

Sumário

Introdução	5
Erros em medição	6
Erros devido ao posicionamento	10
Posicionamento do instrumento	10
Posicionamento do observador	11
Efeito de carga	13
Impedância de entrada de um instrumento	14
Impedância de entrada do voltímetro	18
Erros nas medições simultâneas de corrente e tensão	20
Aplicações das configurações de medição	22
Apêndice	23
Questionário	23
Bibliografia	23



Espaço SENAI

Missão do Sistema *SENAI*

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

Valorização das Pessoas – Reconhecimento e respeito às pessoas pelo seu trabalho e valorização destas como agentes de mudança.

Introdução

A utilização de instrumentos de medição é uma constante na vida diária das pessoas que trabalham com eletricidade e eletrônica.

Os instrumentos usados são os mais diversos e cabe às pessoas não apenas saberem utilizá-los corretamente, mas também terem ciência dos erros e tolerâncias existentes em uma medição.

Este fascículo tratará dos erros de medição, tanto no que diz respeito aos proporcionados pelo próprio instrumento, quanto aos ocasionados pelo operador, visando com isso capacitá-lo a utilizar conscientemente os instrumentos de medição.



Para ter sucesso no desenvolvimento do conteúdo e atividades deste fascículo, o leitor deverá ter conhecimentos relativos a:

- Medição de tensão.
- Medição de corrente.

Erros em medição

Erro é uma diferença entre o valor real da grandeza medida e o valor indicado pelo instrumento. A Fig.1 ilustra este conceito.

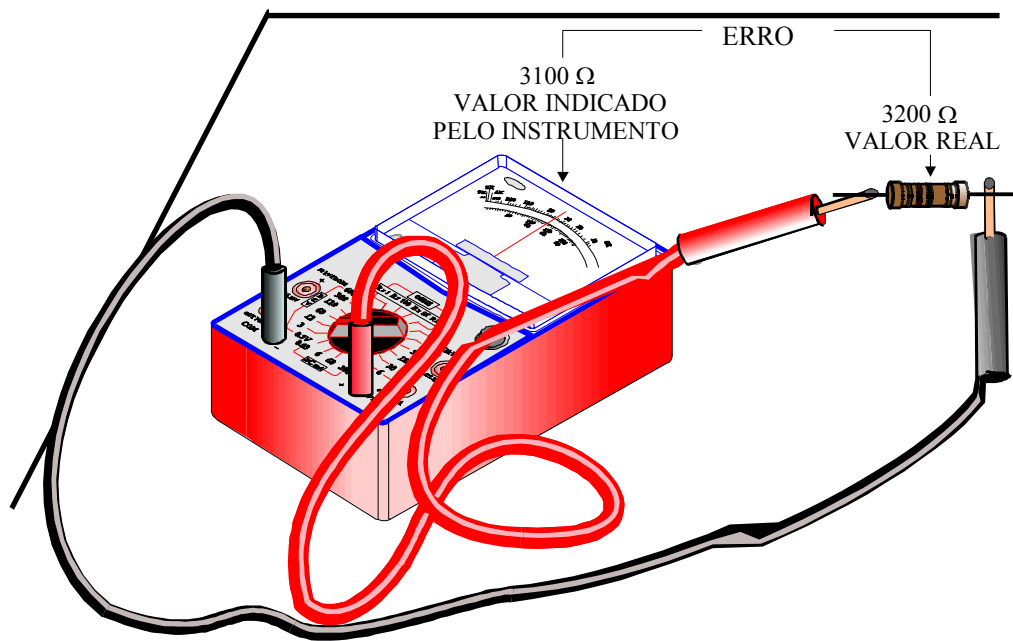


Fig.1 Erro de um instrumento.

Os instrumentos se apresentam em uma grande variedade e com diferentes padrões de qualidade. De modo geral, quanto menor o erro introduzido em uma medição, tanto melhor o instrumento.

A qualidade do instrumento é definida através de um parâmetro denominado de **classe do instrumento**.

As classes dos instrumentos são dadas em percentuais, tais como: classe 1,5, classe 1, classe 0,5 e classe 0,1.

Alguns instrumentos trazem a classe impressa na escala em lugar visível ao usuário, como o instrumento de painel mostrado na **Fig.2**.

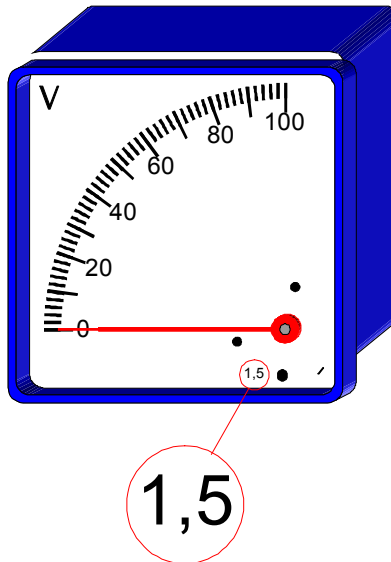


Fig.2 Indicação da classe no instrumento de painel.

Conhecendo-se a classe de um instrumento, pode-se determinar o valor máximo do desvio Δx provocado por ele através da equação:

$$\Delta x = \frac{x \times cl}{100} \quad (1)$$

onde x é o valor do fundo de escala do instrumento e cl a classe.

Por exemplo, um voltímetro com escala de 250V e classe 1 introduz um desvio máximo na indicação de:

$$\Delta x = \frac{x \times cl}{100} = \frac{250 \times 1}{100} = 2,5V$$

Como esse desvio pode ocorrer tanto para mais como para menos do valor real, escreve-se $\Delta x = \pm 2,5V$.

O desvio (Δx) calculado através dessa equação é denominado também de **erro absoluto** porque o seu valor depende apenas de fatores inerentes ao instrumento (classe e valor de fundo de escala), sendo independente do valor que o instrumento está medindo.

Isto pode ser esclarecido através de um exemplo. Um multímetro com fundo de escala 250V e classe 1 tem um erro absoluto de $\pm 2,5V$ (calculado anteriormente).

- Se este voltímetro está indicando 100V, o valor real da tensão pode estar entre 97,5 e 102,5V ($100V \pm 2,5V$).
- Se este voltímetro está indicando 20V, o valor real da tensão pode estar entre 17,5V e 22,5V ($20V \pm 2,5V$).

Obviamente um erro de $\pm 2,5V$ em medições como 100V, 120V ou mais, não chega a ser importante.

Entretanto, $\pm 2,5V$ são significativos em medições como 20V, 30V e assim por diante.

Para se saber o quanto um erro é significativo em relação a uma medição, calcula-se o **erro relativo** Δp :

$$\Delta p = \frac{\Delta x}{M} \times 100 \quad (2)$$

onde Δx é o erro absoluto e M é o valor medido com o instrumento.

Exemplo 1:

Determinar o erro absoluto de u voltímetro de 250V, classe 1 e os erros relativos nas medições de 100V e 20V.

Solução :

Erro absoluto		$\Delta x = \pm 2,5V$
na medição de 100V	\Rightarrow	$\Delta p = \frac{2,5}{100} \times 100 = 2,5$ <u>erro relativo 2,5%</u>
na medição de 20V	\Rightarrow	$\Delta p = \frac{2,5}{20} \times 100 = 12,5$ <u>erro relativo 2,5%</u>

Verifica-se que um voltímetro de 250V classe 1 não é apropriado para medir tensões da ordem de 20V porque o erro percentual na medição é muito grande.

Daí, pode-se concluir que a indicação será mais precisa quanto mais próximo ao fundo da escala for o valor medido. Esta conclusão é válida para instrumentos de escala linear. Em instrumentos de escala não linear, tais como ohmímetros e voltímetros de CA, a indicação mais precisa ocorre no centro da escala.

Erros devido ao posicionamento

Além do erro provocado pelo instrumento, existem os seguintes fatores que interferem na confiabilidade de uma medição :

- O posicionamento do instrumento.
- O posicionamento do observador.

POSICIONAMENTO DO INSTRUMENTO

Os instrumentos de medição com indicação através de ponteiro, têm posição correta de trabalho definida. Existem instrumentos cuja posição correta de trabalho é vertical, outros horizontal e ainda alguns que são construídos para trabalhar em posição inclinada.

Alguns instrumentos trazem um símbolo no painel que indica a posição adequada de funcionamento, como mostrado na **Fig. 3**.

Os símbolos empregados são:

- **Vertical** \perp .
- **Horizontal** \parallel .
- **Inclinada** \sphericalangle .

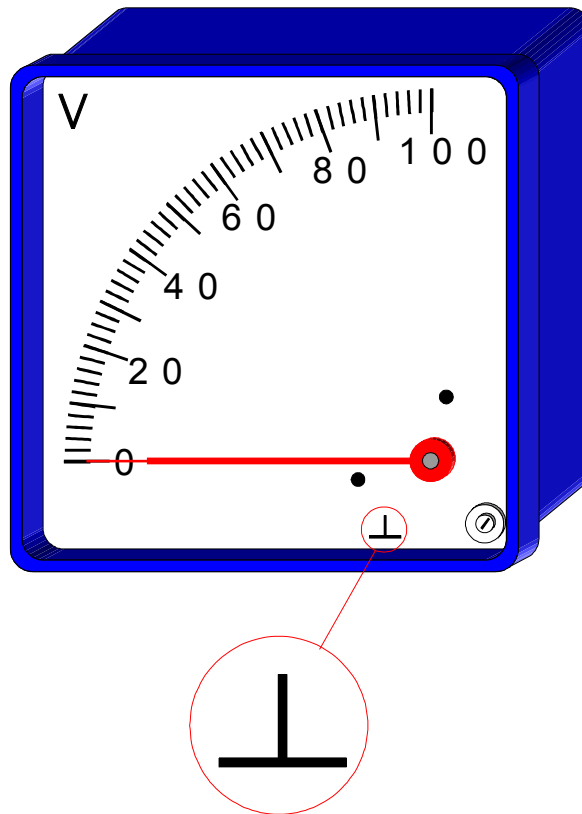


Fig.3 Instrumento para operação na vertical.

No caso de multímetros, a posição de trabalho correta é horizontal.

Instrumentos como o osciloscópio que não têm peças móveis, podem operar em qualquer posição sem prejuízo para a indicação. Contudo, o operador deve procurar posicionar este tipo de instrumento de forma a ter visibilidade perfeita para a leitura.

POSICIONAMENTO DO OBSERVADOR

Outro fator de grande importância para a maior exatidão de uma medição é o posicionamento do observador para realizar a leitura.

Um único instrumento pode dar origem a três leituras diferentes se três observadores estiverem em posições diferentes, como ilustrado na **Fig.4**.

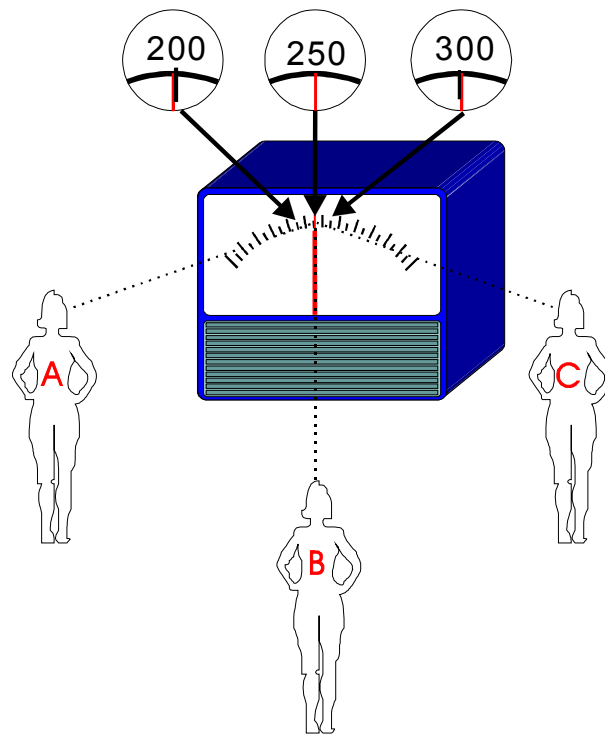


Fig.4 Leituras que dependem da posição do observador.

Dos três observadores, apenas o “B” está em posição correta para a leitura, formando um ângulo de 90° em relação ao painel do instrumento. É portanto, o único que pode realizar uma leitura correta.

Este tipo de erro provocado pelo posicionamento do observador é denominado de **erro de paralaxe**.



Erro de paralaxe é o erro provocado por um mau posicionamento do observador para a leitura.

Alguns instrumentos dispõem de um aparelho na escala que serve para orientação do observador ao se posicionar.

A posição correta para a leitura é aquela em que o reflexo do ponteiro no espelho está escondido atrás do próprio ponteiro (o reflexo não é visível ao observador).

Efeito de carga

Todo o instrumento de medição absorve uma determinada corrente do circuito a que está ligado. Essa corrente é necessária para o seu funcionamento, como a corrente I_m na **Fig.5**.

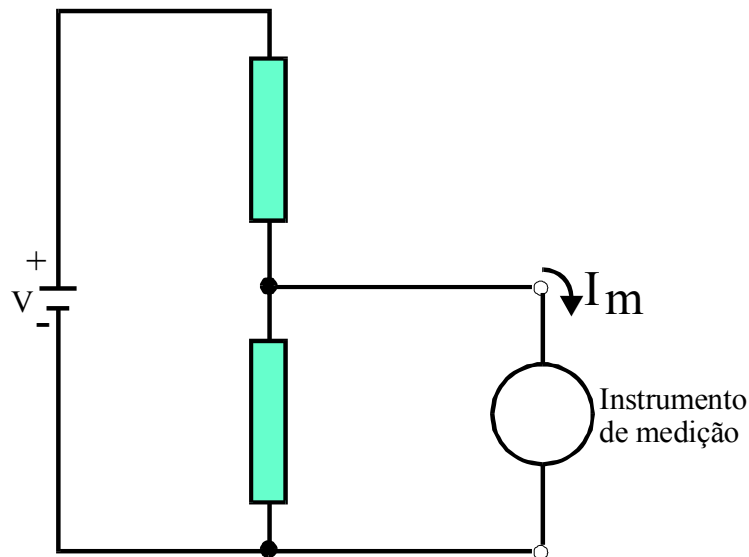


Fig.5 Corrente I_m é necessária para o instrumento operar.

Na maioria dos instrumentos, esta corrente é pequena, com valores típicos da ordem de microampères.

Denomina-se de **sensibilidade de um instrumento** a intensidade de corrente necessária para provocar a deflexão total do seu ponteiro.



Sensibilidade de um instrumento é o valor de corrente que provoca a deflexão do seu ponteiro.

IMPEDÂNCIA DE ENTRADA DE UM INSTRUMENTO

Se um instrumento de medição absorve uma certa corrente do circuito, pode-se dizer que este instrumento apresenta uma **resistência interna** entre os seus bornes, como mostrado na Fig.6.

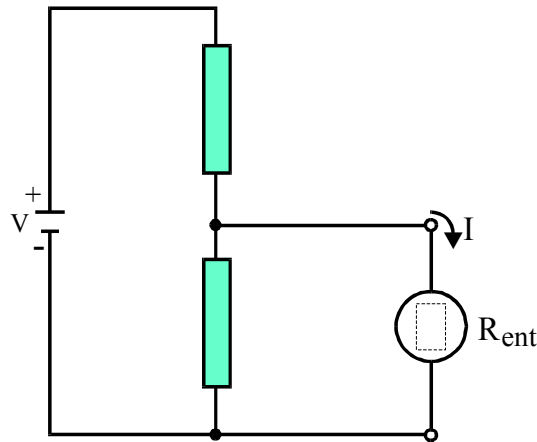


Fig.6 Impedância de entrada de um instrumento.

Esta **resistência** que o instrumento apresenta entre seus bornes é denominada de **impedância de entrada do instrumento (R_{ent})**.

A impedância é muito importante principalmente para os voltímetros. A impedância de entrada de um voltímetro normalmente não é fornecida diretamente, mas pode ser determinada se a sensibilidade é conhecida.

Primeiro determina-se a característica ohms por volt (Ω/V) do voltímetro:

$$\frac{\Omega}{V} = \frac{1}{I_m} \quad (1)$$

onde I_m é a sensibilidade do instrumento.

Através da característica Ω/V , pode-se determinar a impedância de entrada do voltímetro, da seguinte forma :

$$R_{ent} = \frac{\Omega}{V} \times x \quad (2)$$

onde R_{ent} é a impedância de entrada, x o valor de fundo de escala do instrumento e Ω/V a relação ohms por volt do instrumento.

Exemplo 1:

Um voltímetro para 25V deflexiona totalmente o ponteiro com uma corrente de $30\mu\text{A}$. Qual a característica Ω/V do instrumento e sua impedância de entrada?

Solução :

$$\frac{\Omega}{\text{V}} = \frac{1}{I_m} = \frac{1}{30\mu\text{A}} = \frac{33\text{k}\Omega}{\text{V}}$$

$$R_{\text{ent}} = \frac{\Omega}{\text{V}} \times x = 33 \times 25 = 825 \text{ k}\Omega$$

Isto significa que um voltímetro de 25V com sensibilidade de $30\mu\text{A}$ se comporta como um resistor de $825 \text{ k}\Omega$.

Suponha que o voltímetro de 25V citado seja utilizado para medir a tensão de saída de um divisor de tensão.

Ao conectar-se o voltímetro ao circuito, a sua resistência interna de $825\text{k}\Omega$ fica em paralelo com a saída do divisor, atuando como se fosse uma carga, como ilustra a **Fig.7**.

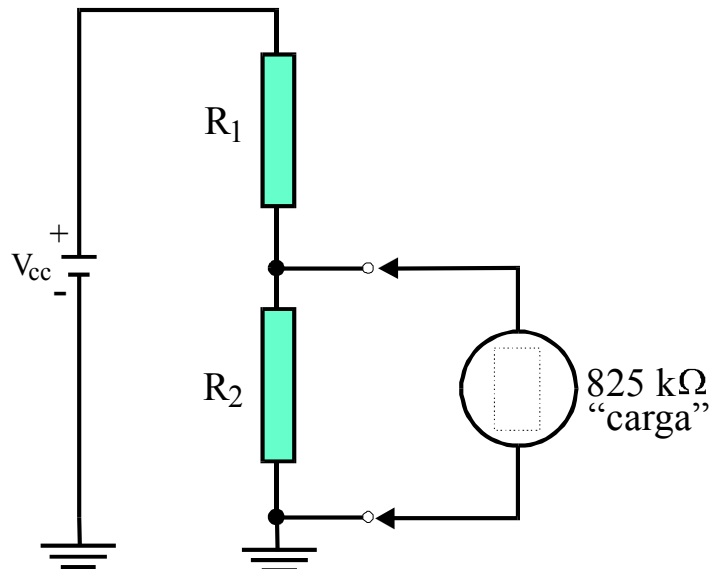


Fig.7 O instrumento atua como carga no circuito.

Este paralelismo entre o voltímetro e a saída provoca uma redução de tensão fornecida pelo divisor, alterando o seu comportamento.

Esta relação não deveria acontecer, visto que o instrumento deve possibilitar a medição sem alterar o comportamento do circuito.

Quando ocorrem alterações no comportamento de um circuito devido a uma medição com um instrumento, diz-se que o circuito foi **carregado** pelo instrumento.

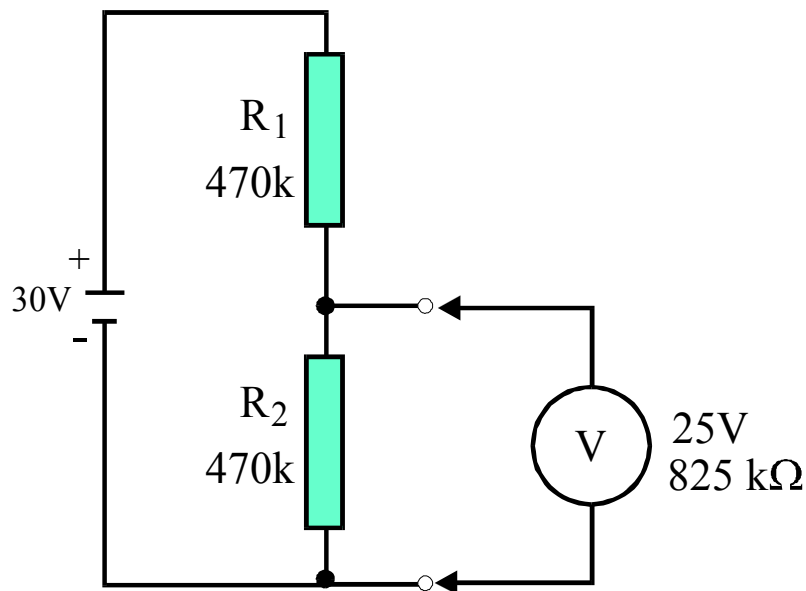
O **efeito de carga** provocado por um instrumento pode prejudicar completamente a precisão de uma medição.

Para ilustrar o efeito de carga, o seguinte exemplo determina a alteração que o instrumento provoca em uma medição.

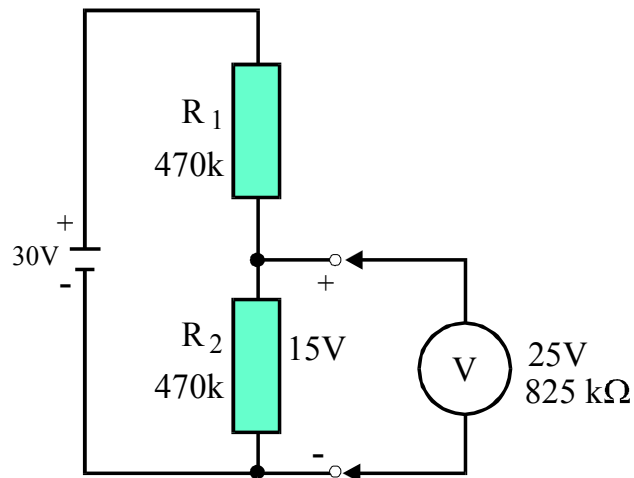
Exemplo 2:

Tomando-se o divisor de tensão da figura abaixo, e o voltímetro de 25V com $I_m = 30\mu\text{A}$ ($R_{\text{ent}} = 825\text{k}\Omega$ já calculada no **Exemplo 1**), verifique o seu efeito sobre a medição em R_2 .

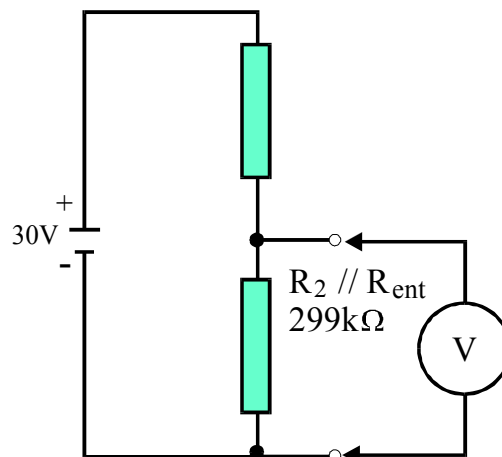
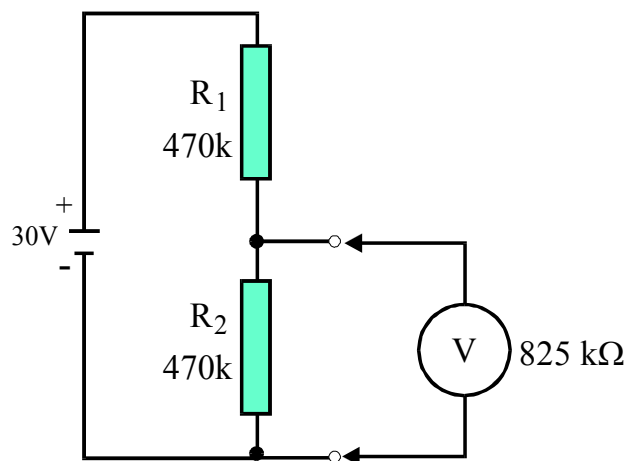
Solução :



Enquanto o voltímetro não é conectado, a tensão de saída é 15V porque os resistores R_1 e R_2 são iguais.



Ao ligar o voltímetro, associam-se em paralelo o resistor R_2 e a impedância de entrada do voltímetro, como mostram as figuras que se seguem.



Recalculando-se o divisor, verifica-se que, ao conectar o voltímetro, a tensão de saída cai de 15V para 11,7V devido ao efeito de carga.

Quem estiver lendo o voltímetro concluirá que há um problema, pois a tensão de saída é 11,7V quando deveria ser 15V. Na verdade, o divisor está correto.

A partir do que foi exposto, podem-se tirar duas conclusões importantes:

- Quanto maior for a impedância de entrada de um voltímetro, menor será o efeito de carga provocado no circuito.
- Quanto maiores forem os valores de resistência de um circuito maior será a influência provocada pelo voltímetro.

Como os valores de resistência de um circuito dificilmente podem ser alterados, cabe ao técnico **utilizar voltímetros com a maior impedância de entrada possível**, minimizando-se, assim, o efeito de carga.

IMPEDÂNCIA DE ENTRADA DO VOLTÍMETRO

Os multímetros sempre trazem a característica Ω/V gravada no seu painel. Em geral são dois valores: um para AC e outro para DC.

Por exemplo, pode-se encontrar no painel de um multímetro a seguinte inscrição: DC 50k Ω/V , AC 10k Ω/V .

Para saber qual a impedância de entrada em cada escala, usa-se o valor Ω/V correspondente (em DC ou AC) multiplicado pela escala em questão:

Exemplo 3:

Suponha-se um multímetro com as seguintes características:

Escalas

DCV 600; 250; 60; 25	DC-50k Ω/V
ACV 1.000; 600; 100; 60	AC-10k Ω/V

Determinar a impedância da entrada nas escalas DCV600; DCV25 e ACV100.

Solução :

a) A impedância de entrada na escala DCV600 :

$$R_{\text{ent}} = \frac{\Omega}{V} \times x$$

$$R_{\text{ent}} = \frac{50\text{k}\Omega}{V} \times 600V = 30.000\text{k}\Omega$$

b) A impedância de entrada na escala DCV25 :

$$R_{\text{ent}} = \frac{\Omega}{V} \times x$$

$$R_{\text{ent}} = \frac{50\text{k}\Omega}{V} \times 25V = 1.250\text{k}\Omega$$

$$R_{\text{ent}} = 1,25\text{M}\Omega$$

c) A impedância de entrada na escala ACV100 :

$$R_{\text{ent}} = \frac{\Omega}{V} \times x$$

$$R_{\text{ent}} = \frac{10\text{k}\Omega}{V} \times 100V = 1.000\text{k}\Omega$$

$$R_{\text{ent}} = 1\text{M}\Omega$$

Erros nas medições simultâneas de corrente e tensão

Os medidores de corrente são muito empregados em eletrônica, principalmente para o levantamento das características de componentes em laboratórios.

Dependendo da forma como esses instrumentos são conectados ao circuito, podem ocorrer erros de medição.

Suponha, por exemplo, que se necessite medir a corrente e a tensão em um componente.

Existem duas formas de realizar essas medições, como mostrado na **Fig.8**

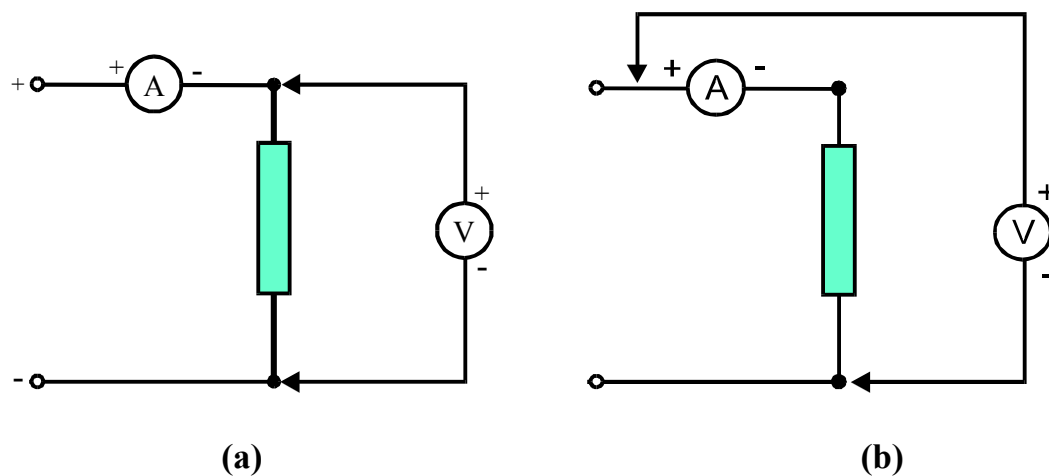


Fig.8 Formas de medir tensão e corrente em um componente.

No circuito da **Fig.8a** o voltímetro indica a tensão no componente, mas o amperímetro indica a corrente do componente mais a corrente do voltímetro, como mostrado em detalhe na **Fig.9**.

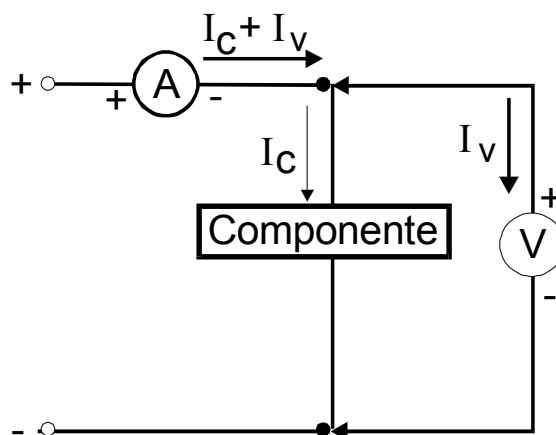


Fig.9 O amperímetro indica $I_C + I_V$.

No circuito da **Fig.8b** o amperímetro indica a corrente no componente, mas o voltímetro indica a tensão no componente mais a queda de tensão no amperímetro, como ilustrado na **Fig.10**.

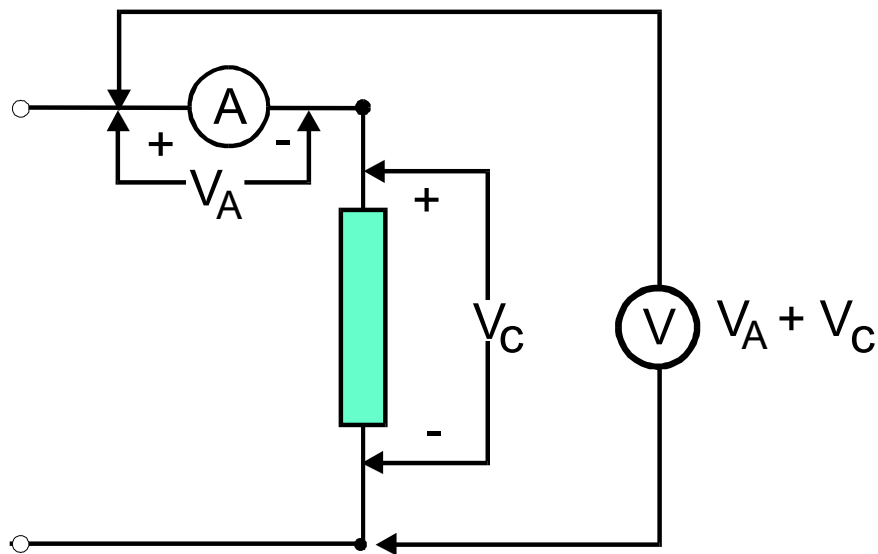


Fig.10 O voltímetro indica $V_A + V_C$.

Conclui-se que nenhum dos circuitos fornece, ao mesmo tempo, indicações corretas de corrente e de tensão apenas num componente. Isto significa que é necessário determinar qual a configuração mais adequada para cada situação.

APLICAÇÕES DAS CONFIGURAÇÕES DE MEDIÇÃO

As medições de tensão realizadas em eletrônica são obtidas com o multímetro. Em geral, os multímetros têm uma característica Ω/V em DC superior a $20k\Omega/V$, absorvendo correntes da ordem de $50\mu A$ ou menos.

Por esta razão, o circuito utilizado para medição é, na maioria das vezes, o mostrado na **Fig.11**.

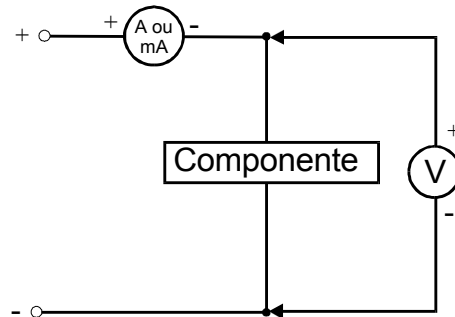


Fig.11 Configuração usual para medição de tensão e corrente .

Este circuito não é utilizado apenas quando a corrente a ser medida implicar no uso de microamperímetro.

Nas ocasiões em que for necessário empregar um microamperímetro, deve-se utilizar a outra configuração de medição, como pode ser visto na **Fig.12**.

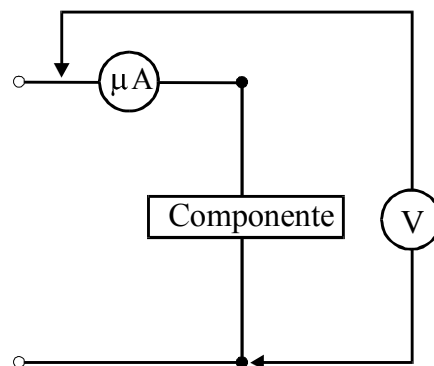


Fig.12 Configuração para medição de corrente e tensão se esta é superior a 1,5V.

Existe ainda uma ressalva com relação a este tipo de medição. Os microamperímetros geralmente provocam uma queda de tensão da ordem de 0,15V. Por esta razão esta configuração deve ser utilizada apenas para tensões de entrada superiores a 1,5V.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. O que vem a ser erro em uma medição ?
2. O que é "classe do instrumento" ?
3. O que é erro de paralaxe ?
4. O que é sensibilidade de um instrumento ?

BIBLIOGRAFIA

SENAI/DN. Reparador de circuitos eletrônicos; eletrônica industrial. Rio de Janeiro. (Coleção Básica SENAI. Módulo 9).

ZBAR, PAUL B. Instrumentos e medidas em eletrônica, Práticas de laboratório. Trad. Aracy Mendes da Costa. São Paulo, McGraw Hill, 1978, 229p.