

MEDIDAS ELÉTRICAS – CONCEITOS BÁSICOS

Os sistemas mecânicos de medidas são muito limitados devido a fatores tais como atrito, inércia, etc. Também, a necessidade de rigidez faz com que estes sistemas tornem-se volumosos e pesados.

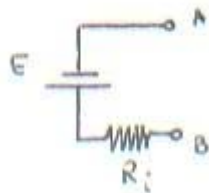
Sistemas elétricos não estão sujeitos a estas limitações. Existe ainda uma outra razão para a utilização de sistemas elétricos em medidas mecânicas: amplificação de potência. Sistemas hidráulicos ou pneumáticos podem ser usados para aumentar a potência de um sinal, mas com grandes limitações de velocidade de resposta.

Outra razão que justifica a utilização de sistemas elétricos é a possibilidade de aquisição de dados por computador.

- **Casamento de Impedância**

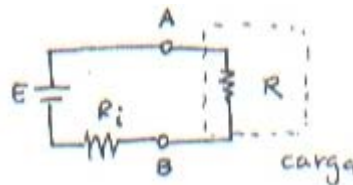
Quando realizamos medições, normalmente precisamos conectar vários equipamentos. Certos cuidados devem ser tomados para não perturbar em demasia a medida.

A impedância de entrada de um equipamento pode ser representada como mostra o circuito da figura:



Se uma carga externa R é ligada ao dispositivo e a voltagem interna E se mantém constante, a voltagem em A e B depende de R

então,
$$E_{AB} = E \frac{R}{R + R_i}$$



Note que, quanto maior for o valor de R , mais a voltagem dos terminais se aproxima da voltagem interna.

Se o equipamento vai ser usado como uma fonte de tensão constante $R \gg R_i$ ou se queremos medir a tensão interna E , a impedância do aparelho de medida ligado aos terminais deve ser grande comparada com a interna $R \gg R_i$.

Suponha agora que desejamos fornecer potência à carga externa R .

Potência é dada por: $P = E_{AB}^2 / R$

Pergunta: qual o valor da carga externa R que dará potência máxima para uma voltagem interna constante E e impedância interna R_i ?

Podemos escrever:
$$P = \frac{E^2}{R} \left(\frac{R}{R + R_i} \right)^2$$

Condição de máximo: $dP/dR = 0$. Isto leva a $R = R_i$

A máxima potência retirada do equipamento acontece quando houver casamento de impedâncias.

- **Caracterização da Onda**

Se uma quantidade escalar é constante com o tempo, um único valor é suficiente para descrevê-la.



No caso de uma corrente variando com o tempo, por exemplo, $i(t) = 10 \text{ sen}(20t)$, será possível descrevê-la com um só número?

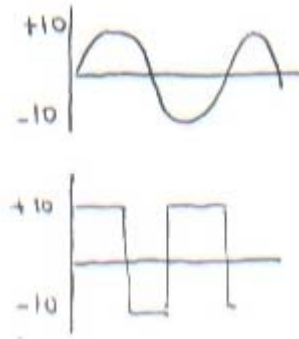
Vamos tentar algumas alternativas:

a) média:
$$i_m = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt$$

Para o exemplo acima, isto fornece $i_m = 0$. Não serve!

b) pico-a-pico: $i_{pp} = 10 - (-10) = 20A$

Não serve, pois ambas possuem o mesmo i_{pp}



3) Suponha a corrente $i(t)$ passando por um resistor. A potência dissipada é:

$$p(t) = R i^2(t)$$

A potência média dissipada

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = R \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right\}$$

onde

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt$$

$$P_m = R I_{ef}^2$$

$$I_{rms} = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt \right\}^{1/2}$$

root mean square

ex: $i = I_0 \text{ sen } \omega t = I_0 \text{ sen } \frac{2\pi t}{T}$

$$I_{rms}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i_0^2 \text{ sen}^2 \frac{2\pi t}{T} dt = \frac{I_0^2}{2}$$

$$I_{rms} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} = 0,707 I_0$$

- **Medida de Corrente**

O princípio básico da medida de corrente se baseia no fato de que, quando um condutor é colocado em um campo magnético, existirá uma força sobre o condutor quando uma corrente passar por ele.

$$F = NBiL$$

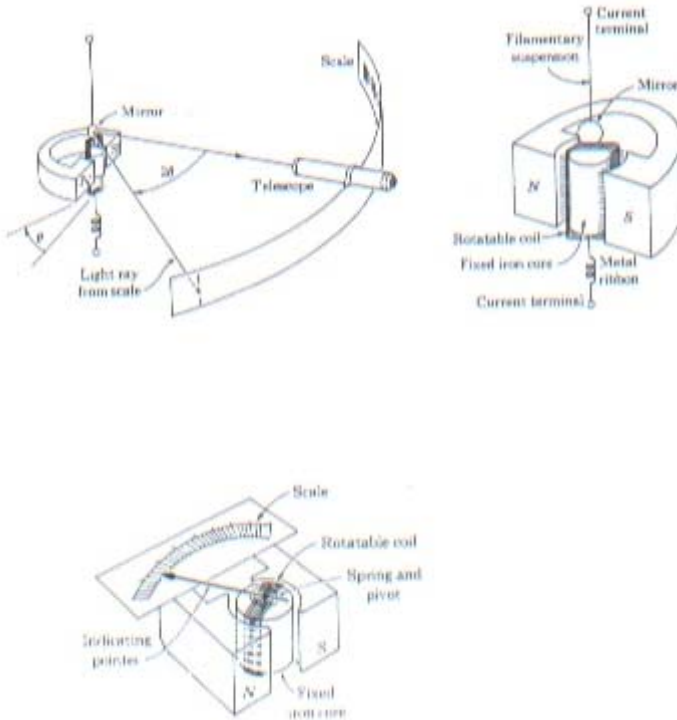
L = comprimento de cada espira

N = número de espiras

i = corrente

B = intensidade do campo magnético

A força é medida observando-se a deflexão de uma onda.



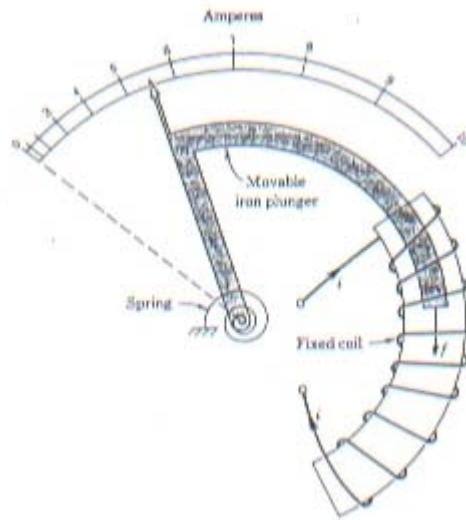
Medidas de corrente contínua usam os sistemas mostrados nas figuras conhecidos como bobina móvel de D'Arsonval.

Quando um medidor do tipo D'Arsonval for ligado a uma corrente alternada, o medidor vai oscilar ou, dependendo da frequência, ficar parado.

- **Medidas de Corrente Alternada**

Para a medição de corrente alternada usam-se, normalmente, três tipos de instrumentos: estilete móvel (iron-vane), eletrodinamômetro e instrumento com circuito retificador.

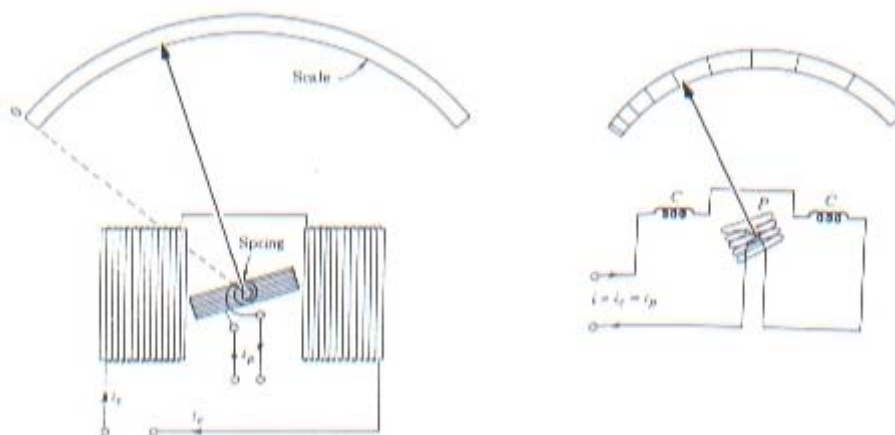
Estilete móvel



Aplicação de 25 a 125 Hz

Eletrodinamômetro

O princípio de funcionamento é semelhante à bobina móvel D'Arsonval, com a substituição do magneto por um eletroímã operando sincronizado com a corrente AC da bobina.



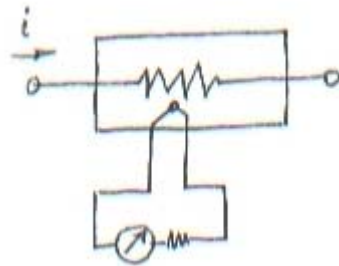
Aplicação de 25 a 125 Hz, podendo atingir 2000 Hz em projetos especiais.

Instrumento com Retificação

Neste caso utiliza-se um circuito retificador do sinal de modo a obter-se somente a componente DC do sinal, utilizando-se após uma bobina D'Arsonval.

Medidor de Alta Frequência

Para medidas de corrente com alta frequência, passa-se a corrente por um resistor. Sua temperatura é indicada por um termopar ligado a um medidor D'Arsonval.

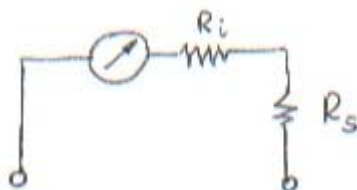


A faixa de utilização deste instrumento se estende até 100 MHz.

Note que medidores de corrente são ligados em série no circuito. Portanto, para que sua interferência seja mínima é preciso que sua impedância seja mínima.

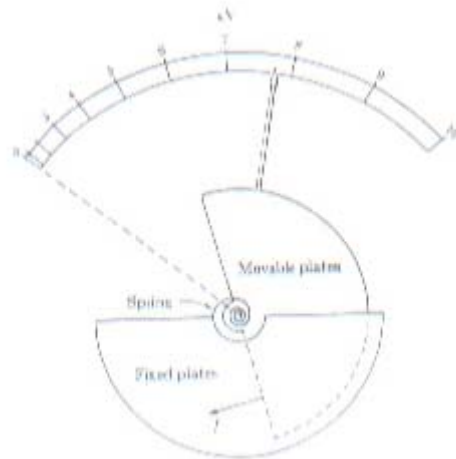
- **Medida de Tensão**

A medida de tensão pode ser realizada colocando-se um resistor em série com um instrumento D'Arsonval. A faixa de leitura pode ser alterada mudando-se o valor do resistor em série.



Medidores Eletrostáticos

Duas placas, uma fixa e uma móvel, são montadas de forma a fazer um capacitor variável. Quando a tensão é aplicada, os efeitos de ponta do campo elétrico produzem forças proporcionais ao quadrado da tensão. Pode ser usado para AC até 50 MHz.



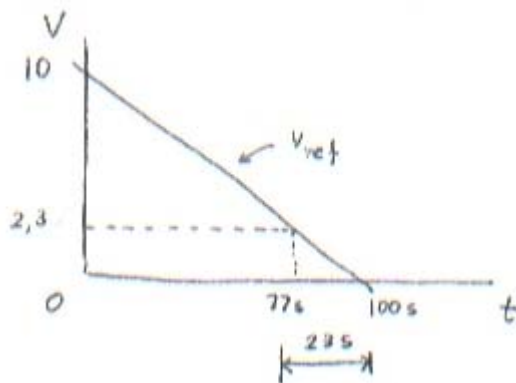
- **Voltímetro Digital**

A utilização de voltímetros digitais reduz o erro humano de leitura e, devido à sua construção, produz medidas mais exatas que instrumentos analógicos.

Para seu funcionamento são necessários os seguintes circuitos:

1. circuito para determinação do tempo (clock)
2. circuito que gera uma tensão de referência, decrescendo-a linearmente de 10V a 0V, com uma taxa de 0,1V/s
3. circuito que compara a tensão de referência com a tensão a ser medida e gera sinal quando as duas se igualam
4. circuito que gera um sinal quando a tensão de referência vai a zero

Exemplo: suponha que o clock gere um pulso por segundo.



- começa a contar pulso quando $V_{ref} = V_{medido}$
- pára de contar quando $V_{ref} = 0$

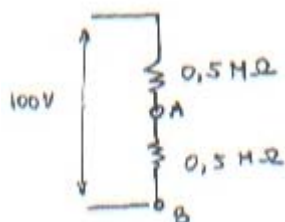
No exemplo acima a contagem é de 23 pulsos, o que corresponde a 23s. Como V_{ref} está caindo com uma taxa de $0,1V/s$, então a tensão medida é de $2,3V$.

Obs:

- O voltímetro digital pode ser transformado em um amperímetro pela inclusão de um resistor de precisão no instrumento e medindo a queda de tensão através do resistor.
- O voltímetro digital pode ser usado para medir resistências, usando-se para isto uma corrente conhecida.
- Voltímetros digitais possuem alta impedância.

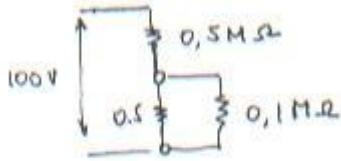
Voltímetros devem possuir alta impedância para não perturbar o circuito.

Exemplo: determinar E_{AB} usando dois voltímetros disponíveis: um com impedância de $100\ 000\ \Omega$ e outro com $17\ M\Omega$. E é constante e igual a $100V$.



Podemos ver que o valor verdadeiro seria $E_{AB} = 50V$.

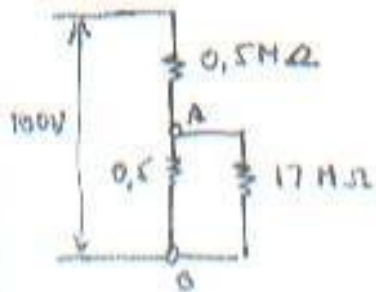
No primeiro caso:



$$E_{AB} = 100 \frac{\frac{1}{[(1/0.5) + (1/0.1)]}}{\frac{1}{[(1/0.5) + (1/0.1)]} + 0.5} = 14,3V$$

Erro de ~ 70%

Segundo caso:



$$E_{AB} = 100 \frac{\frac{1}{[(1/0.5) + (1/17)]}}{\frac{1}{[(1/0.5) + (1/17)]} + 0.5} = 49,27V$$

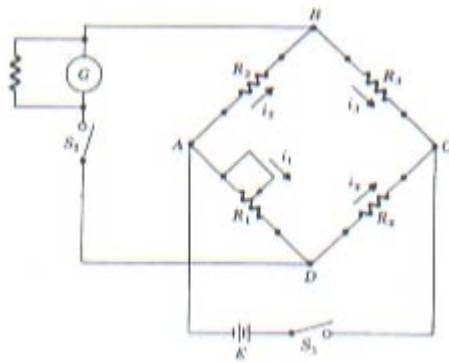
Erro de ~ 1,5%

- **Medida de Resistência Elétrica**

As medidas de resistência podem ser obtidas por método direto ou por método de comparação.

No método direto aplica-se uma tensão conhecida e mede-se a corrente que passa pelo resistor, deduzindo-se o valor da resistência. Dependendo da corrente que passa pelo resistor, a variação da resistência devida ao aquecimento por efeito Joule pode ser significativa.

Método de comparação: utiliza-se uma ponte. A ponte de Wheatstone é muito utilizada.



A tensão é aplicada entre os pontos A e C.

Variando-se a resistência R_1 consegue-se anular a diferença de potencial entre os pontos B e D lida no medidor G. Nesta condição a ponte é dita balanceada e pode-se mostrar que

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

a razão R_3 / R_2 é a razão da ponte e indica sua sensibilidade.

Transdutores Elétricos (*)

A maioria dos instrumentos de medidas mecânicas utiliza transdutores elétricos para transformar as medidas realizadas em sinais elétricos mais convenientes.

A seguir são apresentados alguns tipos de transdutores elétricos.

- Transdutores de resistência variável

A resistência de um condutor varia de acordo com a seguinte relação:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

R: resistência

L: comprimento

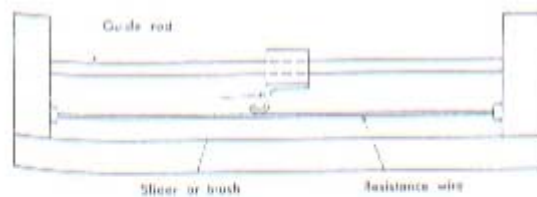
A: área do condutor

ρ : resistividade do material

Talvez o transdutor mais simples seja o interruptor elétrico comum. O interruptor produz um sinal do tipo ligado/desligado que pode ser usado como aviso ou para limitar o movimento de equipamentos.

(*) ref. Mechanical Measurements, T.G. Beckwith and R.D. Marangoni, 4th edition, Addison Wesley, 1990.

- Transdutores de contato deslizante



transdutor de
resistência
variável
linear



transdutor de resistência variável angular (potenciômetro).

A resolução de um potenciômetro representa o menor incremento que o instrumento pode registrar. No caso de resistências enroladas em um isolante, a resolução é dada pelo inverso do número de espiras. Por exemplo, para um enrolamento de 1200 espiras a resolução será de 1/1200 ou 0,091%.

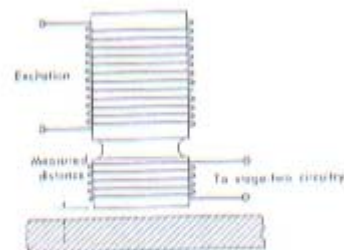
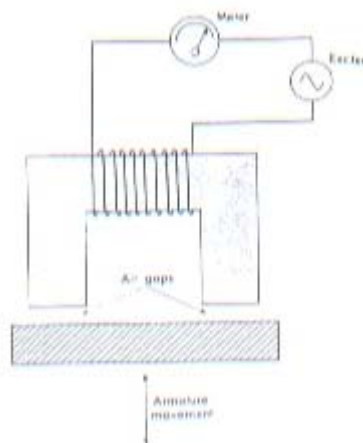
- Extensômetros de resistência

A resistência de um condutor dada pela expressão $R = \rho L/A$ é afetada pela deformação do fio. A resistividade, comprimento e área variam com a deformação.

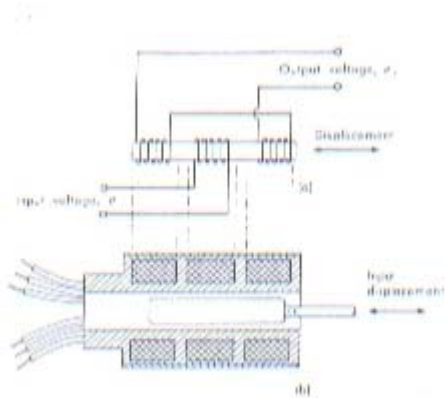
- Termistores

São dispositivos semi-condutores cerâmicos que apresentam grandes variações de resistência com a temperatura. São usados como medidores de temperatura ou controladores.

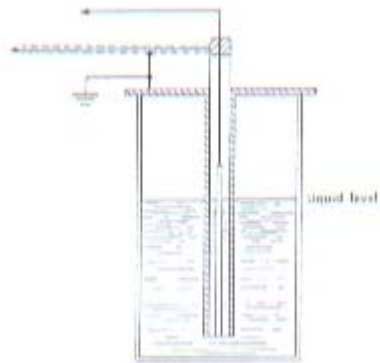
- Transdutores indutivos



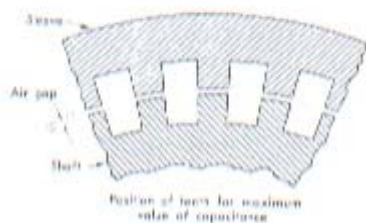
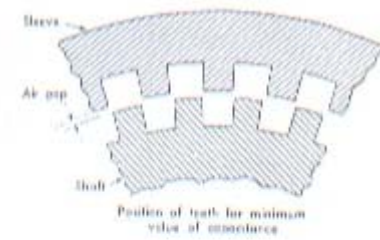
- LDVT (Linear variable transformer)



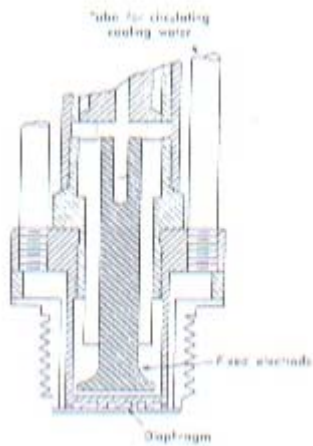
- Transdutores capacitivos



Transdutor capacitivo usado para medir nível.



Transdutor capacitivo usado em um torquímetro.



Transdutor capacitivo de pressão.

- Sensores Piezoelétricos

Alguns materiais geram uma tensão elétrica quando submetidos a deformações mecânicas. O quartzo é o material mais usado como transdutor piezoelétrico. São usados para medir rugosidade superficial, força, deslocamento, ruído sonoro.

- Sensores fotoelétricos

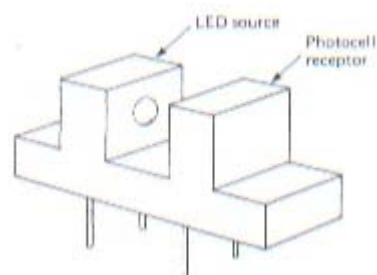


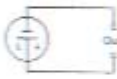





foto interruptor usado como condutor, trigger ou sincronizador.

Table 6.2 Photocells

Type	Symbol and Typical Circuit	Form of Output	Relative Frequency Response	Comments
A. Photoemissive		Current		Cathode-anode in evacuated glass or quartz envelope. Bulky; requires high voltage; and has given way to solid-state devices.
B. Photoconductive (or photoresistor)		Resistance change	Slow	Light sensitive resistor. Increased light intensity causes reduced resistance.
C. Photovoltaic (solar cell)		Voltage	Fast	Typical open-circuit voltage, 0.45. In bright sunlight, 0.4 to 0.5 mA.
D1. Photodiode (PN junction) D2. PIN photodiode		Current	Fastest acting of all	Primary disadvantage is low output current. "Dark current" very low (nanampere range), but not zero. PIN diode has "intrinsic" layer between P and N layers that provides response over wider range of light wavelengths. PIN is faster than PN type.
E1. Phototransistor		Current		Produces much higher current for given input than photodiode does because of its amplifying ability. Slower acting than photodiode. Base lead, if accessible, is seldom used.
E2. Photodarlington		Current	Slower than phototransistor	Much more sensitive than phototransistor.