias.

Devido à própria natureza do processo utilizado na conversão do sinal para leitura, a precisão dos multímetros digitais pode ser muito superior à dos analógicos, e também têm uma grande vantagem sobre os analógicos: apresentarem uma grande resistência de entrada (10^8 a $10^{12} \Omega$). Este fato permite praticamente eliminar a influência do aparelho de medida no valor obtido na medição.

Descrição

Uma propriedade dos multímetros digitais é o fato de só medirem, de forma direta, tensões (recordamos que os analógicos medem correntes, de forma direta).

Um voltímetro digital, na sua forma mais simples, reduz-se a um circuito integrado que inclui um conversor do tipo AD (Analógico Digital), uma alimentação externa de baixa tensão ou bateria e um visor de cristais líquidos ou LED's. O elemento principal do multímetro é o conversor AD, que converte a tensão do sinal analógico de entrada em pulsos regulares de amplitude fixa que podem ser contados e cujo número é proporcional ao valor da tensão. É esta contagem que será convertida em caracteres alfanuméricos e apresentada no visor.

Um multímetro, como o nome indica, também mede outros sinais correspondentes a tensões alternadas, correntes contínuas ou alternadas e resistências. No entanto, como o

conversor AD só pode converter sinais de tensão contínua, o valor destas grandezas terá que ser transformado em tensões contínuas, através de conversores adequados. Os conversores básicos integrados na maioria dos multímetros são: atenuador CC, conversor corrente-tensão, conversor AC-CC e conversor resistência tensão.

6 PRINCIPAIS GRANDEZAS ELÉTRICAS

A seguir neste documento serão definidas as principais grandezas elétricas necessárias na disciplina de Eletricidade Básica, quais sejam: tensão, corrente, resistência e potência.

O estudo aqui realizado é apenas introdutório para servir de base às experiências a serem realizadas ao longo do semestre.

6.1 Corrente

A corrente elétrica é originada a partir do movimento das cargas elétricas. É, portanto, o fluxo de cargas por unidade de tempo.

Representa-se a corrente elétrica pelas letras I , i ou $i(t)$. A letra maiúscula denota variáveis contínuas, que não variam no tempo. Variáveis dependentes do tempo são denotadas por letras minúsculas ou por funções de t . Usa-se o formato itálico para diferenciar variáveis do texto normal.

A unidade de medida de corrente elétrica é o ampère (A). Normalmente se utilizam também múltiplos e submúltiplos da unidade base, que são: microampères (μA), miliampères (mA), kiloampères (kA), entre outras.

6.2 Tensão

A tensão elétrica está relacionada com a energia necessária para o deslocamento de cargas elétricas. Também conhecida por voltagem ou diferença de potencial. É representada pelas letras V , v ou $v(t)$.

A unidade de medida de tensão elétrica é o Volt (V) e também podem ser usados múltiplos e submúltiplos como: kilovolt(kV), milivolt(mV), entre outros.

6.3 Resistência

Resistência elétrica é a oposição dos materiais à passagem da corrente elétrica, ou mais precisamente, ao movimento de cargas elétricas. O elemento ideal usado como modelo para este comportamento é o resistor. Representa-se a resistência pela letra R .

A unidade de medida de resistência é o Ohm (Ω), mas é muito freqüente o uso de múltiplos como o kilohm ($\text{k}\Omega$) e o megaohm ($\text{M}\Omega$) e submúltiplos como o miliohm ($\text{m}\Omega$) e microhm ($\mu\Omega$).

A figura 4 mostra o símbolo usado para representar o resistor nos circuitos elétricos.

A fim de se poderem analisar circuitos elétricos, a corrente em um resistor deve ser indicada em relação à tensão entre seus terminais. Pode-se fazer isso de duas formas: no sentido da queda de tensão no resistor ou no sentido do aumento da tensão no resistor. Se escolhermos a primeira convenção, a relação entre tensão e corrente será dada conforme a figura 5.

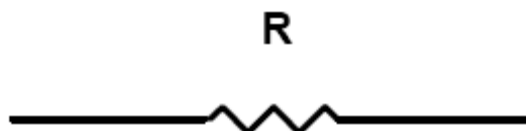


Figura 4 - Símbolo do resistor.

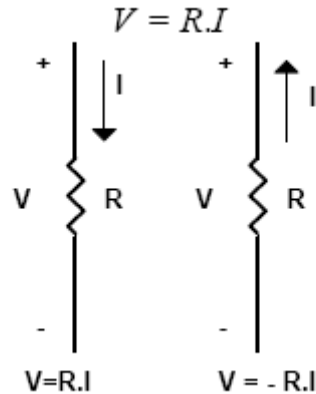


Figura 5 - Tensão e corrente no resistor.

6.4 Potência

Potência é a energia por unidade de tempo, fornecida ou recebida por um elemento e é igual ao produto da tensão entre os terminais do elemento pela corrente que o atravessa. Representa-se a potência pela letra P e sua unidade de medida é o Watt (W).

Normalmente se usam como múltiplos do Watt o kilowatt (kW) e o megawatt (MW) e como submúltiplos o miliwatt (mW) e o microwatt (μ W).

A potência em um elemento de circuito pode ser determinada por:

$$P = V \cdot I$$

6.5 Lei de Ohm

A expressão que relaciona as grandezas tensão, corrente e resistência nos elementos de circuitos elétricos é denominada de Lei de Ohm e está mostrada abaixo. Note que as expressões estão sendo mostradas para variáveis contínuas.

$$I = \frac{V}{R}$$

Por exemplo, se um resistor de $10 \, \Omega$ é percorrido por uma corrente de 2 A, a tensão ou diferença de potencial entre seus terminais é de 20 V.

$$V = R \cdot I = 10 \cdot 2 = 20 \, V$$

Do mesmo modo, a potência dissipada no resistor será de 40 W.

$$P = V \cdot I = 20 \cdot 2 = 40 \, W$$

É interessante que o aluno demonstre que:

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow R = \frac{V}{I} \rightarrow V = R \cdot I$$

$$P = V \cdot I \rightarrow P = \frac{V^2}{R} \rightarrow P = R \cdot I^2$$

7 PARTE PRÁTICA

7.1 Código de cores de resistores

Os resistores são identificados por um código de cores para se determinar a sua resistência.

A tabela mostrada na figura 6 permite identificar a maioria dos resistores usados normalmente nesta disciplina.

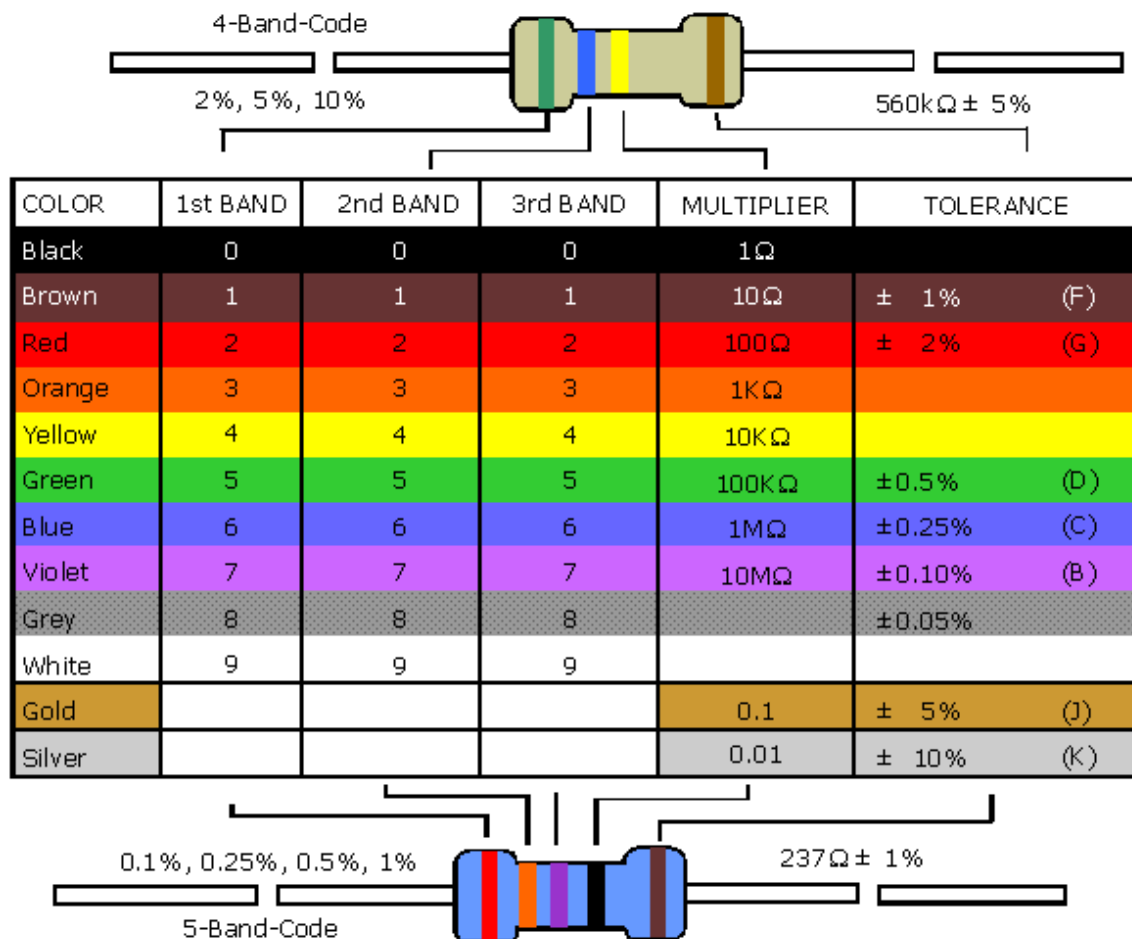


Figura 6 – Código de cores de resistores (Obtido de <http://www.elexp.com>).

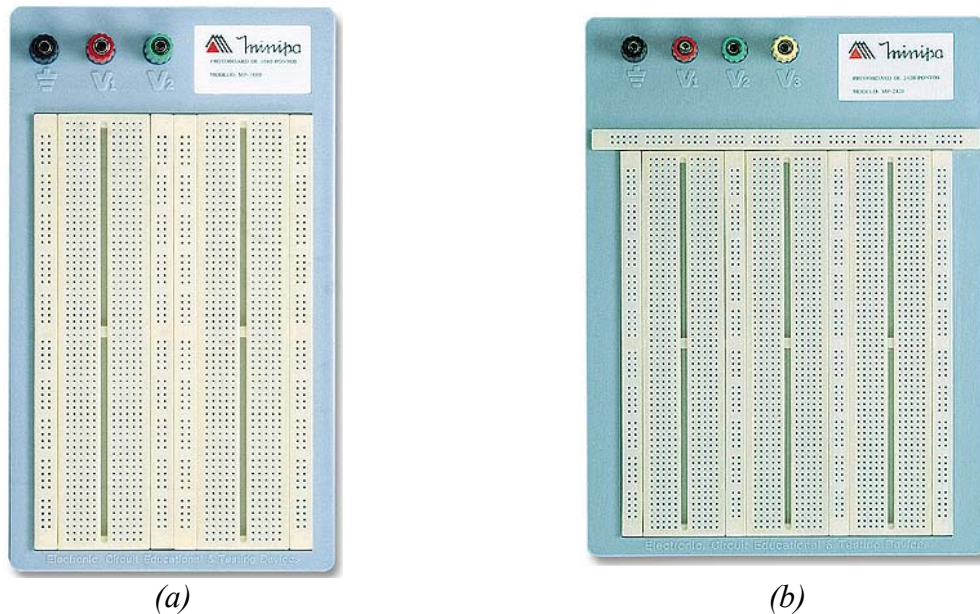
Escreva as cores para os seguintes resistores:

- 22 kΩ ± 5%
- 6,9 MΩ ± 10%
- 120 Ω ± 2%
- 3,3 kΩ ± 1%
- 10 Ω ± 0,5%

7.2 Matriz de contatos

Para montagem temporária de circuitos eletrônicos, utiliza-se um elemento chamado de matriz de contatos (pront-o-labor ou protoboard). Uma matriz de contatos, como mostrado na figura 7, possui uma grande quantidade de orifícios, para neles serem encaixados os terminais dos componentes eletrônicos (resistores, diodos, transistores, leds, etc).

Algumas ligações podem ser feitas usando as próprias conexões da placa, outras devem ser feitas com fios de pequena seção.



(a) (b)
 Figura 7 – Matrizes de contatos de 1680 furos (a) e 2420 furos (b) (Obtido de <http://www.minipa.com.br>).

Para cada circuito elétrico abaixo, desenhe na matriz de contatos os resistores e as conexões entre os mesmos e destes até a(s) fonte(s), conforme o exemplo das figuras 8 e 9.

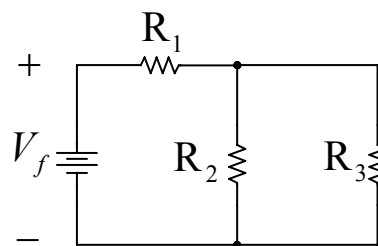


Figura 8 – Circuito elétrico (a).

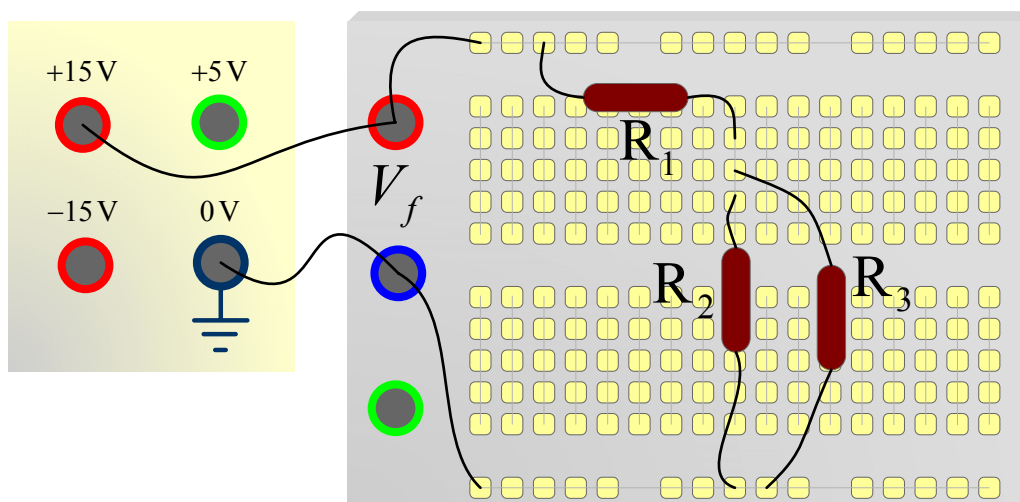


Figura 9 – Desenho da montagem do circuito elétrico (a).

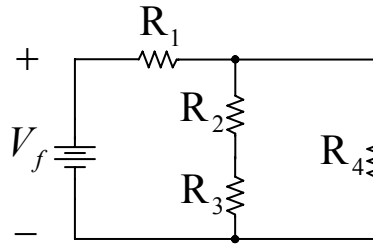


Figura 10 – Circuito elétrico (b).

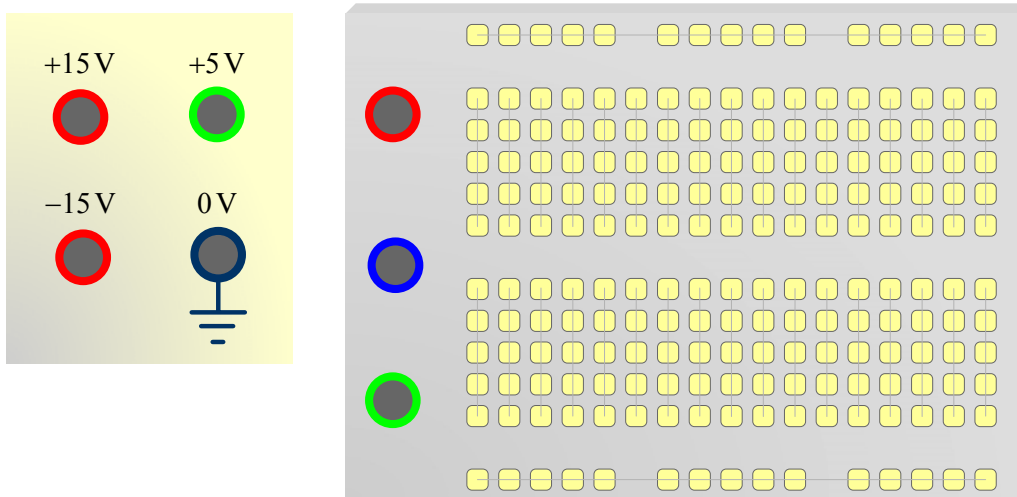


Figura 11 – Desenho da montagem do circuito elétrico (b).

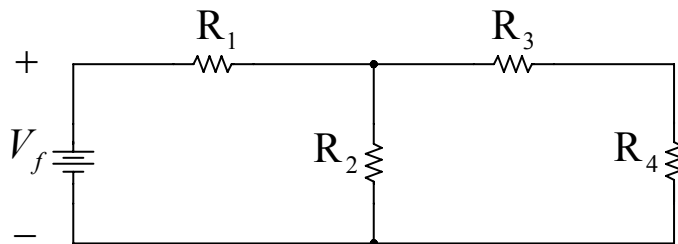


Figura 12 – Circuito elétrico (c).

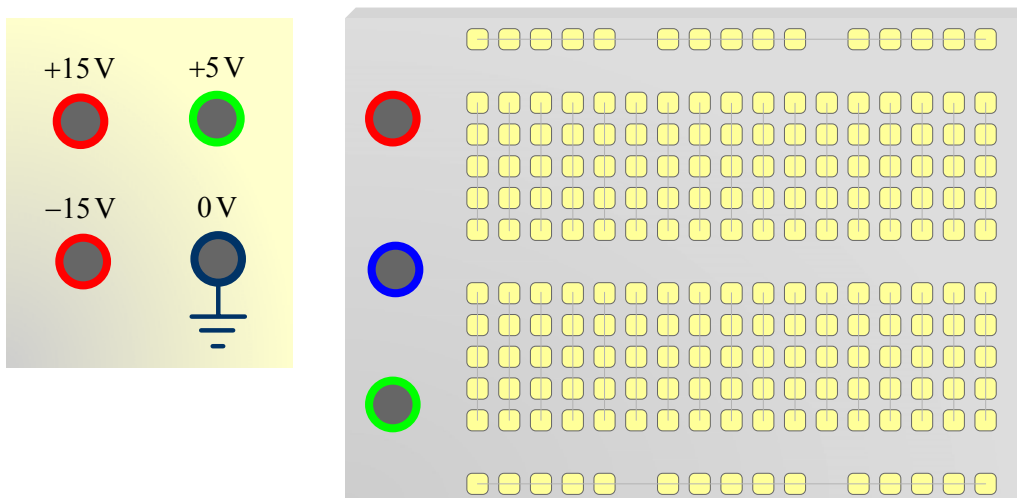


Figura 13 – Desenho da montagem do circuito elétrico (c).

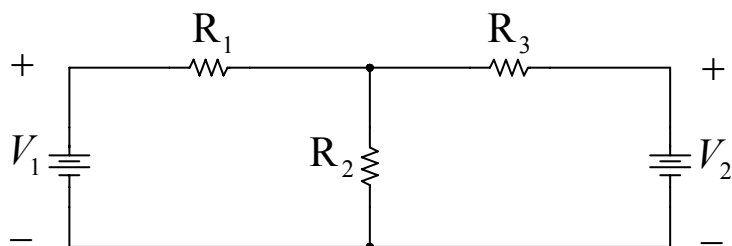


Figura 14 – Circuito elétrico (d).

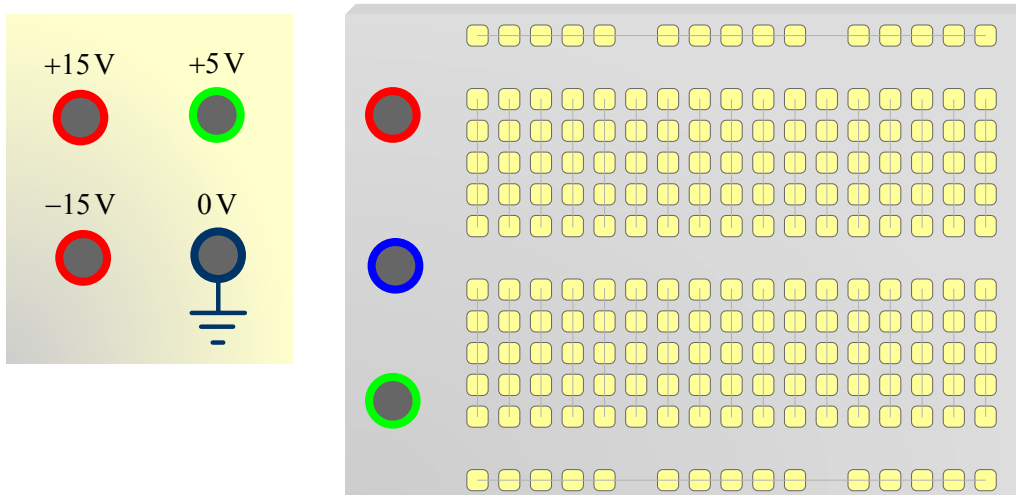


Figura 15 – Desenho da montagem do circuito elétrico (d).

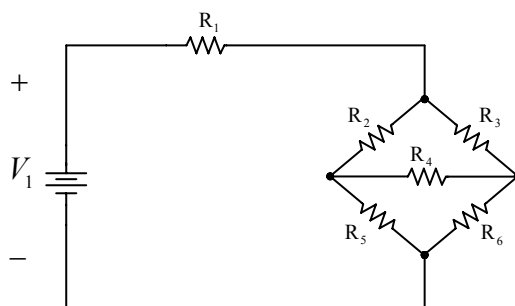


Figura 14 – Circuito elétrico (e).

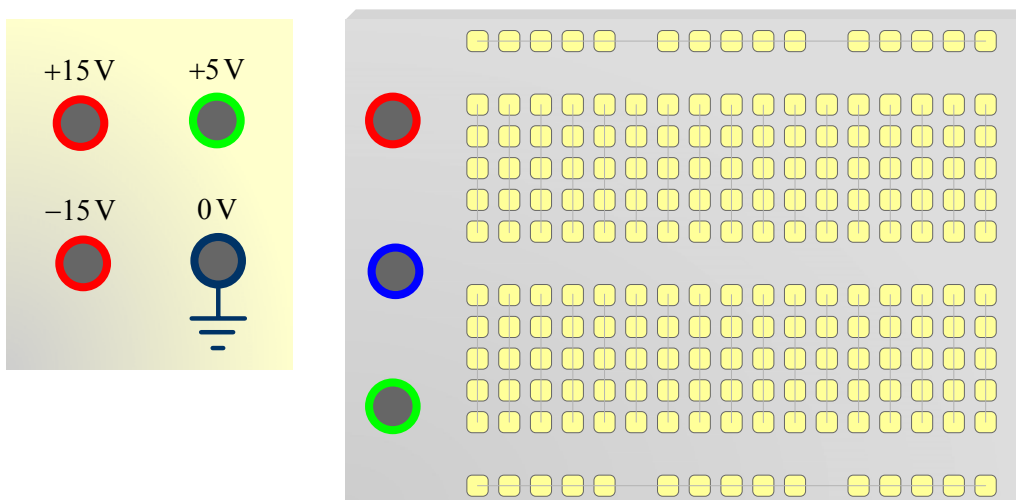


Figura 15 – Desenho da montagem do circuito elétrico (e).