

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA TEORIA DOS ERROS

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo faremos uma revisão ligeira da teoria dos erros, o essencial para a utilização no dia a dia do engenheiro industrial.

Naturalmente, para serviços de laboratório, um estudo mais profundo e específico sobre o assunto deve ser feito em bibliografia especializada.

É recomendável consultar as publicações da ABNT, sobretudo a de referência P-NB-278/73, onde os conceitos oficiais estão expressos sobre erros dos INSTRUMENTOS ELÉTRICOS INDICADORES.

2.2 CLASSIFICAÇÃO DOS ERROS

De acordo com a causa, ou origem, dos erros cometidos nas medidas, estes podem ser classificados em: ~~grosses~~ grossos, sistemáticos e acidentais.

2.2.1 ERROS GROSSEIROS

Estes erros são causados por falha do operador, como por exemplo a troca na posição dos algarismos ao escrever

os resultados, os enganos nas operações elementares efetuadas, posicionamento incorreto da vírgula nos números contendo decimais.

Estes erros podem ser evitados com a repetição dos ensaios pelo mesmo operador, ou por outros operadores.

2.2.2 ERROS SISTEMÁTICOS

São os ligados às deficiências do método utilizado, do material empregado e da apreciação do experimentador.

1º) A construção e a aferição de um aparelho de medida nunca podem ser perfeitas. Por outro lado, há sempre uma divergência, embora pequena, entre a análise teórica de um circuito e o comportamento prático deste circuito. As hipóteses de base da teoria não são inteiramente realizáveis na prática. Basta mencionar, como exemplo, o consumo de energia dos aparelhos de medida e as variações das características físicas ou elétricas dos elementos que constituem o circuito. Este conjunto de imperfeições constitui a deficiência do método.

2º) A própria definição dos erros sistemáticos indica quais são os meios de limitação. O material empregado deve ser aferido: medidores, pilhas, resistências, capacitores, etc. O seu controle deve ser periódico. Um modo simples de verificar a presença ou ausência de erro sistemático consiste na repetição da mesma experiência, substituindo os elementos iniciais por elementos teoricamente iguais. A identificação dos resultados dá como conclusão a au-

sência do erro sistemático; porém, a discordância indica que há um erro, no método ou no material, sem identificar qual dos dois é o responsável.

- 39) Há experimentadores que têm a peculiaridade de fazer a leitura maior do que a real, enquanto outros a fazem menor. Este erro pode ser limitado tomando-se como resultado a média aritmética das leituras de várias pessoas.

2.2.3 ERROS ACIDENTAIS

A experiência mostra que, a mesma pessoa, realizando os mesmos ensaios com os mesmos elementos constitutivos de um circuito elétrico, não consegue obter, cada vez, o mesmo resultado. A divergência entre estes resultados é devida à existência de um fator incontrolável, o "fator sorte". Para usar uma tecnologia mais científica, diremos que os erros acidentais são a consequência do "imponderável". Como já foi dito, são erros essencialmente variáveis e não suscetíveis de limitação.

2.3 ERROS ABSOLUTO E RELATIVO

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

$$\Delta V = V_m - V_e$$

Assim, o valor verdadeiro V_e da grandeza pode ser expresso da seguinte maneira:

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

O valor ΔV é chamado limite superior do erro absoluto, limite máximo do erro absoluto ou simplesmente "erro absoluto".

Quando o valor V_m encontrado na medida é maior que o valor verdadeiro V_e , diz-se que o erro cometido é "por excesso". Quando V_m é menor que V_e , diz-se que o erro cometido é "por falta".

O "erro relativo" ϵ é definido como a relação entre o erro absoluto ΔV e o valor verdadeiro V_e da grandeza medida:

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V_e}$$

Para efeito de cálculo de ϵ pode-se, na maioria dos casos, considerar $V_e = V_m$ tendo-se em conta que estes valores são muito aproximadamente iguais entre si.

O erro relativo percentual tem a forma:

$$\epsilon = \frac{\Delta V}{V_e} \cdot 100$$

2.4 CÁLCULO DO ERRO

De modo geral, a grandeza X a medir depende de várias grandezas $A, B, C, \dots$ e o seu valor X é uma função dos valores respectivos $a, b, c, \dots$ dessas grandezas. Assim, podemos escrever:

$$x = f(a, b, c, \dots)$$

É importante relacionar o limite de erro Δx cometido sobre x com os erros cometidos sobre a, b, c .

$$\text{Sabe-se que: } dx = f'_a \cdot da + f'_b \cdot db + f'_c \cdot dc$$

Sendo $\Delta a, \Delta b, \Delta c$ os erros absolutos cometidos sobre a, b, c , temos:

$$\Delta x \leq |f'_a| \cdot \Delta a + |f'_b| \cdot \Delta b + |f'_c| \cdot \Delta c$$

Aplicações:

1º) Soma algébrica:

$$x = a + b + c$$

$$\Delta x \leq \Delta a + \Delta b + \Delta c$$

2º) Produto:

$$x = a \cdot b \cdot c$$

$$\Delta x \leq |a \cdot b| \cdot \Delta c + |b \cdot c| \cdot \Delta a + |c \cdot a| \cdot \Delta b$$

$$\frac{\Delta x}{x} \leq \frac{\Delta a}{|a|} + \frac{\Delta b}{|b|} + \frac{\Delta c}{|c|}$$

3º) Quociente:

$$x = \frac{a}{b}$$

$$\frac{\Delta x}{x} \leq \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

Em medidas elétricas, uma das formas mais cômodas para calcular o limite do erro Δx é a aplicação dos logaritmos neperianos.

Assim, por exemplo: $x = \frac{a}{b} \cdot c$

$$\log_n x = \log_n a - \log_n b + \log_n c$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{da}{a} - \frac{db}{b} + \frac{dc}{c}$$

E passando ao limite: $\boxed{\frac{\Delta x}{x} \leq \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c}}$

2.5 VALORES EXPRESSOS EM PARTES POR MILHÃO

Para valores percentuais muito pequenos, é costume representá-los na forma de "partes por milhão" (ppM) com o fim de obter maior facilidade na linguagem corrente. Assim, por exemplo: 0,0005% pode ser expresso como: 5 ppM. Para se obter esta transformação de representação é bastante realizar a regra de três simples:

$$\begin{array}{ccc} 0,0005 & \text{—————} & 100 \\ x & \text{—————} & 1.000.000 \end{array}$$

Portanto: $x = \frac{0,0005 \cdot 10^6}{100}$ donde vem: $\boxed{x = 5 \text{ ppM}}$

Uma maneira prática para se obter um valor expresso em ppM é multiplicar por 10^4 o mesmo valor expresso em percentagem. Da mesma forma, se se deseja expressar em valor percentual um valor que está expresso em ppM, divide-se este por 10^4 . Exemplos:

a) expressar 0,00015% em ppM: $0,00015 \cdot 10^4 = 1,5 \text{ ppM}$

b) expressar 25 ppM em forma percentual:

$$25 \div 10^4 = 0,0025\%$$

Esta linguagem de ppM é utilizada de modo muito freqüente nas medidas de altíssima precisão, feitas através de equipamentos e laboratórios de primeiríssima qualidade.