



BC0302

FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS


Prof. Dr. Flavio Leandro de Souza

BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

Experimento 1: Lei de Ohm

- (i) Medida da resistência elétrica de um componente desconhecido;
- (ii) Atribuição correta dos erros associados às medidas de tensão e corrente;
- (iii) Propagação de erros para a determinação das incertezas associadas ao cálculo das resistências;
- (iv) Confecção de um gráfico Tensão vs. Corrente e determinação gráfica dos valores de resistência através do método dos mínimos quadrados;

Experimentos 2 e 3: Interferência das resistências internas dos instrumentos de medida

- (i) Análise da influência da resistência interna dos instrumentos de medida num circuito elétrico;
 - (ii) Confecção de um gráfico Tensão vs. Corrente em papel dilog;
 - (iii) Comparação com os valores nominais dos resistores;
 - (iv) Medida “efetiva” da resistência interna de um voltímetro e de um amperímetro;
- 

BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

Experimento 4: Leis de Kirchhoff

- (i) Verificação experimental das leis de Kirchhoff: lei das correntes (divisor de correntes e lei das tensões (divisor de tensões);
- (ii) Obtenção do erro associado à medida de uma grandeza através da técnica de corrente propagação de erros;
- (iii) Determinação gráfica do valor de uma grandeza através da técnica de ajuste linear;

Experimento 5: Mapeamento de linhas equipotenciais e campo elétrico

- (i) Obtenção das linhas de equipotencial para duas configurações distintas de materiais em uma cuba eletrolítica através da técnica de discretização em um plano bidimensional;
- (ii) Determinação do vetor campo elétrico (módulo, sentido e direção) em cada um dos pontos que constituem a linha equipotencial;



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 1 – ERROS EM INSTRUMENTAÇÃO DIGITAL

Parte1-a: Origem dos erros

(i) Resolução na conversão de um sinal analógico em um sinal digital;

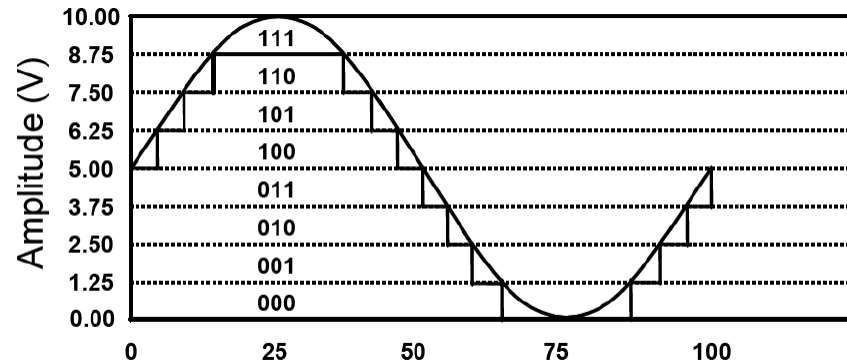
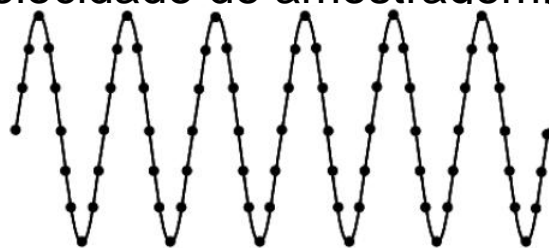


Figura 1: Digitalização de um sinal analógico para o caso de uma resolução de três bits

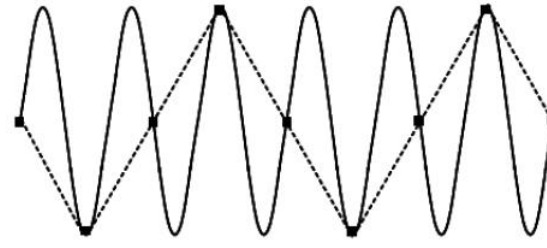
(ii) Faixa de voltagens que o conversor utiliza na entrada;

$$R = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{(2^N - 1) \text{ níveis}}$$

(iii) Velocidade de amostragem:



Amostragem adequada



Amostragem insuficiente



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 1 – ERROS EM INSTRUMENTAÇÃO DIGITAL

Parte1-b: Erro de medida em multímetros digitais

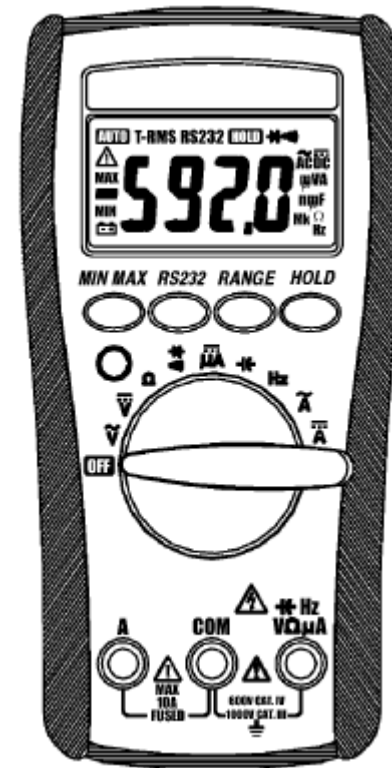
(i) O erro na leitura de um equipamento digital (por exemplo, um multímetro) tem limitações específicas para cada função e faixas de operação;

(ii) Multímetro modelo ET-2510
(Características básicas)

(ii-1) Leituras entre -6000 e 6000 contagens;

(ii-2) Chamado de “3 e meio dígitos”

(ii-3) Escalas de tensão, corrente e resistência;



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

MULTÍMETRO – ESCALAS DE TENSÃO DC

- A faixa define a posição do ponto decimal
- Precisão: $\pm (0,5\% \text{ valor medido} + 2 \text{ dígitos})$
Ou seja: $\pm (0,5 \text{ do valor da leitura} + 2 \text{ vezes o dígito menos significativo da escala})$
- Ex.: escala de 6 Volts \rightarrow de -5.999 a 5.999
 - Seja a leitura de 2.335 V
 - $0,5\% \text{ de } 2,335 \text{ V} = 0,005 \times 2,335 = 0,011675 \text{ V}$
 - 2 vezes o dígito menos significativo nesta escala = 0,002 V
 - Então, temos que $0,011675 + 0,002 = 0,013675$
 - Valor da tensão DC (com arredondamento) = $(2,34 \pm 0,01) \text{ V}$



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 2 – TEORIA DE ERROS

Medida de uma grande física “x”: sujeita a erros devido a diversos fatores (precisão do experimento, perícia do experimentalista, flutuação estatística da medida, etc.) que podem ser classificados como:

- (i) Erros grosseiros;
- (ii) Erros sistemáticos;
- (iii) Erros acidentais;

Conceitos básicos da teoria de erros

(i) **Valor médio** (obtido através de N medidas da grandeza “x”):

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

(ii) **Desvio padrão** ou dispersão em torno da média (dado em termos da variância σ_x^2):

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$$

Uma vez realizado o experimento o valor da grandeza medida é expresso como $x \pm \sigma_x$.

BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 2 – TEORIA DE ERROS

Propagação de erros (técnica utilizada no caso da determinação de uma grandeza “G” obtida através de outras grandezas “x”, “y”, “z”, etc... medidas diretamente no experimento):

(i) **Valor médio** (calculado através do valor médio das variáveis “x”, “y” e “z”):

$$\bar{G} = G(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$$

(ii) **Desvio padrão** (dado em termos da variância σ_x^2):

$$\sigma_G^2 = \left(\frac{\partial G}{\partial x}\right)^2 \cdot \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial y}\right)^2 \cdot \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial G}{\partial z}\right)^2 \cdot \sigma_z^2$$

(iii) **Exemplo de aplicação**

Encontre a resistência elétrica de um fio de alumínio a 20 °C obtida através dos valores da resistividade elétrica do alumínio $\rho = (2,82 \pm 0,01) \cdot 10^{-6} \cdot \text{cm}$, do comprimento do fio $L = (2,151 \pm 0,005) \text{m}$ e de seu raio $r = (0,50 \pm 0,05) \text{cm}$.

BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 3 – MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Método dos mínimos quadrados

- (i) Técnica para ajuste linear de uma coleção de dados;
- (ii) É utilizado para obter os coeficientes linear e angular de uma função do tipo:
$$f(x) = a + bx ;$$
- (iii) Uma vez obtidos os coeficientes, temos a equação da melhor função linear que poderia substituir a coleção de dados experimentais;

Considerando os dados x_i , y_i e a função $f(x_i)$, é conveniente analiticamente minimizar o quadrado dos desvios:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^N [y_i - f(x_i)]^2 = \sum_{i=1}^N [y_i - a - bx_i]^2.$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} = \sum_{i=1}^N 2[y_i - a - bx_i] (-1) = 0 \qquad \frac{\partial \varepsilon}{\partial b} = \sum_{i=1}^N 2[y_i - a - bx_i] (-x_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^N y_i - Na - \sum_{i=1}^N x_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N x_i y_i - a \sum_{i=1}^N x_i - b \sum_{i=1}^N x_i^2 = 0$$



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

PARTE 3 – MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

Método dos mínimos quadrados

(i) **Coeficiente linear:**
$$a = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i y_i \sum x_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

(ii) **Coeficiente angular:**
$$b = \frac{N \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2},$$

(iii) **Desvios-padrão dos coeficientes:** $\sigma_a^2 = \frac{\sigma^2}{\Delta} \sum x_i^2$ e $\sigma_b^2 = \frac{\sigma^2}{\Delta} N$

onde: $\sigma^2 = \frac{1}{N-2} \sum (y_i - a - bx_i)^2$ e $\Delta = N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2$

(vi) **Exemplo de aplicação:**

X	0	1.2	2.5	4.5	7.1
Y	0.1	2	3.6	5.1	8



BC0302 - FENÔMENOS ELETROMAGNÉTICOS

Experimento 5: Mapeamento de linhas equipotenciais e campo elétrico

- (i) Obtenção das linhas de equipotencial para duas configurações distintas de materiais em uma cuba eletrolítica através da técnica de discretização em um plano bidimensional;
- (ii) Determinação do vetor campo elétrico (módulo, sentido e direção) em cada um dos pontos que constituem a linha equipotencial;

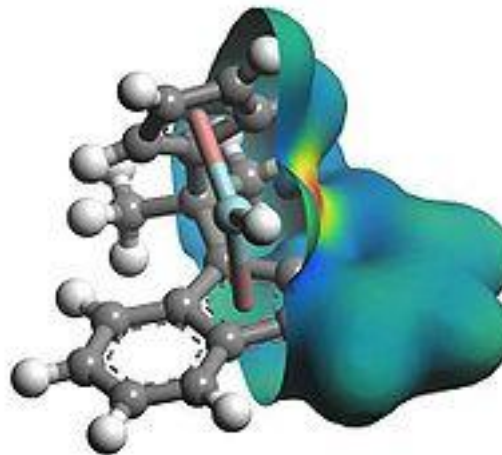


Figura 2: Molécula de Zirconoceno com uma isosuperfície mostrando as áreas da molécula susceptíveis a ataque eletrofílico.

(<http://www.accelrys.com>)

