

Medidas Eléctricas

Definição de Medida

Medida é um processo de comparação de grandezas de mesma espécie, ou seja, que possuem um padrão único e comum entre elas. Duas grandezas de mesma espécie possuem a mesma dimensão.

No processo de medida, a grandeza que serve de comparação é denominada de *grandeza unitária* ou *padrão unitário*.

As grandezas físicas são englobadas em duas categorias :

- a) Grandezas fundamentais (comprimento, tempo).
- b) Grandezas derivadas (velocidade, aceleração).

Sistema de unidades

É um conjunto de definições que reúne de forma completa, coerente e concisa todas as grandezas físicas fundamentais e derivadas. Ao longo dos anos, os cientistas tentaram estabelecer sistemas de unidades universais como por exemplo o CGS, MKS, SI.

Sistema Internacional (SI)

É derivado do MKS e foi adotado internacionalmente a partir dos anos 60. É o padrão mais utilizado no mundo, mesmo que alguns países ainda adotem algumas unidades dos sistemas precedentes.

Grandezas fundamentais:

grandeza	unidade	simbologia
Comprimento	metro	[m]
Massa	quilograma	[kg]
Tempo	segundo	[s]
Intensidade de corrente	ampères	[A]
Temperatura termodinâmica	kelvin	[K]
Quantidade de matéria	mole	[mol]
Intensidade luminosa	candela	[cd]

Grandezas eléctricas derivadas:

grandeza derivada	unidade	dimensão	simbologia
Carga	coulomb	[A.s]	[C]
Energia	joule	[m ² .kg.s ⁻²]	[J]
Potência	watt	[m ² .kg.s ⁻³]	[W]
Tensão	volt	[m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻¹]	[V]
Resistência	ohm	[m ² .kg.s ⁻³ .A ⁻²]	[Ω]
Condutância	siemens	[m ⁻² .kg ⁻¹ .s ³ .A ²]	[S]
Capacitância	farad	[m ⁻² .kg ⁻¹ .s ⁴ .A ²]	[F]
Indutância	henri	[m ² .kg.s ⁻² .A ⁻²]	[H]
Frequência	hertz	[s ⁻¹]	[Hz]

Análise estatística de dados em medidas

Toda medida experimental está sujeita a erros provenientes de várias fontes, que podem ser identificados como sendo :

- a) Erros grosseiros : erros que ocorrem por falhas de leitura do instrumento pelo operador ou sistema de aquisição. São facilmente detectáveis após uma análise cuidadosa dos dados.
- b) Erros constantes : erros invariáveis em amplitude e polaridade devido a imprecisões instrumentais. Em geral podem ser facilmente corrigidos pela comparação com um padrão conhecido da medida.
- c) Erros sistemáticos : erros de amplitude variável mas de polaridade constante. Podem ser eliminados a partir de medidas diferenciais.
- d) Erros periódicos : erros variáveis em amplitude e polaridade, mas que obedecem a uma certa lei (por ex. a não linearidade de um conversor A/D). Podem ser eliminados pela medição repetitiva sob condições distintas e conhecidas.
- e) Erros aleatórios : são todos os erros restantes, possuem amplitude e polaridade variáveis e não seguem necessariamente uma lei sistemática. São em geral pequenos mas estão presentes em qualquer medida, provenientes de sinais espúrios, condições variáveis de observação, ruídos do próprio instrumento.

Noções de exatidão, precisão e resolução

Em qualquer instrumento de medição é de fundamental importância o conhecimento desses três parâmetros, que definirão a qualidade final da medida et permitem uma comparação direta entre instrumentos.

• **Exatidão**: está relacionada com o desvio do valor lido em relação ao valor padrão ou valor exato.

Ex : padrão = $1,000 \Omega$; instrumento (a) = $1,010 \Omega$; instrumento (b) = $1,100 \Omega$

\Rightarrow (a) é mais exato que (b).

Média Aritmética \bar{x} :

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

x_i : valores medidos
 n : número de medidas

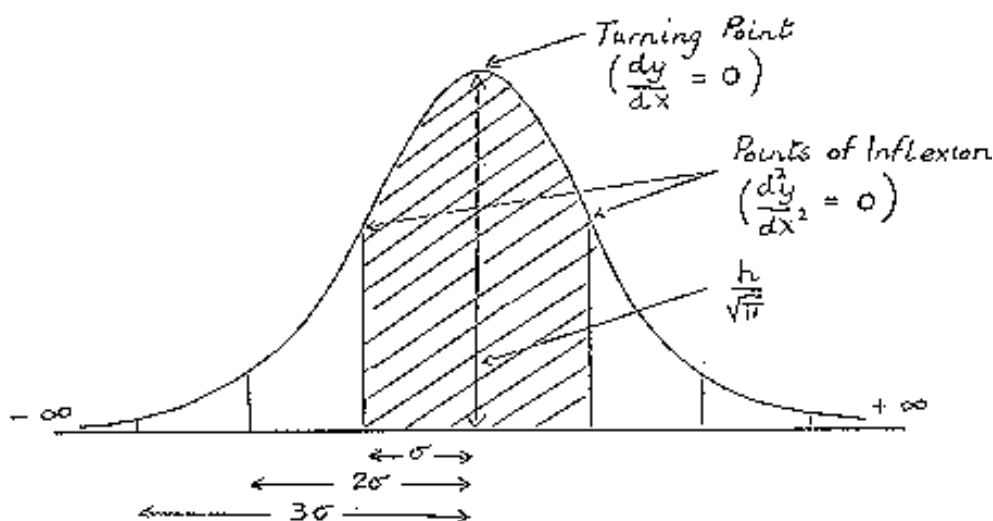
Resíduo r : diferença entre a média e cada uma das medidas.

$$r = (\bar{x} - x_i)$$

Erro Padrão σ : é encontrado a partir de uma série de leituras e fornece uma estimativa da amplitude do erro presente nestas medidas e conseqüentemente sua precisão. A determinação precisa do erro padrão σ implica num grande número de leituras.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum r^2}{n-1}} \quad \text{sendo: } \sum r^2 = (\bar{x} - x_1)^2 + (\bar{x} - x_2)^2 + \dots + (\bar{x} - x_n)^2$$

Distribuição normal ou curva Gaussiana :



$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \cdot e^{-\frac{(\bar{x}-x)^2}{2\sigma^2}}$$

$\sigma^2 \Rightarrow$ variância

Significado do erro (ou desvio) padrão :

A área hachurada na curva representa 68,3% da área total que equiivale ao conjunto de todas as medidas. O erro padrão σ de uma série de medidas indica então uma probabilidade de 68,3% que o valor verdadeiro da medida esteja entre $-\sigma$ e $+\sigma$ do valor médio \bar{x} do conjunto de dados. Consequentemente $2\sigma \Rightarrow 95,4\%$, $3\sigma \Rightarrow 99,7\%$.

Erro Limite L :

Forma de indicação da margem de erro baseada nos valores extremos (máximo e mínimo) possíveis. Em geral é definido como uma porcentagem do valor padrão ou fundo de escala. Supõe uma probabilidade teórica de 100% de que o valor verdadeiro (y_v) esteja no intervalo $y \pm L$.

Ex:

a) $R=10\text{k}\Omega \pm 5\%$;

b) $C=10\mu\text{F} + 20\% - 10\%$;

c) Em um instrumento: “precisão” = 5% (o termo *precisão* utilizado aqui deve ser substituído por *erro*).

Obs.: apesar de menos rigorosa, esta medida de erro é mais popular que o erro padrão, pois indica o erro de forma mais direta e facilmente compreensível por um leigo. Numa avaliação rigorosa de dados, sempre que possível deve-se usar a definição de erro padrão.

Determinação do valor mais provável x_p

O valor verdadeiro x_v da grandeza a ser medida é, em geral, desconhecido. Através da teoria de erros pode-se determinar, com alto grau de exatidão, o valor mais provável da grandeza x_p e o quanto este valor difere do valor verdadeiro.

Num conjunto de medidas onde os erros predominantes são aleatórios, o valor mais provável corresponde à média aritmética: $x_p \equiv \bar{x}$.

Intervalo de Confiança

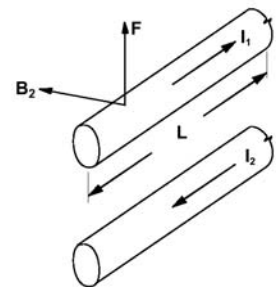
Faixa de valores compreendida entre $x_p \pm \sigma$ (ou 2σ , 3σ , ...) ou $x_p \pm L$. Considerando um conjunto de medidas quaisquer, a probabilidade de que o valor verdadeiro x_v esteja presente em $x_p \pm \sigma$ é de 68,3%. De forma complementar, a probabilidade de que um resíduo qualquer r seja superior em módulo à σ é de 31,7%.

Noções de Padrão, Aferição e Calibração

- Padrão é um elemento ou instrumento de medida destinado a definir, conservar e reproduzir a unidade base de medida de uma determinada grandeza. Possui uma alta estabilidade com o tempo e é mantido em um ambiente neutro e controlado (temperatura, pressão, umidade, etc... constantes).
- Aferição: procedimento de comparação entre o valor lido por um instrumento e o valor padrão apropriado de mesma natureza. Apresenta caráter passivo, pois os erros são determinados, mas não corrigidos.
- Calibração: procedimento que consiste em ajustar o valor lido por um instrumento com o valor padrão de mesma natureza. Apresenta caráter ativo, pois o erro, além de determinado, é corrigido.

Padrões de Grandezas Eléctricas

- Corrente eléctrica: o ampère é a corrente constante que, mantida entre dois condutores paralelos de comprimento infinito e seção transversal desprezível separados de 1m, no vácuo, produz uma força entre os dois condutores de $2 \cdot 10^{-7}$ 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.



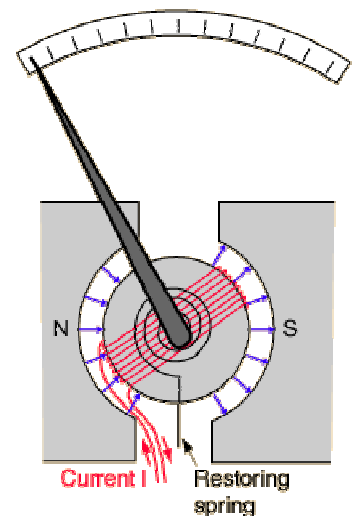
- Tensão: o padrão do volt é baseado numa pilha eletroquímica conhecida como *Célula Padrão de Weston*, constituída por cristais de sulfato de cádmio (CdSO_4) e uma pasta de sulfato de mercúrio (HgSO_4) imersos em uma solução saturada de sulfato de cádmio. Em uma concentração específica da solução e temperatura de 20°C a tensão medida é de $1,01830\text{V}$.
- Resistência: o padrão do ohm é normalmente baseado num fio de manganina (84% Cu, 12% Mn e 4% Ni) enrolado sob a 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.

Medidores de Grandezas Eléctricas

Os primeiros instrumentos utilizados para medidas de grandezas eléctricas eram baseados na deflexão de um ponteiro acoplado a uma bobina móvel imersa em um campo magnético. Uma corrente aplicada na bobina produz o seu deslocamento pela força de Lorentz. Um mecanismo de contra-reação (em geral uma mola) produz uma força contrária de modo que a deflexão do ponteiro é proporcional à corrente na bobina.

Estes instrumentos analógicos estão em desuso em função de suas qualidades inferiores se comparadas às dos instrumentos digitais (imprecisões de leitura, fragilidade, desgaste mecânico, difícil automação de leitura, etc...).

Os instrumentos digitais atuais são inteiramente eletrônicos, não possuindo partes móveis (exceto seletores de escala e teclas). São mais robustos, precisos, estáveis e duráveis. São baseados



em conversores analógico/digitais (A/D) e são facilmente adaptáveis a uma leitura automatizada. Além disso, o custo dos instrumentos digitais é em geral inferior (com exceção dos osciloscópios).

- **Voltímetro:** instrumento usado para medir a diferença de potencial eléctrico entre dois nós de um circuito. É conectado em paralelo com os nós do circuito a ser medido.

Características essenciais:

- alta impedância de entrada (idealmente ∞);
- baixa corrente de entrada (idealmente 0).

A utilização de circuitos de entrada baseados em transistores MOSFET permite facilmente a obtenção dessas características dentro da faixa útil do instrumento. Sendo a impedância típica de entrada de um MOSFET de sinal da ordem de $10^{12}\Omega$, usa-se normalmente um resistor de alto valor ($10M\Omega$ — $100M\Omega$) em paralelo para evitar que cargas estáticas ou ruído eletromagnético indiquem um valor diferente de zero quando o voltímetro está desconectado. Na maioria dos casos esta impedância de entrada pode ser desconsiderada. Entretanto, na medição de circuitos de alta impedância deve-se levar em conta o valor dessa resistência em paralelo com o circuito e a corrente de entrada equivalente.

- **Amperímetro:** usado para medir a intensidade de corrente que circula numa malha do circuito. De modo que a mesma corrente de malha passe a circular pelo amperímetro, este é inserido em série com o circuito.

Características essenciais:

- baixa impedância de entrada (idealmente 0);
- baixa queda de tensão interna (idealmente 0).

Deste modo a corrente original do circuito é preservada e o erro introduzido é minimizado.

Os amperímetros digitais são baseados na medição de tensão em uma resistência conhecida e de baixo valor.

a) Circuito básico:

$$I = V/r$$

- tipicamente $r.I < 200\text{mV}$
- o erro introduzido (queda de tensão em r) pode ser significativo na medida de corrente em circuitos de baixa tensão.

b) Conversor $I \rightarrow V$ de precisão:

- $I = -V/r$
- o erro introduzido na medida é desprezível, pois o AMPOP fornece a corrente I de modo a manter a tensão em $-$ (entrada inversora) igual a zero (terra virtual).
- usado na medição de baixas correntes (tipicamente $< 20\text{mA}$) devido à limitação do AMPOP.

c) Amperímetro tipo Alicates:

A medição de corrente pela interrupção do circuito e introdução do amperímetro em série não é possível em determinadas situações (linha de alta tensão, circuito em funcionamento, etc). Neste caso uma amostra da corrente I pode ser obtida pelo campo magnético B criado no exterior do condutor (lei de Ampère):

$$B = C \cdot \mu \cdot I$$

μ : permeabilidade magnética
 C : constante geométrica

Na prática essa medida é feita por um circuito magnético que pode ser fechado em torno do condutor e possui um elemento de medida do campo magnético (bobina, sonda de efeito Hall, magnetoresistor).