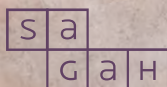


MEDIDAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Giancarlo de Souza



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS



Princípios básicos de instrumentação

Objetivos de aprendizagem

Ao final deste capítulo, você deve apresentar os seguintes aprendizados:

- Definir os conceitos básicos e definições de instrumentação.
- Interpretar os sistemas de unidade, padrões e prefixos utilizados na medição de parâmetros.
- Reconhecer a medição e o erro em instrumentação.

Introdução

A ciência da instrumentação surgiu devido à necessidade do desenvolvimento de técnicas para a medição, indicação, registro e do controle de dados quantitativos nos mais diversos campos de atuação. Na área de engenharia elétrica, utilizam-se os efeitos físicos (força eletromagnética, força eletrostática, efeito Joule, efeito termoelétrico, entre outros) para fornecer esses dados aos instrumentos através de grandezas elétricas.

Neste capítulo, você conhecerá melhor algumas dessas grandezas elétricas e seus sistemas de medida. Também aprenderá sobre os instrumentos utilizados para a medição das unidades e como minimizar os erros dessas medições.

Conceitos e definições de instrumentação

A instrumentação tornou possível o processo de medição e comparação das grandezas físicas que possuem um padrão único e comum entre si (FERNANDES, 2008).

As grandezas físicas estão divididas em duas categorias: as ditas grandezas fundamentais e as grandezas derivadas, que, como o nome diz, são derivadas das fundamentais. As Tabelas 1 e 2 mostram algumas dessas grandezas.

Tabela 1. Grandezas fundamentais

Grandeza	Unidade	Simbologia
Comprimento	metro	[m]
Massa	quilograma	[kg]
Tempo	segundo	[s]
Intensidade de Corrente	ampere	[A]
Temperatura Termodinâmica	kelvin	[K]
Quantidade de Matéria	mole	[mol]
Intensidade Luminosa	candela	[cd]

Fonte: Adaptada de Fernandes (2008).

Tabela 2. Grandezas derivadas elétricas

Grandeza	Unidade	Dimensão	Simbologia
Carga	coulomb	$[A \cdot s]$	[C]
Energia	joule	$[m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}]$	[J]
Potência	watt	$[m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}]$	[W]
Tensão	volt	$[m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$	[V]
Resistência	ohm	$[m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}]$	$[\Omega]$
Condutância	siemens	$[m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2]$	[S]
Capacitância	farad	$[m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2]$	[F]
Indutância	henri	$[m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}]$	[H]
Frequência	hertz	$[s^{-1}]$	[Hz]

Fonte: Adaptada de Fernandes (2008).

Os instrumentos utilizados podem ser classificados quanto a sua função:

- Instrumentos Indicadores — mostram o valor da medição no instante de sua utilização, descartando a mesma no instante seguinte.
- Instrumentos Registradores — registram o valor da medição para posterior análise e podem ou não indicar sua medição.
- Instrumentos Integradores — mostram o valor acumulado das medições em um determinado intervalo de tempo.
- Instrumentos Controladores — comparam o valor da medição com um valor pré-determinado e, baseando-se na diferença entre os valores, podem emitir um sinal para a correção.
- Instrumentos Conversores — permitem transformar um valor de medição em sua entrada em outro proporcional em sua saída.

Para exemplificar, a Figura 1 mostra alguns desses instrumentos.



Figura 1. Exemplo de alguns tipos de instrumentos.

Fonte: Ugorenkov Aleksandr/Shutterstock.com.

É comum que os instrumentos apresentem uma faixa de medição (calibre ou *range*), ou seja, um conjunto de valores admitidos pelo instrumento numa determinada medição. Dentro dessa faixa de medição temos a resolução, que mostra a sensibilidade de variação a cada mudança no valor da medição. Pode-se avaliar a mesma pelo número de casas decimais mostradas pelo instrumento.

Além disso, os instrumentos possuem uma classe de exatidão, que nada mais é do que a aproximação entre o resultado obtido de uma medição e o valor adotado como padrão. Não confundir com precisão, que demonstra a variabilidade dos resultados de diversas medições sucessivas. A aferição de um instrumento é o procedimento que compara o valor lido por ele e o valor padrão apropriado, sendo sua calibração efetuada quando da correção para o valor padrão (FERNANDES, 2008).



Saiba mais

Veja os padrões das grandezas elétricas:

Corrente Elétrica: o ampere é a corrente constante que, mantida entre dois condutores paralelos de comprimento infinito e seção transversal desprezível separados em 1m, no vácuo, produz uma força entre os dois condutores de $2 \cdot 10^{-7} \text{N/m}$. Na prática, são utilizados instrumentos, chamados "balanças de corrente", que medem a força de atração entre duas bobinas idênticas e de eixos coincidentes.

Tensão: o padrão do volt é baseado numa pilha eletroquímica conhecida como "Célula Padrão de Weston", constituída por cristais de sulfato de cádmio (CdSO_4) e uma pasta de sulfato de mercúrio (HgSO_4) imersos em uma solução saturada de sulfato de cádmio. Em uma concentração específica da solução e temperatura de 20 °C, a tensão medida é de 1,01830V.

Resistência: o padrão do ohm é normalmente baseado num fio de manganina (84% Cu, 12% Mn e 4% Ni) enrolado sob forma de bobina e imerso num banho de óleo a temperatura constante. A resistência depende do comprimento e do diâmetro do fio, possuindo valores nominais entre $10^{-4}\Omega$ e $10^6\Omega$.

Capacitância: o padrão do farad é baseado no cálculo de capacitores de geometria precisa e bem definida com um dielétrico de propriedades estáveis e bem conhecidas. Normalmente, usam-se duas esferas ou 2 cilindros concêntricos separados por um dielétrico gasoso.

Indutância: o padrão do henri é também baseado no cálculo de indutores sob a forma de bobinas cilíndricas e longas em relação ao diâmetro com uma única camada de espiras (FERNANDES, 2008).

Um instrumento é identificado de acordo com o tipo de grandeza que é capaz de medir (voltímetro, amperímetro, wattímetro, etc.). O princípio físico do funcionamento dos instrumentos utilizados em medições elétricas é caracterizado pela forma como ele se comporta sob o efeito da corrente elétrica: eletrodinâmico — efeito de corrente elétrica sobre corrente elétrica; ferro-móvel — efeito do campo magnético da corrente elétrica sobre peça de material ferromagnético; térmico — efeito do aquecimento produzido pela corrente elétrica ao percorrer um condutor; entre outros (FERNANDES, 2008).



Link

Para entender melhor os diferentes funcionamentos dos instrumentos utilizados em medições elétricas (eletrodinâmico, ferro-móvel, bobina-móvel, indução, bobinas cruzadas, sistema com fio térmico e eletrostático), acesso o link

<https://goo.gl/ZZZ25P>

Sistemas de unidade e os padrões nas medições

Todas as grandezas físicas possuem uma unidade padrão e estão reunidas no chamado Sistema Internacional (SI). A unidade e a grandeza física são coisas distintas. Enquanto a grandeza física é o fenômeno físico envolvido, a unidade é a forma de medir o valor dessa grandeza. Exemplo: tempo é a grandeza física e o segundo é como o medimos, a unidade de tempo.

As Tabelas 1 e 2 mostradas anteriormente demonstram algumas dessas grandezas e suas unidades correspondentes. Além das unidades padronizadas, também são utilizados prefixos que representam um fator multiplicador dessa unidade, favorecendo a representação escrita da mesma. A Tabela 3 mostra alguns desses prefixos.

Tabela 3. Prefixos utilizados no SI

Nome	Símbolo	Fator multiplicador
tera	T	10^{12}
giga	G	10^9
mega	M	10^6
quilo	k	10^3
hecto	h	10^2
deca	da	10
deci	d	10^{-1}
centi	c	10^{-2}
mili	m	10^{-3}
micro	μ	10^{-6}
nano	n	10^{-9}
pico	p	10^{-12}

Fonte: Adaptada de Medeiros Filho (1981).

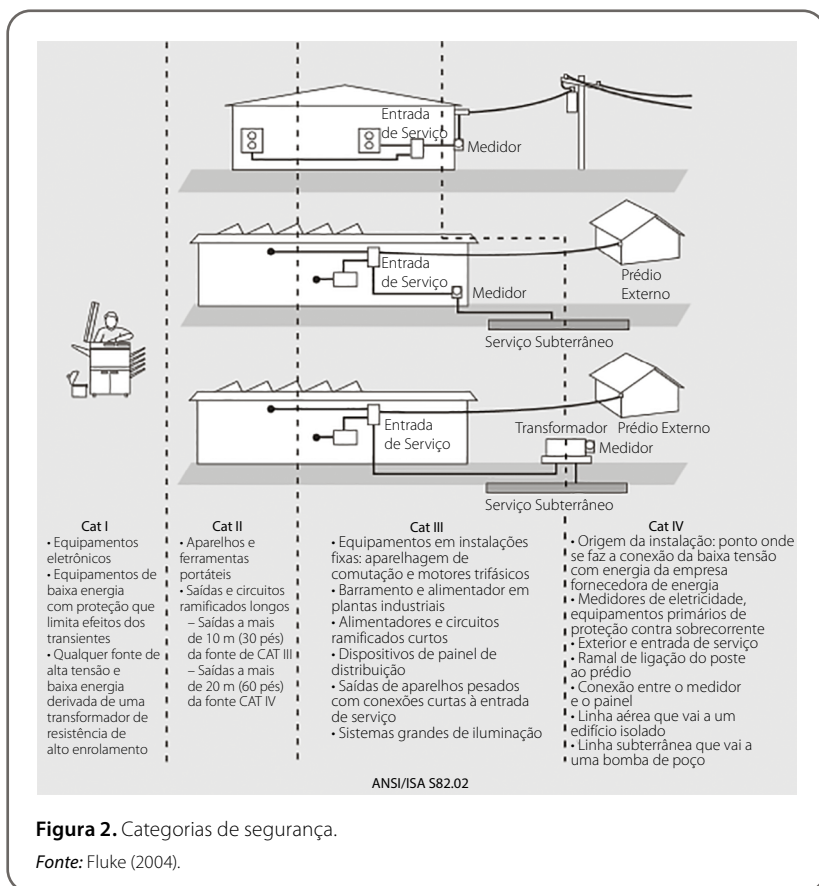


Link

Para visualizar a lista completa de grandezas físicas e suas unidades padrão, assim como os prefixos do SI, acesse o link

<https://goo.gl/PJ4zCh>

Uma outra padronização internacional para os instrumentos é a categoria de segurança da medição, uma divisão que oferece isolamento elétrico de acordo com a localização da medição. É baseada no fato de que um transiente perigoso de alta energia, como uma descarga atmosférica, será atenuado ou amortecido por uma resistência de corrente alternada do sistema (FERNANDES, 2008). A Figura 2 exemplifica as categorias de segurança.



A medição e o erro dos instrumentos

Antes de sair medindo as coisas, você precisa ter algumas precauções. O operador deverá ter a certeza de que está utilizando o instrumento de maneira correta, garantindo a integridade do instrumento e principalmente evitando acidentes. Sempre leia o manual de instruções caso ainda não conheça o instrumento.

Para realizar as medições, deve-se escolher o instrumento mais adequado, levando em consideração a grandeza a qual quer medir, e se a mesma é contínua ou alternada. Também deve-se escolher um instrumento que tenha um *range* compatível com valor esperado para tal medição. A classe de exatidão deverá ser escolhida conforme a qualidade e exigência desejada para a medida.

Por último e não menos importante, você deve avaliar a interferência que o instrumento ocasionará ao ser inserido no circuito do qual pretende obter medições. Isso evitará que a medição aponte um valor que não corresponda à realidade do circuito.



Fique atento

Normalmente é dito que todo amperímetro tem sua resistência interna desprezível quando é utilizado para medir uma corrente elétrica. Será que isso é realmente verdade?

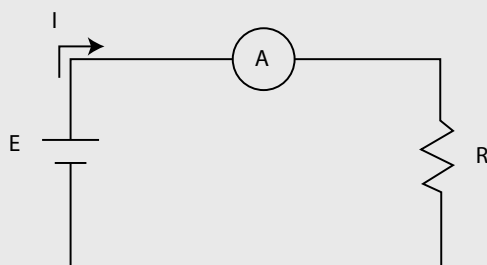
É mais correto afirmar que a resistência interna do amperímetro é pequena, mas não desprezível.

Por exemplo: supomos que uma fonte $E = 10V$ alimenta uma resistência $R = 1\Omega$, conforme a figura abaixo.



Então a corrente I que circula através de R é de $10A$. Se for introduzido em série com R um amperímetro de resistência interna $R_a = 1\Omega$, conforme a figura abaixo, a corrente será agora

$$I = 5A.$$



Isso demonstra que o amperímetro causou uma perturbação no circuito em virtude de sua resistência ser considerável, e não desprezível, diante do valor da resistência R do circuito. Esse exemplo é extensivo a todos os outros instrumentos elétricos de medição e serve de alerta aos seus manipuladores (FERNANDES, 2008).

Outro aspecto importante dentro da obtenção das grandezas é o erro ocasionado durante a medição que pode ser classificado de acordo com sua causa em: grosseiro, sistemático e acidental.

Erro grosseiro: podem ser causados por falha do operador ao escrever os resultados, por enganos nas operações fundamentais ou até mesmo pelo posicionamento incorreto da vírgula nos números contendo decimais. Esses erros podem ser evitados através da repetição dos ensaios e do uso de um valor médio obtido de várias medições. Vale ressaltar que não existe um tratamento matemático para esse tipo de erro.

Erro sistemático: estão atrelados às deficiências do método e do material utilizado, além da apreciação das medidas pelo experimentador. Basta mencionar, por exemplo, o consumo de energia dos instrumentos de medida e as variações das características físicas ou elétricas dos elementos que constituem o circuito. Esse conjunto de imperfeições constitui a deficiência do método, que sempre apresenta uma divergência, embora pequena, entre a análise teórica e o comportamento prático desse circuito.

Os materiais (medidores, pilhas, resistências, capacitores, etc.) devem ser aferidos periodicamente e os componentes do circuito podem ser substituídos por elementos teoricamente iguais com o intuito de verificar a ausência do erro sistemático na repetição da mesma medição.

Há experimentadores com a tendência de anotar as leituras das medições com um valor maior do que o real, enquanto outros a fazem com valor menor. A média aritmética das leituras de vários experimentadores pode limitar esse erro.

Erro acidental: a experiência mostra que uma mesma pessoa, realizando os mesmos ensaios e com os mesmos componentes, não consegue obter sempre o mesmo resultado. Esses erros são consequentes do imponderável e são essencialmente variáveis e não suscetíveis a limitação (MEDEIROS FILHO, 1981).



Saiba mais

Erro absoluto e relativo

A palavra erro representa a diferença algébrica entre o valor medido V_m de uma grandeza e o seu valor verdadeiro, ou aceito como verdadeiro, V_e :

$$\Delta V = V_m - V_e$$

Sendo assim, o valor verdadeiro V_e da grandeza pode ser expresso da seguinte forma:

$$V_m - \Delta V \leq V_e \leq V_m + \Delta V$$

O valor ΔV é chamado de limite máximo ou superior do erro absoluto. Quando o valor medido V_m encontrado é maior que o valor verdadeiro V_e , diz-se que o erro é por excesso. Quando V_m é menor que V_e , diz-se que o erro é por falta.

O erro relativo ε é definido como a relação entre o erro absoluto ΔV o valor verdadeiro V_e da grandeza medida e pode ser expresso da forma percentual como:

$$\varepsilon = \frac{\Delta V}{V_e} \times 100$$

Fonte: Medeiros Filho (1981).

O tratamento dos erros tem o intuito de minimizar e também identificar os vários tipos dos erros presentes numa medição. Um tratamento estatístico pode ser aplicado a um conjunto de dados obtidos em condições conhecidas.

a) Média aritmética: dada a partir da equação

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Onde x_i são os valores medidos e n é o número de medidas executadas. O resíduo r é a diferença entre a média e cada uma das medidas $r = (\bar{x} - x_i)$.

b) Erro padrão ou desvio padrão: encontrado a partir de uma série de leituras, fornece uma estimativa da magnitude do erro presente nessas

medidas e consequentemente sua precisão. O erro padrão σ é calculado pela equação

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum r^2}{n-1}}$$

Sendo

$$\sum r^2 = (\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_i)^2$$

Fonte: Fernandes (2008).



Referências

FERNANDES, M. V. A. Apostila de medidas elétricas. Natal: UFRGN, 2008. Disponível em: <http://edsonjosen.dominiotemporario.com/doc/Medidas_Eletricas_Prof_Marcus_Vinicius.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2018.

FLUKE. *Quem estabelece as regras de segurança e testes elétricos?* 2004. Disponível em: <http://support.fluke.com/find-sales/download/asset/2477867_a_w.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2018.

MEDEIROS FILHO, S. de. *Fundamentos de medidas elétricas*. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.

Leituras recomendadas

AMARAL, C. *Conceitos básicos de instrumentação*. [201-?]. Disponível em: <<http://bit.do/conceitos-basicos-instrumentacao>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

BRANDÃO, D. *Notas de aula: SEL0432: redes de comunicação industrial*. [2017]. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3983384/mod_resource/content/1/SEL0432_2017_Instrumenta%C3%A7%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2018.

MEDEIROS FILHO, S. de. *Medição de energia elétrica*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL; COMPANHIA SIDERÚRGICA DE TUBARÃO. *Elétrica: medidas elétricas*. Vitória: SENAI, 1996. Disponível em: <<https://wiki.ifsc.edu.br/mediawiki/images/c/c9/Aru-2010-1-apossenai.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2018.

Encerra aqui o trecho do livro disponibilizado para esta Unidade de Aprendizagem. Na Biblioteca Virtual da Instituição, você encontra a obra na íntegra.

Conteúdo:



SOLUÇÕES
EDUCACIONAIS
INTEGRADAS