

Medidores de Grandezas Elétricas

José Jorge de Oliveira Neto



Faculdade de Tecnologia e Ciências da Bahia
Alagoinhas - BA

Introdução

- ▶ Medidores simples cada vez mais completos
- ▶ Avanço da eletrônica e capacidade de processamento
- ▶ Multímetros e Osciloscópio

Galvanômetros e Instrumentos fundamentais

- ▶ Instrumentos Analógicos
- ▶ Instrumentos Digitais



Voltímetro Renz Fm
72x72 300v



Frequencímetro de
Painel Analógicos
72x72 220 VCA 45-
65Hz na View Tech



Amperímetro
Analógico
96x96mm Medição
Direta 50A na Vie...



Multímetro Digital
Medidor De
Eletricidade
Profissional Lutok



Voltímetro Digital
Verde 20-500v
22mm Yathon



Multímetro Digital
Portátil Et-1002
Original Minipa

Instrumentos Analógicos

- ▶ Primeiros instrumentos
- ▶ Baseados em engenhosos efeitos eletromagnéticos
- ▶ Movimentação do ponteiro sobre uma escala graduada e calibrada
- ▶ Bastante utilizado, no entanto vem perdendo cada vez mais espaço para os digitais
- ▶ Erro paralaxe - vista do observador e o ponteiro não se situam no mesmo plano. Utilização de espelhos para auxílio

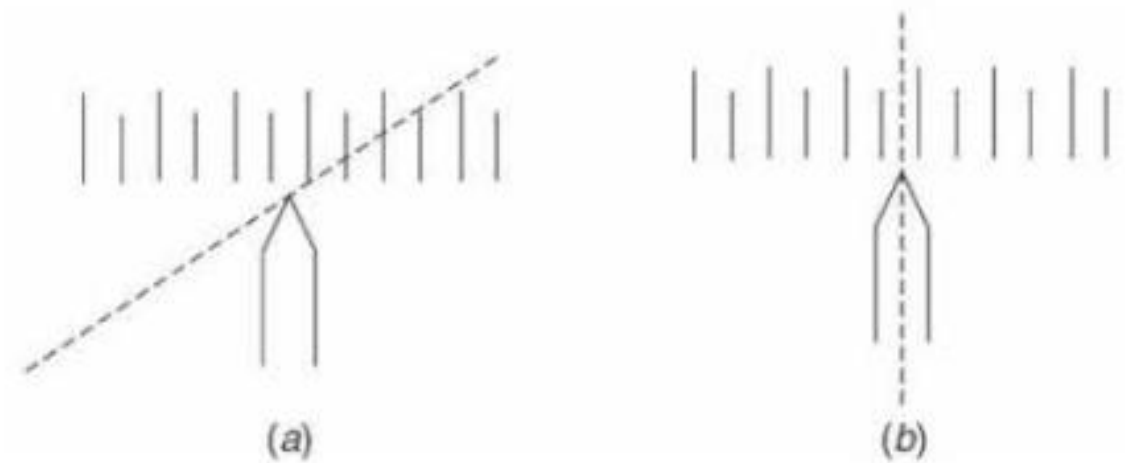


Figura 5.2 Erro de paralaxe.

Instrumentos Analógicos - Princípios de Funcionamento

- ▶ Instrumento fundamental - o galvanômetro, sensíveis a baixas correntes
- ▶ Acréscimo de outros componentes com fim de mensurar determinada grandeza
- ▶ **Galvanômetro de Ferro móvel:** consiste basicamente em duas barras metálicas paralelas adjacentes, imersas em um campo eletromagnético gerado por uma bobina na qual passa uma corrente. As barras magnetizadas irão se repelir e de acordo com uma mola de calibração anexadas a uma delas, move-se o ponteiro sobre a escala.

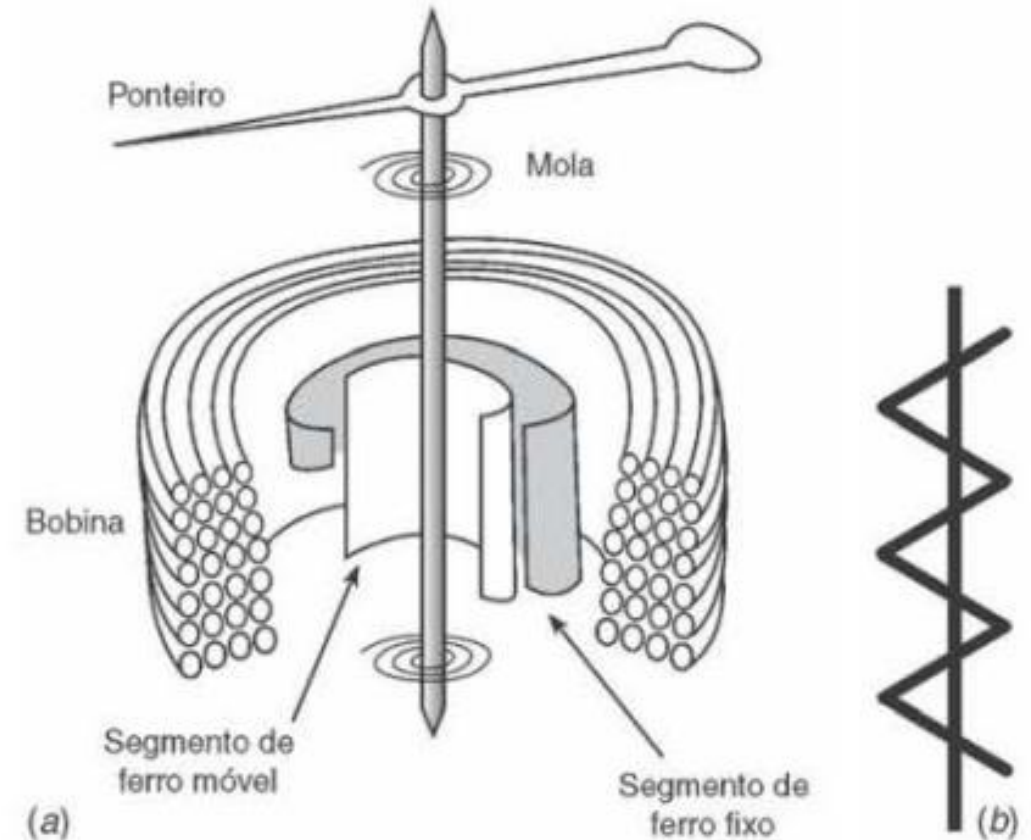


Figura 5.3 (a) Princípio de funcionamento do galvanômetro de ferro móvel e (b) seu símbolo.

Instrumentos Analógicos - Princípios de Funcionamento

- ▶ **Galvanômetro de bobina móvel:** utiliza um ímã permanente. Os polos desse ímã são montados em conjunto com uma bobina. Quando uma corrente passa pela bobina, ela se movimentará em seu eixo a partir do momento que vencer o campo do ímã e as forças da mola de calibração
- ▶ Mudando o sentido da corrente, inverte o sentido do ponteiro. Quando submetido a corrente alternada, sua saída é proporcional a média do sinal. Se o componente DC for 0, o ponteiro fica imóvel

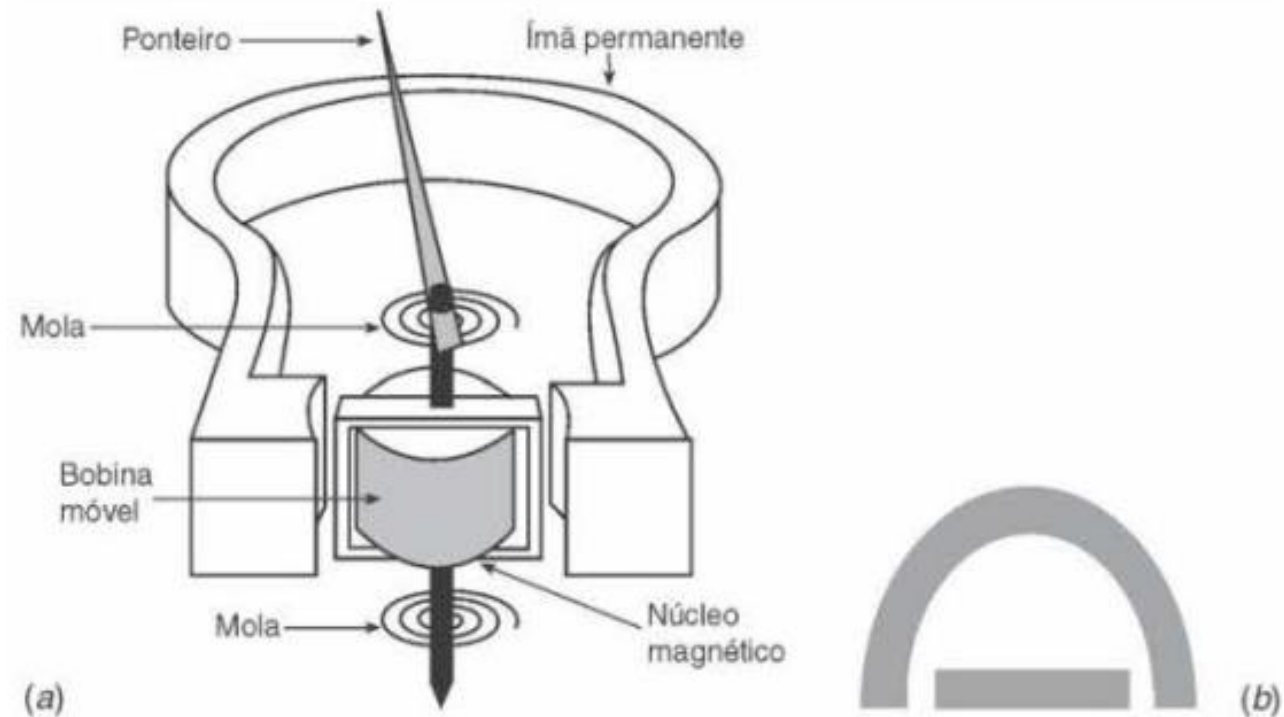
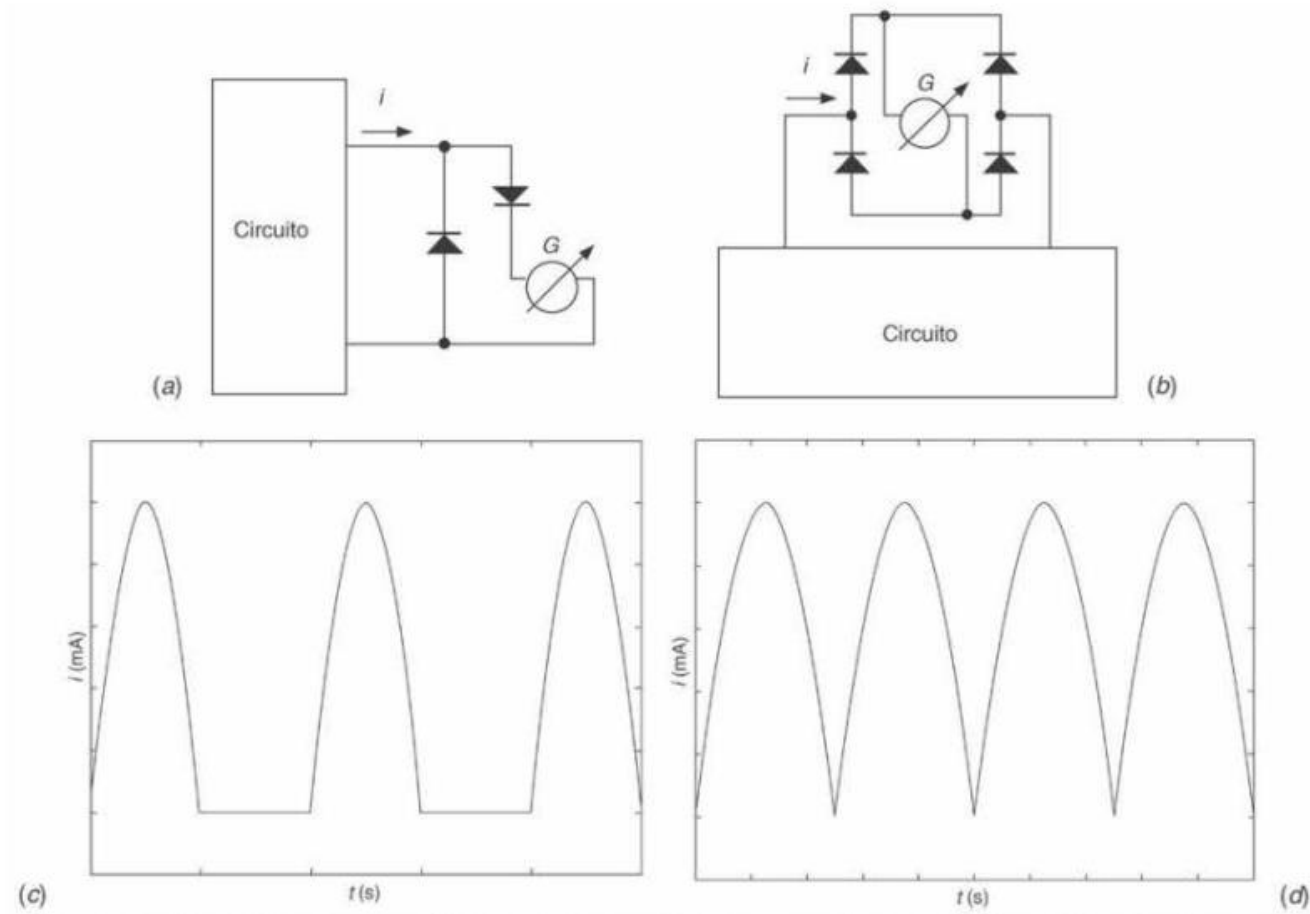


Figura 5.4 (a) Princípio de funcionamento do galvanômetro de bobina móvel e (b) seu símbolo.

Instrumentos Analógicos - Princípios de Funcionamento

- ▶ A maioria dos instrumentos analógicos de bancada é baseado no galvanômetro de bobina móvel, devido a sua precisão superior ao de ferro móvel
- ▶ Apesar de medirem sinais DC de baixa frequência, é possível a utilização em sinais AC
- ▶ Utiliza-se retificadores neste caso

Instrumentos Analógicos - Princípios de Funcionamento



Instrumentos Digitais

- ▶ Fornecem a leitura em forma de dígitos em vez de ponteiros
- ▶ Conversor analógico digital conectado a um pequeno circuito de seleção e tratamento, além da unidade de visualização
- ▶ Resolução fornecida em função do número de dígitos
 - ▶ Se um instrumento pode mostrar até 999, diz-se que é representado por 3 dígitos apresentando uma resolução de 1 unidade.
 - ▶ LCDs de baixo custo com fundo de escala de 1999 (2000 contagens) - diz-se que esse instrumento é de 3 ½ dígitos.



Figura 5.6 Instrumentos digitais. Cortesia de Minipa Ind. e Com. Ltda.

Instrumentos Digitais

- ▶ Fundos de escala típicos em instrumentos digitais
 - ▶ 20 mA, 200 mA, 2V, 20 V, 200 V etc
- ▶ Existem instrumentos com relações de dígitos como $3\frac{3}{4}$ (4000 contagens, 0 a 3999), $4\frac{3}{4}$ (40 000 contagens, 0 a 39 999)

Tabela 5.1 Relação entre resolução de *display* e contagens

Dígitos	Contagens	Total
$3\frac{1}{2}$	0 a 1 999	2 000
$3\frac{3}{4}$	0 a 3999	4 000
$4\frac{1}{2}$	0 a 19 999	20 000
$4\frac{3}{4}$	0 a 39 999	40 000
$4\frac{1}{5}$	0 a 49 999	50 000



Figura 5.8 Instrumento digital com $3\frac{3}{4}$ dígitos. Cortesia de Minipa Ind. e Com. Ltda.

Instrumentos Digitais - Fator de crista

- ▶ Maioria dos multímetros trabalham com valores médio ou RMS, desde que sejam senoidal puro. Multímetros desse tipo não podem ser utilizados para medir sinais não senoidais
- ▶ TRUE RMS - adequados para sinais não senoidais
 - ▶ Limitado pelo fator de crista, proporção entre o valor de pico e seu valor RMS
 - ▶ Pode resultar em um número maior na incerteza do instrumento
 - ▶ Fator de crista varia com a forma de onda

$$FC = \frac{|V_{\text{pico}}|}{V_{\text{RMS}}}$$

Medidores de Tensão

- ▶ **Voltímetro** - alta impedância de entrada, idealmente infinita
- ▶ Conceito importante, uma vez que idealmente o instrumento de medida não deve interferir no processo
- ▶ Na prática, é finita, e quanto maior, melhor será o instrumento
- ▶ Deve ser conectado em **paralelo**

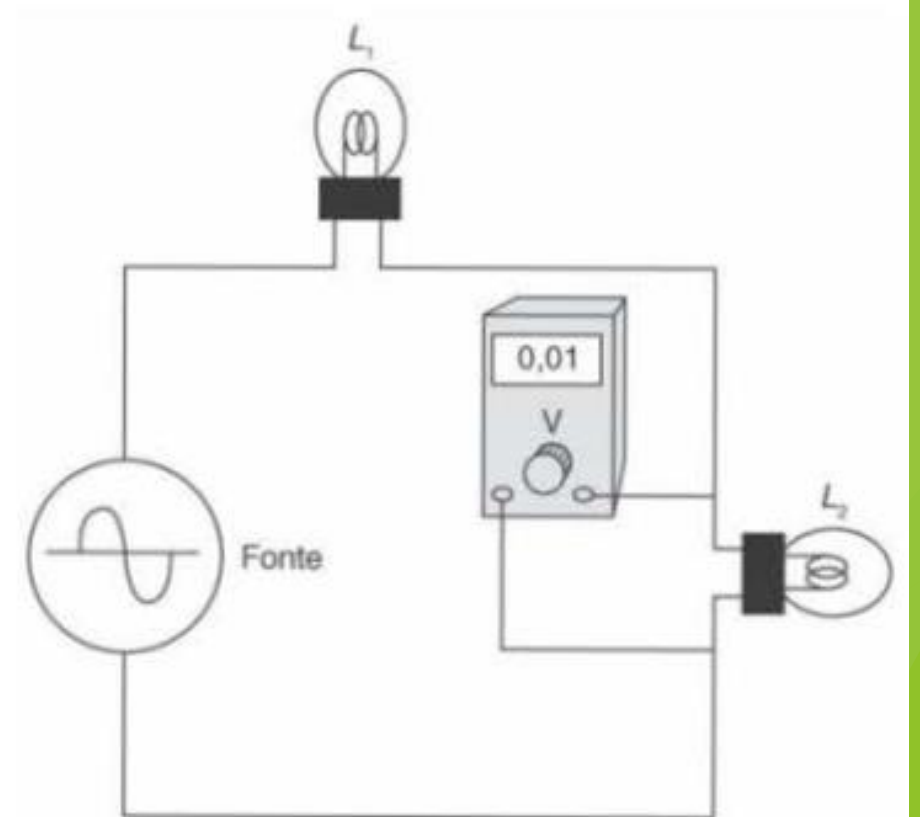


Figura 5.9 Voltímetro ligado em paralelo com a carga.

Voltímetro Analógico

- Combinação de uma resistência série ao galvanômetro

$$iFE = \frac{Em}{R_{calc} + Ri} \Rightarrow R_{calc} = \frac{Em}{iFE} - Ri$$

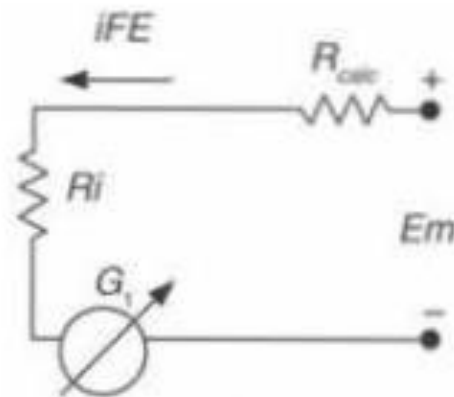


Figura 5.10 Esquema de um voltímetro construído com um galvanômetro.

Voltímetro Analógico

- ▶ Podemos observar que o R_{calc} é bastante alta com relação a R_i
- ▶ A corrente necessária para deslocar o ponteiro é desviada do processo
- ▶ A Sensibilidade de um voltímetro analógico é definida:

$$S = \frac{1}{iFE}$$

- ▶ Sensibilidade fornecida em ohm/V, costuma estar impresso no painel do instrumento
- ▶ Valores comuns: 10 000 ohm/V, 20 000 ohm/V, 30 000 ohm/V
- ▶ Quanto maior a sensibilidade, maior a qualidade do instrumento

Voltímetro Analógico

- ▶ É possível estimar a resistência interna do multímetro utilizando a sensibilidade
- ▶ A incerteza é fornecida em termos do fundo de escala
- ▶ Consulta-se manual do fabricante

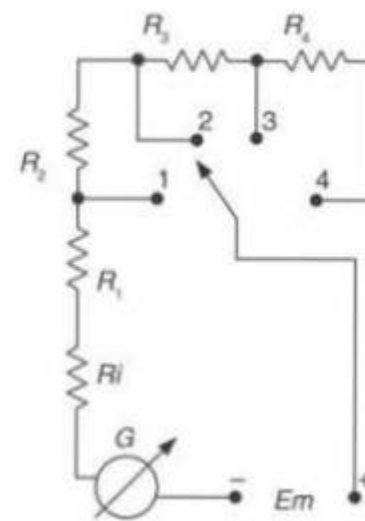


Figura 5.12 (a) Esquema de um voltímetro analógico com escalas; (b) escalas de um multímetro analógico. Cortesia de Minipa Ind. e Com. Ltda.

Exercícios

- ▶ 1. Qual o princípio de funcionamento do galvanômetro de ferro móvel?
- ▶ 2. Qual o princípio de funcionamento do galvanômetro de bobina móvel?
- ▶ 3. O que é o erro paralaxe e que tipo de instrumento ele afeta?
- ▶ 4. Suponha que se faz necessário a medição de tensão de uma instalação de corrente alternada. Você tem a disposição um multímetro analógico de bobina móvel para medição. Em qual configuração é possível realizar a medição? Qual a forma de onda no galvanômetro?
- ▶ 5. Qual a resolução de um voltímetro que apresenta as seguintes características?
 - a. $3\frac{1}{2}$ dígitos na escala de 200 mV.
 - b. $4\frac{1}{2}$ dígitos na escala de 2 V.
 - c. $3\frac{3}{4}$ dígitos na escala de 400 mV.
 - d. $4\frac{3}{4}$ dígitos na escala de 4 V.

Exercícios

- ▶ 6. Suponha que está realizando o projeto de um voltímetro analógico. Para um galvanômetro com corrente de fundo de escala de 1 mA, Resistência interna de 10 ohms. Calcule as resistências para as escalas de 200 mV, 2V, 20V e 200V.
- ▶ 7. Um voltímetro analógico possui sensibilidade 10 000 ohms/V. Quanto será a resistência interna do aparelho quando o fundo de escala for: a) 10V b) 2.5 V
- ▶ 8. Qual a corrente de fundo de escala para as condições: $100 \frac{\Omega}{V}$, $1000 \frac{\Omega}{V}$ e $20000 \frac{\Omega}{V}$.
- ▶ 9. Calcule a tensão medida pelo galvanômetro para cada caso do item 8)
- ▶ 10. O fabricante sinaliza que a incerteza de seu voltímetro é de 3% do FE. Numa situação que se mede 9 V, fundo de escala 10V, qual é a incerteza e qual a sua porcentagem com relação ao valor medido?

Voltímetro Digital

- ▶ Basicamente, depende apenas de um conversor A/D e um display
- ▶ Sendo um conversor AD do tipo Dupla Rampa ou integrador

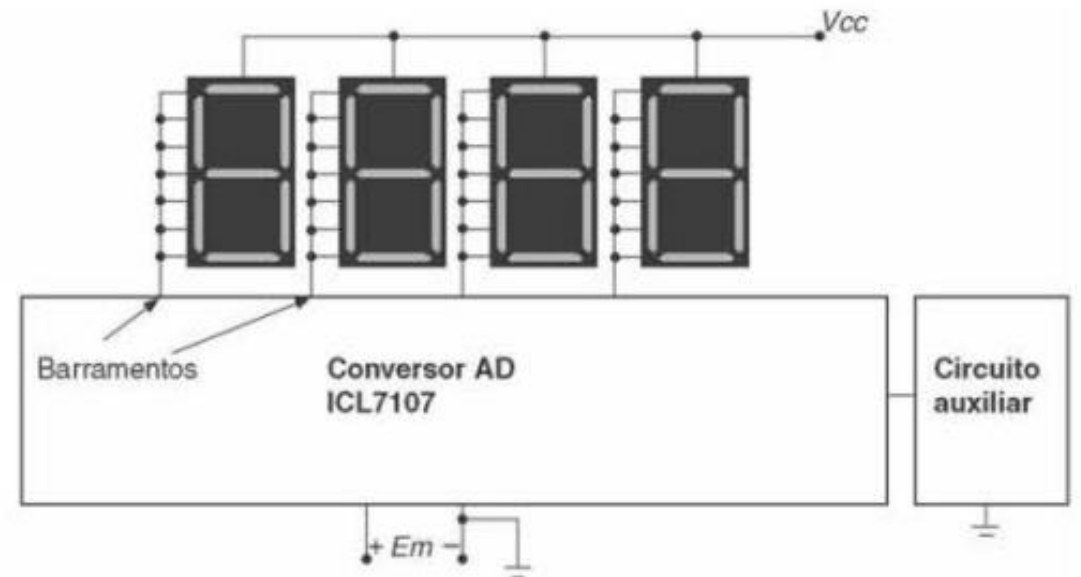


Figura 5.14 Diagrama de blocos de um multímetro digital.

Voltímetro Vetorial

- ▶ Faz medição da amplitude e da fase da tensão
- ▶ Consiste em um detector de fase síncrono da tensão em relação a uma tensão de referência
- ▶ Um integrador, um voltímetro digital e um processador

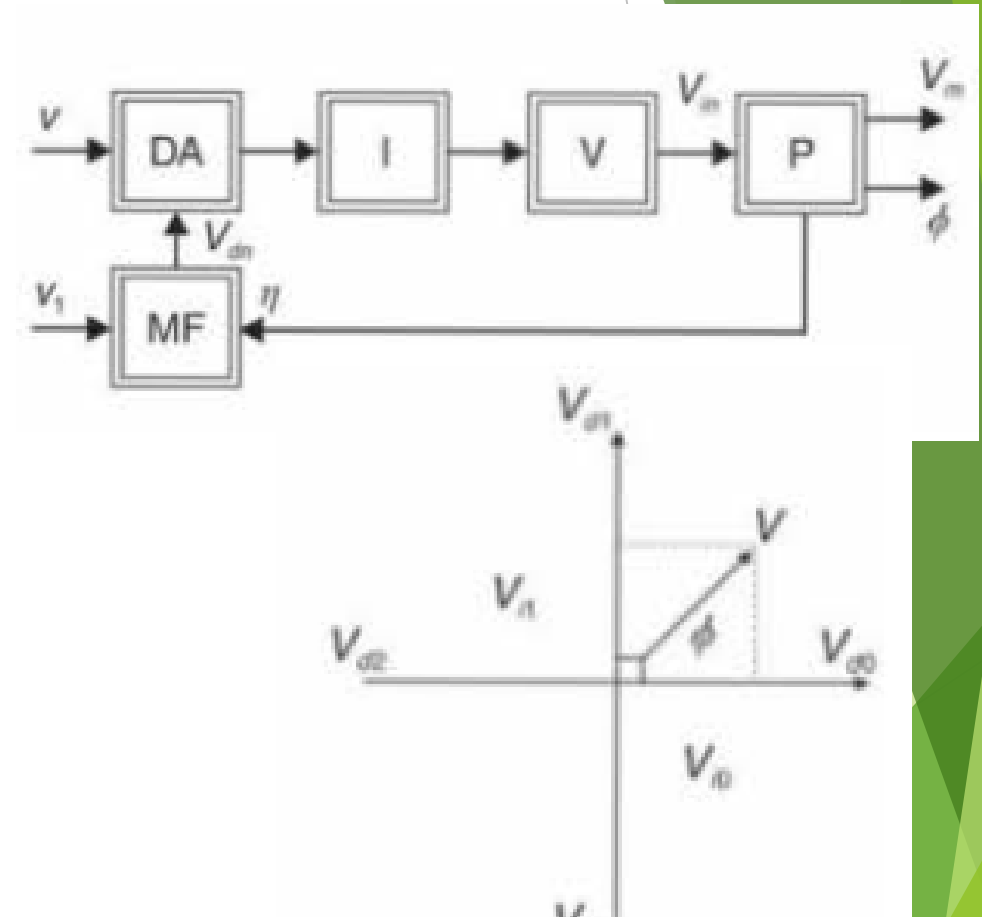


Figura 5.16 Diagrama de blocos de um voltímetro vetorial: MF multiplexador de fase; DA, detector de fase; I, integrador; V, voltímetro; P, processador.

Voltímetro Vetorial

$$v = V_m \text{sen}(\omega t + \phi) = \\ = V_m (\text{sen}\omega t \cos\phi + \cos\omega t \text{sen}\phi)$$

$$v_{dn} = V_{md} \text{sen}\left(\omega t + \eta \frac{\pi}{2}\right) \text{ para } \eta = 0, 1, 2, 3$$

$$V_{in} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} v v_{dn} dt$$

► para $0 \leq \phi \leq \frac{\pi}{2}$ e $\eta = 0, \eta = 1,$

$$V_{i0} = 0,5 V_m V_{md} \cos\phi \text{ e } V_{i1} = 0,5 V_m V_{md} \text{sen}\phi$$

$$V_m = \frac{2}{V_{md}} \sqrt{V_{i0}^2 + V_{i1}^2} \text{ e } \phi = \arctan \frac{V_{i1}}{V_{i0}}$$

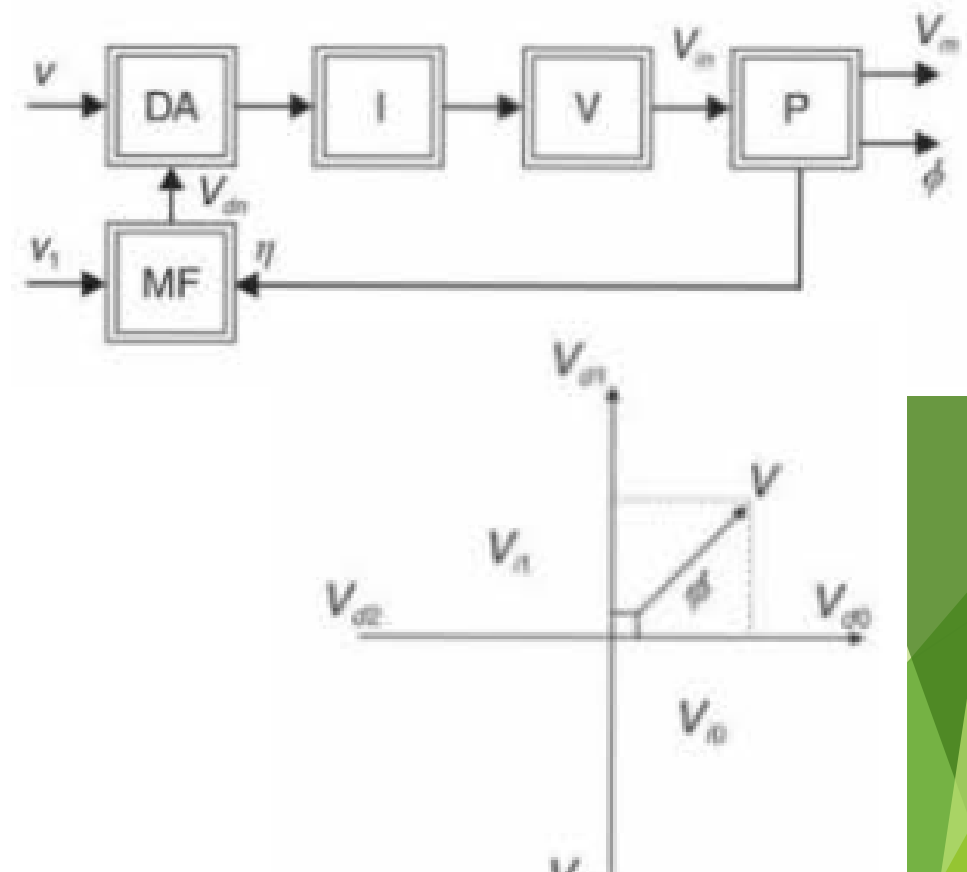


Figura 5.16 Diagrama de blocos de um voltímetro vetorial: MF multiplexador de fase; DA, detector de fase; I, integrador; V, voltímetro; P, processador.

Medidores de Corrente

- ▶ **Amperímetro:** possui baixa impedância, idealmente nula
- ▶ A ideia é não interferir no circuito, a queda de tensão sobre ele deve ser mínima ou nula
- ▶ Quanto menor a impedância, melhor o instrumento
- ▶ Deve ser conectado em série

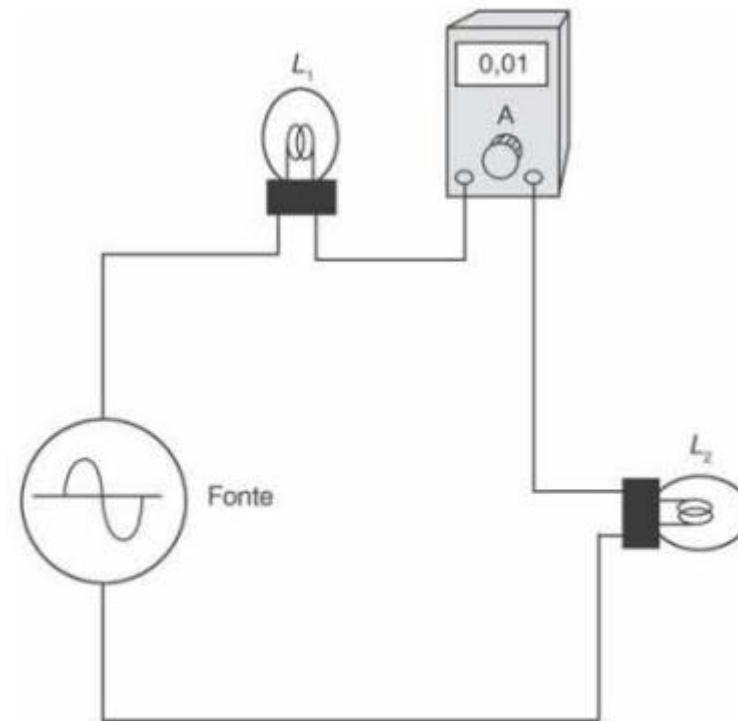
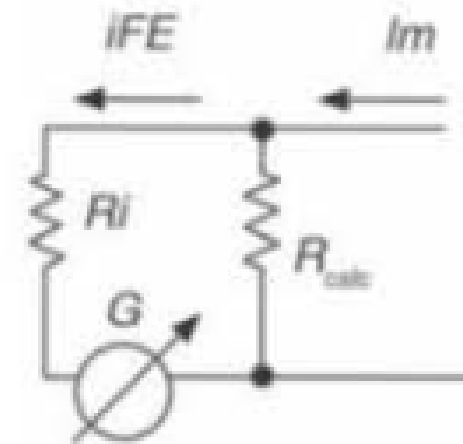


Figura 5.22 Amperímetro ligado em série.

Amperímetro analógico

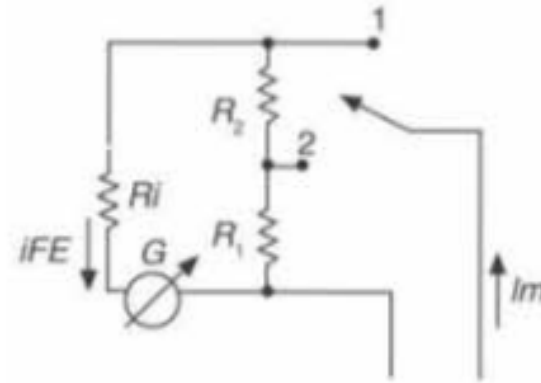
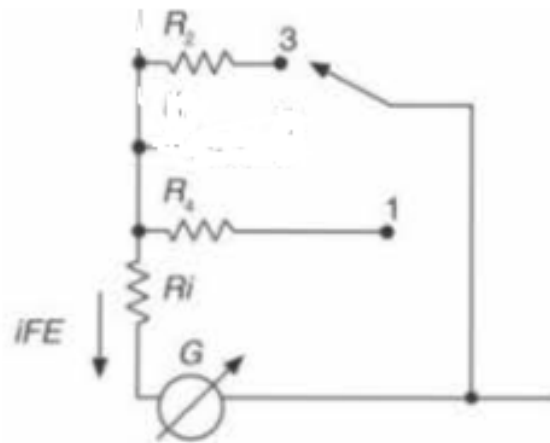
- ▶ A construção do amperímetro consiste em uma resistência em paralelo ao galvanômetro

$$iFE = \frac{Im R_{calc}}{R_{calc} + R_i} \Rightarrow R_{calc} = \frac{R_i \cdot iFE}{Im - iFE}$$



Exercício

- 11. Calcule as resistências de dois amperímetros analógico sabendo que a corrente FE é de 1 mA e sua R_i é de 10 ohms. A escalas desejadas são: 2 A e 20 A. Suponha as duas configurações



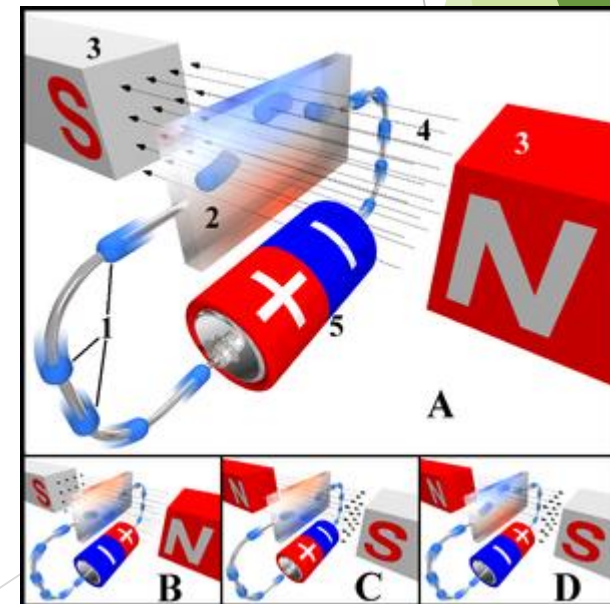
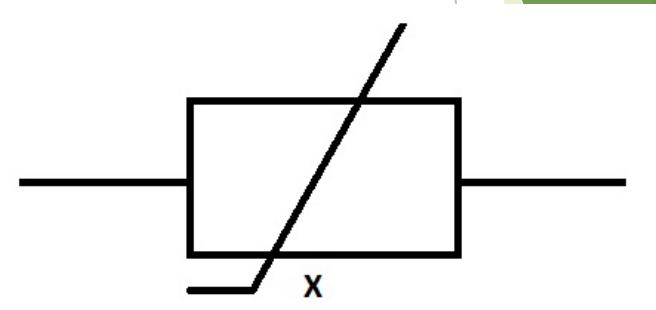
Amperímetro Digital

- ▶ Similarmente ao voltímetro digital - conversor analógico digital e um display
- ▶ Necessidade de um circuito intermediário para conversão da corrente em tensão
 - ▶ Resistor shunt
- ▶ **Sensores Resistivos** - apresentam como vantagem a simplicidade de utilização. Como desvantagem, são intrusivos, sem isolamento elétrico, capacitâncias e indutâncias parasitas o que gera problemas em alta frequência
- ▶ **Sensores Implementados com TC** - podem ser uma ótima opção. Possuem perdas desprezíveis, entretanto, só funcionam em correntes alternadas



Amperímetro Digital

- ▶ **Sensores Magnetorresistivos** - sensíveis a variação de campo, porém possuem baixa linearidade e dependentes da temperatura. MDR - (Magnetic Dependent Resistor)
- ▶ **Sensores de efeito Hall** - sensíveis a variação de campo magnético e podem ser utilizados na medição de correntes desde DC até dezenas de kHz.
 - ▶ Bastante versáteis
 - ▶ Baixo custo
 - ▶ Fácil utilização
 - ▶ Possui dependência com a temperatura
- ▶ **Sensores CMOS de campo magnético** - sensores de alta sensibilidade, baixa potência de consumo e baixa sensibilidade a temperatura. Porém, possuem utilização e calibração complexas



Amperímetro Alicate

- ▶ Instrumento não invasivo
- ▶ Torna sua aplicação interessante para diversos tipos de instalações onde não se deseja interromper o circuito
- ▶ Realiza a medida com isolamento elétrico
- ▶ Constituído pelo secundário de um Transformador de Corrente (elemento sensor), encontrado no gancho do medidor.
- ▶ O condutor envolvido funciona como enrolamento primário de um TC
 - ▶ Induz uma corrente no secundário (gancho)
 - ▶ A corrente é processada e mostrada num display
 - ▶ Ou enviada ao galvanômetro e mostrada na escala graduada



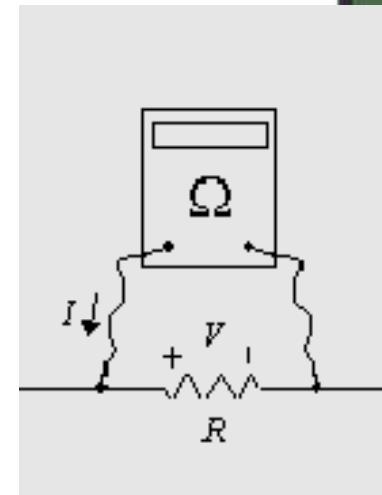
Amperímetro Alicate

- ▶ Uma prática comum é a utilização de espiras em volta do gancho
- ▶ Comum quando a corrente é muito pequena
- ▶ Auxilia na precisão de instrumentos mais antigos
- ▶ Para n espiras em volta do gancho, divide-se a corrente por n
- ▶ Existem medidores para corrente AC e DC



Medição de Resistência Elétrica: Ohmímetro

- ▶ Instrumento analógico ou digital cuja a função é medir a resistência de um determinado elemento
- ▶ Necessita de uma fonte de energia
 - ▶ Em geral bateria
- ▶ Responsável por manter uma corrente circulando
- ▶ O início e o fundo de escala do ohmímetro são atingidos em duas situações
 - a) Quando os terminais do instrumento estão em aberto
 - b) Quando os terminais do instrumento forem curto-circuitados

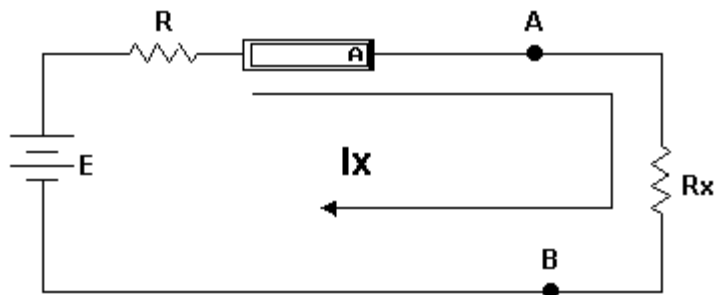


Ohmímetro

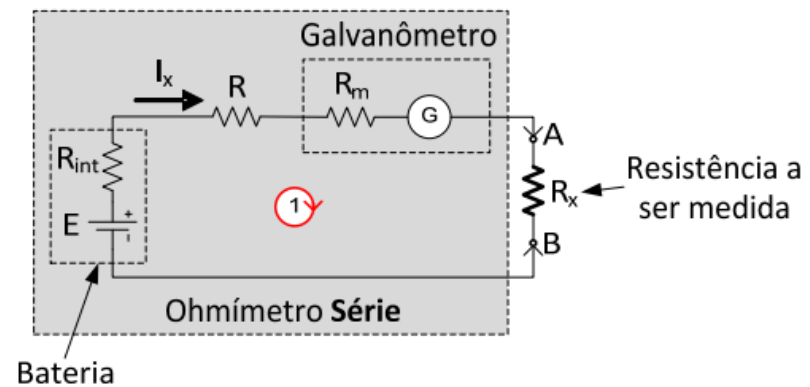
- ▶ No equipamento analógico o ponteiro se deslocará em sentido inverso ao do voltímetro e amperímetro
- ▶ A corrente diminui a medida que a resistência aumenta
- ▶ O deslocamento do ponteiro é não linear por ser proporcional ao inverso da resistência
- ▶ Não deve ser utilizados em componentes energizados
- ▶ O componente deve estar isolado
- ▶ Dedos longe dos contatos

Ohmímetro

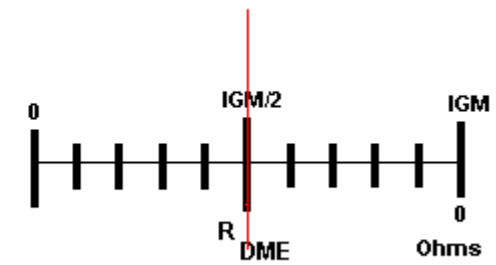
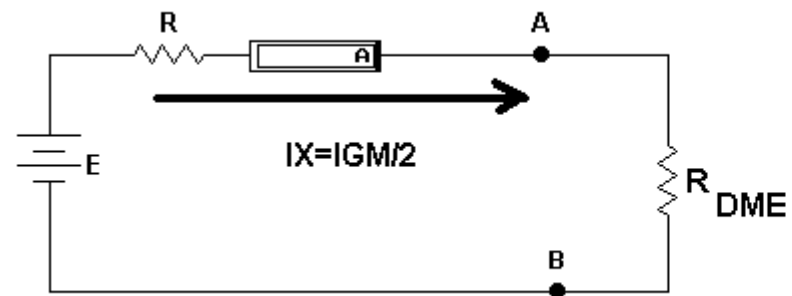
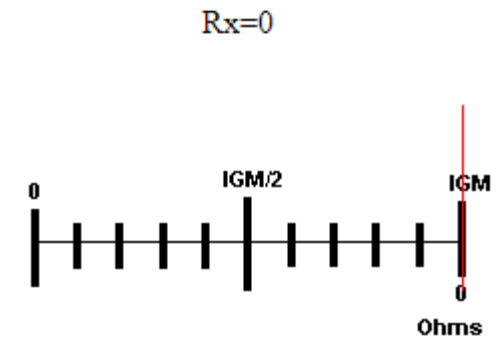
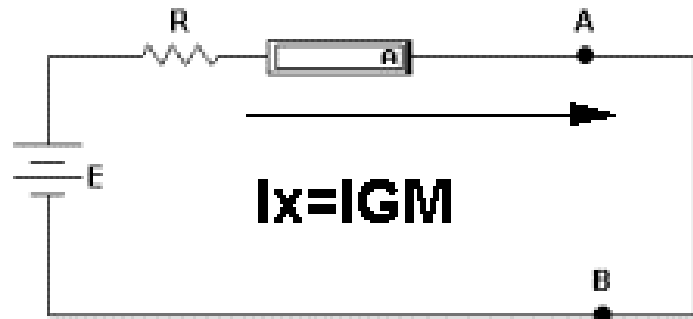
- ▶ Os ohmímetros mais usais são alimentados de 9V ou menos
- ▶ Adequado para medir resistências abaixo de algumas dezenas de megaohms
- ▶ Porém não é suficiente para resistências muito elevadas



A Figura 4.1 mostra o circuito básico de um ohmímetro série.



Ohmímetro

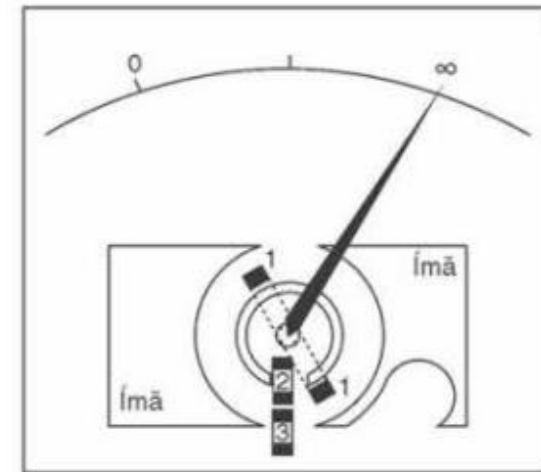


Exercícios

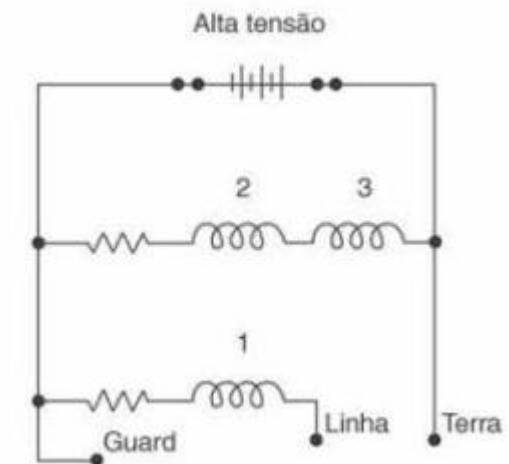
- ▶ 12. Projete um ohmímetro usando um amperímetro 3mA de fim de escala e $R_{iA} = 200$ ohms, com resistência de meio de escala de 1k ohm
- ▶ 13. Utilizando o galvanômetro de 1mA, R_i de 100 ohms, faça um projeto de um ohmímetro série. Considere uma bateria ideal de 10 volts
- ▶ 14. Supondo que a bateria teve 15% de redução de seu potencial (perda de 1,5V), qual o valor de resistência seria observado para um resistor de 10k ohm
- ▶ 15. Verificou-se que quando os terminais do ohmímetro, que foi projetado no exercício 1, são colocados em curto circuito, o instrumento indica um valor de 1500 ohms. Considerando que as resistências não foram alteradas, que o galvanômetro está funcionando corretamente, explique numericamente o motivo do erro. Que tipo de erro de medida é esse?

Megôhmetro

- ▶ Construtivamente diferente do ohmímetro
- ▶ A medição deve ser possível em casos de variação abrupta de resistência
 - ▶ Gap de ar
- ▶ A bobina 2 e 3 tendem levar a agulha para direita
- ▶ Bobina tende levar a agulha para esquerda
- ▶ Os resistores são calibrados para que em caso de curto, a agulha aponte para o zero



(a)



(b)

Megôhmetro

- ▶ Possuem sistemas de segurança contra choques elétricos
- ▶ Digitais são acionados por botões do tipo pushbutton
 - ▶ Não permanecem acionados
- ▶ Possuem três terminais: linha, referência e *guard*



Megôhmetro

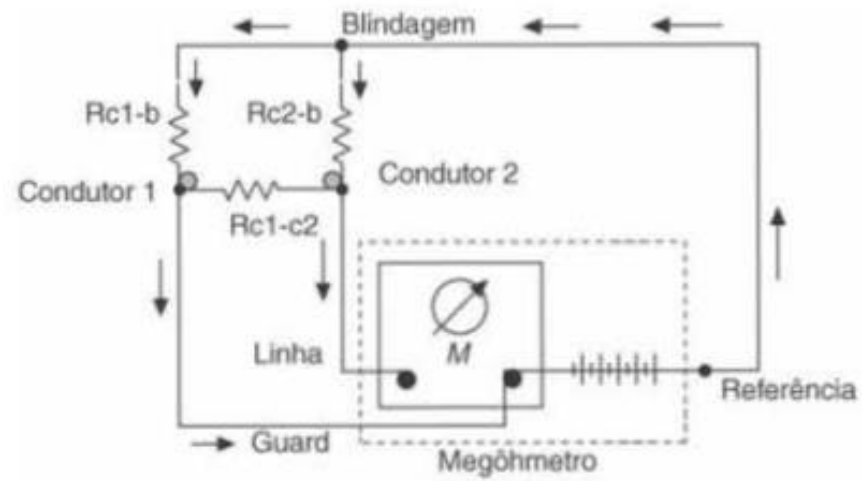
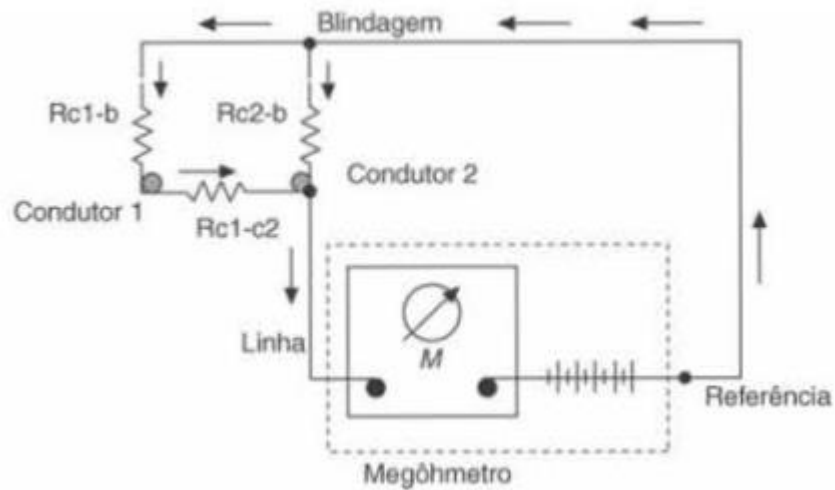


Figura 5.43 Diagrama elétrico da ligação da Figura 5.42.

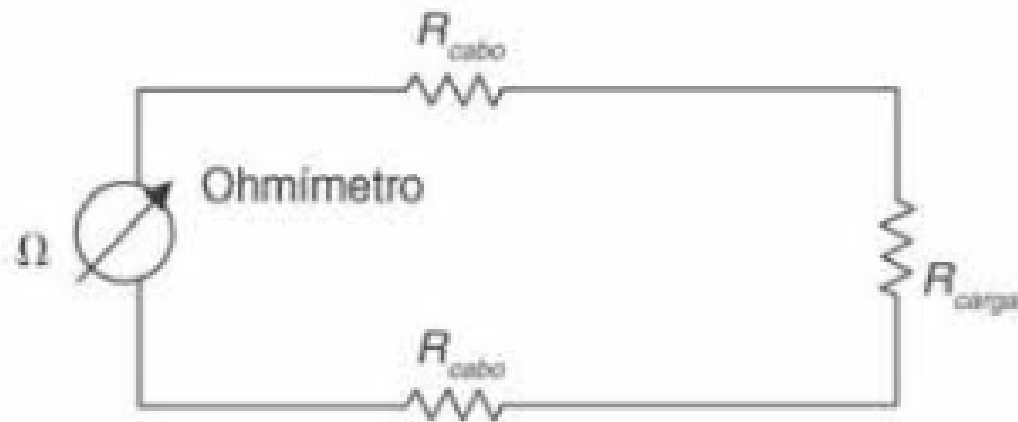
Megômetros

- ▶ Instrumentos de campo, portáteis
- ▶ Muito úteis na verificação de falhas de isolamento
- ▶ Podem causar degradação aos isolamentos quando mal utilizado
- ▶ *Hi-pots* - instrumentos também utilizado para medição de isolamentos



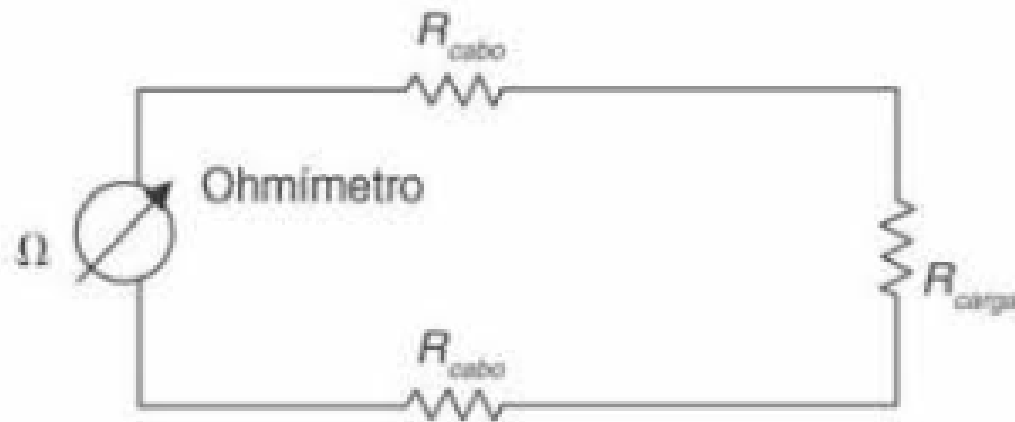
Método Kelvin para medição de resistências

- ▶ Dada a necessidade de medição remota de resistência
- ▶ Medição de pequenas resistências
- ▶ Os cabos exercem influência na medição



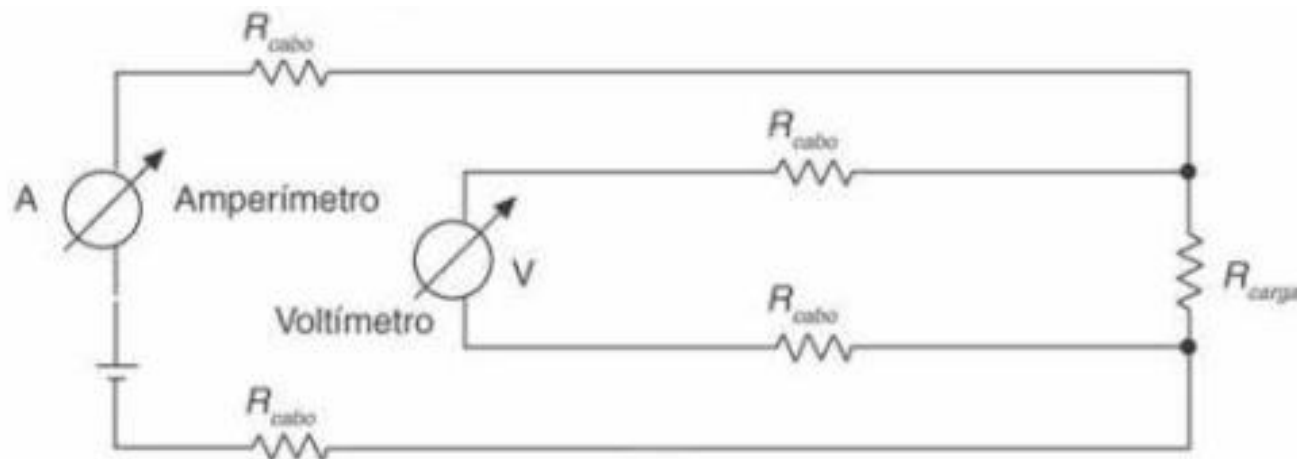
Método Kelvin para medição de resistências

- ▶ O método Kelvin consiste em se utilizar um amperímetro e um voltímetro
- ▶ Utilizando 4 pontos de conexão
- ▶ Também conhecido como método dos 4 pontos



Método Kelvin para medição de resistências

- ▶ Desta maneira eu conheço a corrente que circula pela resistência a ser medida
- ▶ Desta forma a gente consegue medir a tensão sobre a carga R_{carga}

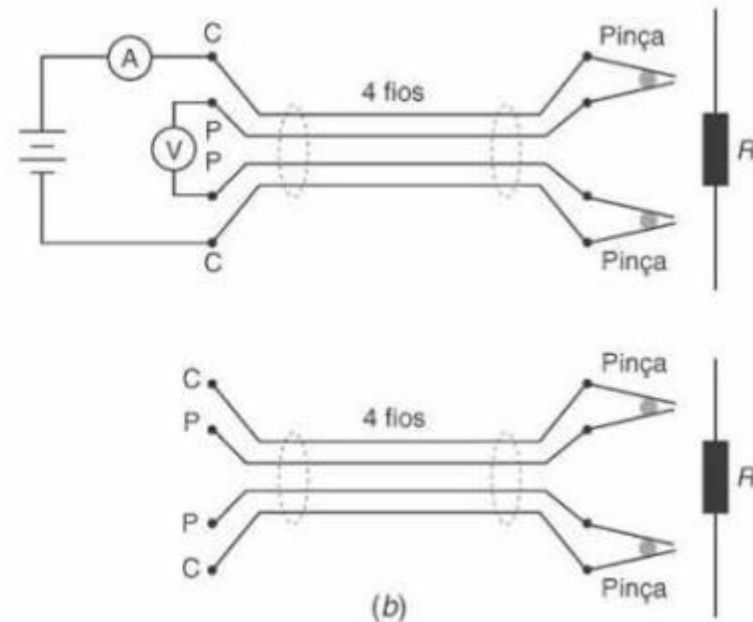


$$R = \frac{V_{volt}}{I_{amp}}$$

Método Kelvin para medição de resistências



(a)



(b)

Figura 5.47 (a) Fotografia de uma ponte de Kelvin comercial e (b) esquema de ligação.

Exercícios

- ▶ 16. Descreva uma aplicação prática do megômetro
- ▶ 17. Por que é importante conhecer os limites de rigidez dielétrica e a resistência entre cabos isolados de alta tensão?
- ▶ 18. Qual a diferença entre o método de 4 pontas e o método de 2 pontas?
- ▶ 19. Projete um ohmímetro usando um amperímetro 2,5mA de fim de escala e $R_{iA} = 195$ ohms, com resistência de meio de escala de 1k ohm
- ▶ 20. Utilizando o galvanômetro de 1mA, R_i de 110 ohms, faça um projeto de um ohmímetro série. Considere uma bateria ideal de 10 volts.

Referências

- ▶ BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação E Fundamentos de Medidas. Volume 1** . Grupo Gen-LTC, 2000.
- ▶ https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/capitulo-4_medidas-eletricas_fabiobleao.pdf
- ▶ https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/lista_exercicios_cap4_medidas-eletricas.pdf