EXPERIÊNCIA 2

MEDIDAS DE RESISTÊNCIAS

I - OBJETIVO:

Neste experimento, a medida de resistência é o fim a ser alcançado. Entretanto, o que se pretende além disso, neste trabalho, é a completa familiaridade com os aspectos mais fundamentais das medidas elétricas. Desse modo, procuraremos abranger o maior número de conceitos básicos na introdução teórica, esperando que eles sirvam como guia para estudos mais completos por parte do experimentador. Outros conceitos básicos importantes já foram vistos na experiência "MEDIDA DE CORRENTE E DIFERENÇA DE POTENCIAL".

II - PARTE TEÓRICA:

INTRODUÇÃO:

A valorização de uma quantidade pode ser realizada ou por comparação direta com um padrão, ou por efeitos que esta quantidade possa produzir. Fica explícito então os dois métodos de medidas que comumente denominamos de métodos direto e indireto. Um exemplo de uma medida direta é a determinação do comprimento de uma barra por comparação com uma escala calibrada no sistema métrico, ou mesmo a medida de uma certa diferença de potencial por comparação com uma pilha padrão.

Em eletricidade, medidas assim diretas nem sempre são possíveis, tornando-se então necessário medir quantidades por outros meios.

Quando uma corrente passa através de um fio, dois efeitos são facilmente notados. O fio fica aquecido, e um campo magnético é estabelecido através de toda a sua extensão. Esses efeitos fornecem métodos pelos quais a corrente pode ser medida. O aquecimento do fio provocará o seu crescimento, de modo que existe uma correspondência entre o comprimento de um fio e a corrente que flui através dele. Chegamos então à conclusão de que poderíamos construir um amperímetro (um medidor de corrente) baseado nesse fenômeno físico. Realmente, no passado, pesquisadores lograram construir medidores de correntes por aquecimento do fio. Entretanto, problemas ligados aos seus mecanismos de funcionamento tornaram esses aparelhos inoperantes.

CONCEITOS FÍSICOS:

Quando começamos a trabalhar no campo das medidas elétricas, é importante rever os conceitos da eletrostática e da eletricidade elementar. Esses conceitos são indispensáveis para dar um entendimento mais profundo das próprias quantidades e da aplicação dos vários princípios da eletrostática a certos tipos de instrumentos de medida. Muitos são os autores que abordam o assunto com indiscutível clareza e neste trabalho pretende-se lembrar de modo superficial as grandezas físicas envolvidas. Outros textos didáticos devem ser consultados se o aluno pretende um conhecimento mais completo do assunto. Esse comportamento é extremamente desejável.

Elétrons

Os átomos de todas as substâncias são estruturas complicadas, consistindo de elétrons, prótons e nêutrons. O átomo de hidrogênio consiste de um elétron, que é a menor carga negativa que tem sido encontrada e um núcleo composto de um próton que também tem a menor carga positiva que até hoje foi isolada. O nêutron não tem carga. Os átomos de outros elementos contêm um grande número de elétrons, prótons e nêutrons. Em certos tipos de sólidos, alguns dos elétrons podem circular de átomo para átomo, enquanto que em outros sólidos cada elétron é ligado firmemente ao seu próprio átomo. Uma substância composta de átomos do primeiro tipo é condutor elétrico. Se os átomos são do segundo tipo a substância é isolante. Existem ainda materiais com propriedades de condução intermediárias, os chamados semicondutores.

Uma parte da Física Moderna que tomou grande impulso após a última grande guerra, a FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO, possibilita, na atualidade, um enorme conhecimento da estrutura e propriedades físicas desses materiais.

Os elétrons em um condutor movem-se em todas as direções. Quando em adição a esse movimento aleatório há um deslocamento preferencial dos elétrons ao longo do condutor, isso é chamado de corrente elétrica.

Carga Eletrônica

Quando um bastão de vidro é esfregado em um pedaço de seda, alguns dos elétrons são removidos do vidro e são adicionados à seda. Com isso é realizada uma transferência de cargas.

Já de longo tempo, chamamos por convenção a condição do bastão de vidro de eletrificação positiva, e a condição complementar da seda, de eletrificação negativa. De acordo com esta nomenclatura estabelecida, elétrons são negativos.

Desde que um elétron é negativo, a adição de um elétron a um corpo neutro dará a este uma carga negativa. A unidade natural na qual poderíamos expressar a magnitude de qualquer carga poderia ser o elétron,

porém ela é muito pequena. A unidade prática é, definida de outro modo, o Coulomb no sistema MKS.

Os prótons não são facilmente transferidos de um corpo para outro e o método usual de se obter uma carga positiva em um corpo é remover alguns dos seus elétrons. O corpo do qual os elétrons são tomados será deixado com uma carga positiva de módulo igual àcarga eletrônica retirada.

Diferença de Potencial

Se uma carga de teste positiva é colocada em um campo eletrostático $\vec{E}$, será exercida sobre esta uma força na direção do campo, $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$. Uma força externa deste módulo será requerida para mover a carga teste na direção oposta a do campo. Portanto, para movimentar uma carga como descrito, nós devemos exercer uma força em um percurso e assim realizar um certo trabalho. De outro modo, se a carga positiva é movida na direção do campo, então esse campo executará trabalho sobre ela. A razão entre o trabalho necessário para deslocar a carga de um ponto **a** até um ponto **b** e o valor da carga é definida como diferença de potencial entre **a** e **b** (trabalho por unidade de carga). No sistema MKS o trabalho é expresso em Newton-metro ou Joules enquanto que a carga é medida em Coulomb. Potencial é portanto Newton-metro / Coulomb, ou Joules / Coulomb ou Volt.

Corrente de Elétrons

Corpos nos quais os elétrons podem mover-se livremente de uma parte para outra são chamados condutores elétricos. Se elétrons são adicionados ou removidos para um ponto de um condutor, há um movimento de elétrons no condutor para restabelecer o equilíbrio. Esse fluxo de elétrons constitui uma corrente elétrica.

Quando uma placa de zinco é colocada em uma solução de sulfato de zinco, há uma forte tendência para os íons de zinco desprenderem-se na solução, deixando elétrons na placa de zinco. De outro modo, quando uma placa de cobre é colocada em uma solução de sulfato de cobre, há uma grande tendência para os elétrons na placa ligarem-se a íons de cobre para formar átomos de cobre. A direção da corrente nesses efeitos é notada aqui sem pararmos para considerar como são produzidos. Quando esses dois arranjos são colocados juntos, como na pilha de Daniel, e as duas placas são conectadas por um fio, os elétrons na placa de zinco fluem ao longo do fio na direção da placa de cobre onde eles encontram os íons de cobre, que estão sendo depositados. Na solução, íons positivos e negativos viajam entre as placas. Assim, há uma circulação de elétrons através do circuito; os elétrons no fio deslocando-se sob o gradiente de potencial na direção do pólo positivo da bateria. No interior da bateria, a energia da ação química das placas é utilizada para "puxar" os elétrons na direção do pólo negativo para que eles possam fluir ao longo do circuito externo.

Somente um pequeno número de elétrons concorrem para a corrente elétrica. Eles são chamados elétrons livres. Em seu movimento esses

elétrons chocam-se com a rede cristalina. Desse modo, quando uma corrente elétrica atravessa um condutor, este se aquece (Efeito Joule). Outro fenômeno associado à corrente elétrica é a presença de uma indução magnética (campo vetorial) no espaço envolvendo o condutor. Para uma visão detalhada, leia o roteiro do experimento "MEDIDAS DA COMPONENTE HORIZONTAL DA INDUÇÃO MAGNÉTICA TERRESTRE".

Corrente Elétrica

O aparecimento de um campo magnético em torno de um fio é um fenômeno conhecido há mais de um século e meio (desde o experimento de Oersted em 1820) e foi então atribuído àcorrente elétrica no fio.

É agora conhecido que uma corrente é o deslocamento de elétrons ao longo do fio, e desde que os elétrons são negativos em sinal, eles movem-se na direção oposta ao que é determinado formalmente para a corrente positiva.

De modo a entender a linguagem usada nos livros mais antigos, podemos ter em mente alguns daqueles velhos tempos que falavam na "direção positiva" de uma corrente elétrica. Se o movimento dos elétrons é indicado, nós podemos falar da "corrente elétrica" sem qualquer confusão dos termos. Desde que os elétrons são negativos, qualquer dos modos de falar resulta na mesma significação. Porém, na atualidade, está mais de acordo esquecer a direção hipotética de uma corrente elétrica e lembrar que os elétrons migram, através de um circuito elétrico, do potencial negativo (-) de uma bateria em direção ao potencial positivo (+).

O Ampère e o Coulomb

Uma vez que já falamos em medir correntes elétricas, é necessário definir a unidade de corrente. Uma corrente tem um efeito magnético em volta do fio que a transporta, quando colocada perto de um ímã ou outra corrente, o fio experimenta um puxão tendendo a movê-lo de lado sobre o campo magnético no qual ele próprio se encontra.

Uma corrente de um Ampère é estabelecida como segue: duas correntes paralelas, I e I', na mesma direção são solicitadas mutuamente na direção perpendicular aos fios. Esta atração é porque cada corrente está no campo magnético da outra e ela tende a mover-se diretamente sobre esse campo, isto é, na direção do outro fio. Quando os fios estão separados no ar (rigorosamente falando no vácuo) e a mesma corrente em cada fio é suficientemente grande para dar um puxão em cada fio de $2 \cdot 10^{-7}$ Newton / metro de comprimento, esta corrente é de um Ampère.

Esta definição leva diretamente à determinação prática de uma unidade de corrente em Ampères, por "pesada" em uma balança constituída de duas espiras de corrente, como é feita com precisão no NIST National Institute of Standards and Technology (EUA).

Coulomb é a unidade de quantidade de carga no sistema de unidades MKS. Desde que a corrente é a taxa de fluxo de carga.

$$i = \frac{dq}{dt} \qquad (1)$$

a carga pode ser escrita como:

$$q = \int_T i.dt \qquad (2)$$

O Coulomb pode ser assim definido como a carga total que passa por um ponto em cada segundo, quando a corrente é de um Ampère.

O Ohm

A corrente total que flui em um dado circuito é determinada pela resistência do circuito tanto como pela fonte de força eletromotriz. O fio transportando a corrente torna-se aquecido e quanto maior a resistência, maior o calor que é dissipado em cada segundo para um mesmo valor de corrente. A dissipação de energia no fio é usada para definir a unidade de resistência que é chamada Ohm (Ω).

A taxa de energia dissipada para uma corrente de I Ampère em uma resistência de R Ohm (isto é, potência), dada em unidades de W Watt é:

$$P = R \cdot I^2 \qquad (3)$$

Podemos, então, estabelecer como definição para a unidade de resistência: "Um Ohm é aquela resistência total, na qual a potência dissipada é um Watt quando a corrente é de um Ampère".

Diferença de Potencial, Força Eletromotriz, Queda de Potencial

A diferença de potencial entre dois pontos produz uma corrente elétrica de um ponto para outro quando conectados por um condutor.

Toda bateria ou outro gerador elétrico possui uma certa capacidade de manter uma diferença de potencial entre seus terminais, e portanto a habilidade de estabelecer uma corrente contínua. Essa diferença de potencial produzida por uma bateria ou outro gerador qualquer, e que pode ser considerada a causa da corrente, é chamada "FORÇA ELETROMOTRIZ". Deve ser lembrado que essa quantidade não é uma força no sentido que normalmente usamos em física. De modo a evitar problemas, em vez de usarmos a palavra força, comumente usamos "fem". Quando uma corrente flui através de um condutor, há uma diferença de potencial entre quaisquer dos pontos do condutor. Esta diferença de potencial é maior quanto mais distantes os dois pontos foram tomados, e como a mudança é gradual, é usualmente chamada uma "queda de potencial". Ela poderia também ser chamada uma "alta do potencial" desde que quando seguimos a corrente elétrica através da resistência, isso nos levará a pontos que são mais altos em potencial. Ela pode ser expressa por:

$$V = R \cdot I \qquad (4)$$

onde R é a resistência do condutor ou condutores sobre consideração.

Lei de Ohm

"A corrente elétrica que flui através de qualquer condutor é diretamente proporcional à diferença de potencial entre os seus terminais".

Esta idéia foi primeiro formulada por Georg Simon Ohm em 1827 como um resultado de alguns experimentos e medidas; tornou-se conhecida como Lei de Ohm. Ela é usualmente escrita como a equação número 4, ou:

$$I = \frac{V}{R} \qquad (4.a)$$

Onde V denota a diferença de potencial sobre o circuito através do qual flui a corrente I. O fator R é chamado de "resistência" do condutor e seu valor depende das dimensões, do tipo de material do fio e de sua temperatura. Ele é inteiramente independente de V e da corrente I. Esta relação mantém-se igualmente bem se o circuito inteiro é considerado ou somente uma porção de tal circuito é tomada. No primeiro caso, a lei estabelece que a corrente que atravessa o circuito é igual à força eletromotriz total no circuito, dividida pela resistência de todo circuito, incluindo aquelas dos fios condutores e da bateria. Quando aplicada a um único condutor AB, a lei estabelece que a corrente fluindo através do condutor é igual à queda de potencial entre A e B dividida pela resistência desta parte do circuito.

O Volt

Agora que o valor de um Ampère e o valor de um Ohm foram definidos, segue que o valor a ser usado como um Volt é dado pela “Lei de Ohm."

Um Volt é a diferença de potencial que, permanentemente aplicada a um condutor cuja resistência é um Ohm, produzirá uma corrente de um Ampère.

Da relação da potência dissipada podemos ainda definir o Volt como a diferença de potencial que manterá uma corrente quando a potência dissipada é de um Watt por Ampère.

CONDUTORES, ISOLANTES, SEMICONDUTORES:

Propriedades Microscópicas. Elétrons de Valência e de Condução

Para entender o que é um condutor é preciso estudar um pouco a constituição microscópica desses materiais, quase sempre metais. Do ponto de vista químico, a propriedade característica de um átomo metálico (Fé, por exemplo) é a facilidade de perder os elétrons mais externos tornando-se um íon positivo.

Da organização dos elétrons em torno do núcleo (isso a temperatura 0 K) é possível demonstrar que para alterar substancialmente a situação vigente a 0 K, é preciso aquecer o material a temperaturas altíssimas. Esta condição é regida por dois princípios: 1º minimizar a energia total (cinética + potencial) de cada elétron; 2º manter os elétrons "um fora do caminho do outro" (o chamado Princípio de Exclusão de Pauli).

A Teoria Quântica prediz quais valores de energia e momento angular um elétron preso a um núcleo pode ter. Pode-se fazer uma tabela desses valores. Cada escolha de valores de energia e de momento angular corresponde a um "estado" do elétron e somente podemos ter dois elétrons em cada estado. Aos estados de energia mais baixas correspondem os "orbitais" (ζ) de raio menor, e valores menores de momento angular. Um orbital é uma representação para a densidade eletrônica perto do núcleo. A Teoria Quântica não permite predizer onde o elétron está, mas apenas "onde temos maior probabilidade de encontrá-lo".

Quando os átomos se formaram, a natureza distribuiu os elétrons entre esses possíveis estados, fazendo com que eles ocupassem estados de alta energia após estarem esgotadas as vagas de energia mais baixa.

Os elétrons em estados com energia mais baixa são naturalmente mais estáveis, os elétrons nos estados de energia mais alta são os mais afastados do núcleo e mais fracamente ligados a ele. São estes elétrons mais externos os responsáveis pelos fenômenos químicos, e na química são conhecidos como "elétrons de valência".

Em física, "elétrons de valência" são aqueles que ficam sempre presos ao núcleo, enquanto os mais externos, fracamente ligados, recebem o nome de "elétrons de condução".

Se "olharmos" um pedaço de metal na sua estrutura mais íntima, usando para isso raio-x, verificamos que ele é formado de pequenos cristais de formas bem definidas, com unidades elementares chamadas “celas”. Estas celas se repetem regularmente formando um reticulado cristalino que denominamos de “rede”. A rede pode ser visualizada de maneira direta se imaginamos algo como uma rede de pescador, mas em três dimensões.

Nos cristais metálicos, os "nós" da rede cristalina são ocupados por "caroços", os núcleos revestidos dos elétrons de valência. Os outros elétrons, de condução, gozam de relativa liberdade para vagar pela rede cristalina. O conjunto todo se mantém rígido pois há forças eletrostáticas entre os caroços positivos, e o “mar” de elétrons de condução (negativos) permeando os caroços. A mesma interação eletrostática se encarrega de manter os elétrons de condução espalhados uniformemente pelo volume total do cristal. Se, numa região se desenvolvesse um "vácuo" de elétrons a carga positiva dos “caroços” faria refluir para aquele local o “mar” de elétrons de condução. Pela mesma razão, um "excesso" de carga positiva ou negativa posta no bloco de metal por um experimentador só pode residir na superfície do metal.

Um dos grandes triunfos da Teoria Quântica foi explicar a diferença entre os cristais metálicos (condutores) e os cristais isolantes.

O átomo do carbono, por exemplo, tem 4 elétrons externos. Por que esses elétrons não formam um mar de elétrons de condução no diamante da

mesma maneira que os dos elétrons externos do átomo de cobre? Por que o diamante é um material isolante?

Faixas de Níveis de Energia

A resposta tem a ver com os níveis de energia. Quando temos dois átomos afastados um do outro, um não "sente" o outro e os elétrons de cada átomo ocupam níveis exatamente correspondentes. Se aproximarmos um átomo do outro, a influência mútua muda todo o esquema de níveis de energia, cada nível se "desdobra" em dois subníveis. Se aproximarmos um dos outros um número N grande de átomos de cada nível original de desdobra em N subníveis finamente espaçados.

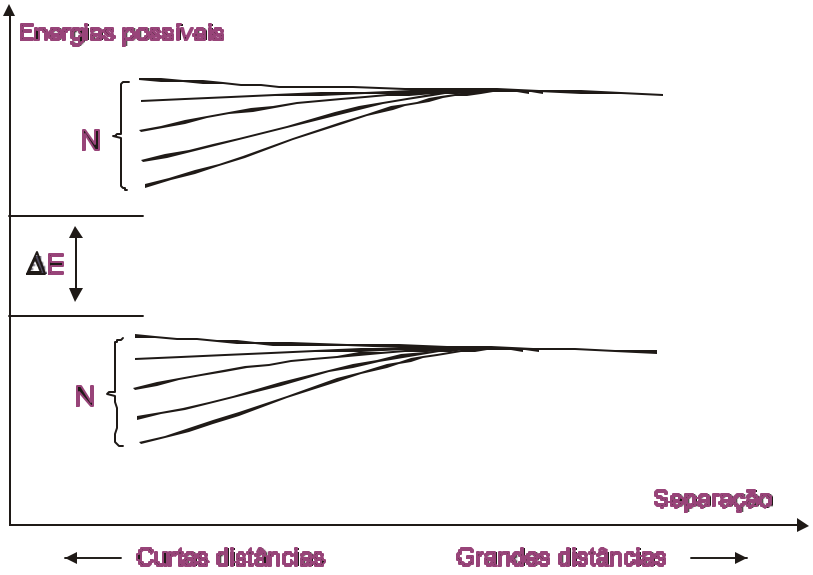


Fig. 1

Chamamos esses conjuntos de subníveis finamente espaçados de "faixas" de energia. Em geral as faixas estão separadas umas das outras por energias grandes ΔE, em relação àseparação energética dos subníveis.

As únicas energias "admissíveis" para os elétrons são **as das faixas**. Outros valores de energia são estritamente "proibidos", no sentido de que nenhuma experiência revela elétrons nesses estados.

Essas faixas são a chave para a compreensão da diferença entre isolantes e metais. É improvável um elétron mudar para um estado de energia muito alto, pois algum processo externo teria que fornecer bastante energia para que isto acontecesse. No entanto, se os estados de energia têm um espaçamento suficientemente fino, já não fica tão difícil. Normalmente os elétrons de condução vão preencher todos os estados em ordem de energia crescente até uma certa energia máxima.

Todos os níveis acima dessa energia máxima estão vagos. Os elétrons de valência de cada átomo não são perturbados significativamente no

processo (pois estão perto do "seu" núcleo e longe dos elétrons de valência dos "outros" núcleos).

Pode agora ocorrer que a mais alta faixa ocupada esteja toda ocupada ou apenas parcialmente ocupada.

No primeiro caso o material é isolante, e no segundo, condutor. A razão é a seguinte por definição. Num condutor há "transporte" de carga de uma região para outra ao aplicarmos um campo elétrico. Mas para haver transporte de carga elétrica é necessário que esta seja acelerada pelo campo elétrico.

"Ser acelerada" significa ganhar energia, isto é ocupar níveis de energia mais altos. Mas para poder ser ocupado o nível precisa existir primeiro. Se a "faixa" já esta toda ocupada um elétron só poderia ser acelerado pulando para outra faixa acima, o que requer uma quantidade de energia ΔE grande demais para ser praticável. Então o elétron simplesmente não é acelerado e permanece onde está. Temos aí o isolante, como o diamante.

Caso haja níveis vazios dentro da mesma faixa é perfeitamente factível para o campo elétrico fornecer o pequeno quantum de energia necessário para passar o elétron mais energético do conjunto para o subnível vazio imediatamente acima, o segundo mais energético para o nível anteriormente ocupado pelo primeiro e assim por diante. Eventualmente, os elétrons ocupando estados na mesma faixa de energia, poderão estar acelerados, contribuindo para o transporte de carga no metal.

Existem também materiais cuja capacidade para "transportar" cargas não é tão grande quanto a dos condutores nem tão pequena quanto a dos isolantes: por esta razão são chamados de materiais semicondutores.

A mais alta faixa ocupada de um semicondutor típico (como o garmânio) está quase totalmente ocupada e a faixa seguinte quase totalmente vazia, sendo que a diferença de energia ΔE entre as mesmas é bem menor que no caso dos isolantes. Por conseguinte, o fato de ΔE ser bem menor do que nos isolantes, torna possível, em princípio, a passagem de elétrons dessa mais alta faixa ocupada para a faixa seguinte. Em outras palavras, ao aplicarmos um campo elétrico $\vec{E}$, os elétrons serão acelerados, o material "transportará" cargas. Como é mais fácil a um elétron passar de um nível para outro dentro de uma mesma faixa do que para um nível numa outra faixa (pois no primeiro caso as energias necessárias são muito menores), para um mesmo campo elétrico, um material condutor "transportará" muito mais cargas (sua "condutividade" é muito maior) do que um material semicondutor.

Chamamos atenção para o fato de que, embora menores do que no caso dos isolantes, essa separação ΔE ainda é bem grande numa escala atômica. Uma das metas da tecnologia dos semicondutores (responsável pelos transistores que constituem o chip usado nos computadores) é exatamente a de melhorar, por meio de técnicas especiais de dopagem com impurezas, as propriedades condutoras do material.

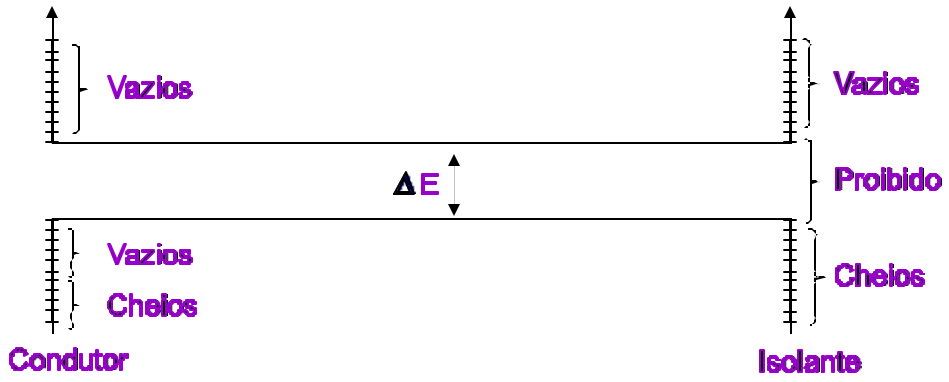
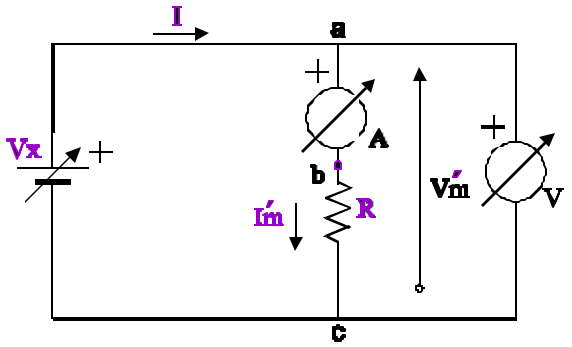


Fig. 2

III - TEORIA DA MEDIDA:

Medidas com Amperímetro e Voltímetro - Método 1

Seja o circuito abaixo:



V_X = fonte de tensão variável

A = amperímetro

V = voltímetro

Fig. 3

Para esta montagem, o valor da tensão lida no voltímetro $V'm$ é dado por:

$$V'm = V_A + V_R \qquad (5)$$

Dividindo ambos os membros da equação (5) por $I'm$, corrente que circula no amperímetro, ramo (a-c), temos:

$$\frac{V'm}{I'm} = \frac{V_A}{I'm} + \frac{V_R}{I'm}$$

Logo,

$$R'm = R_A + R$$

Consequentemente, os valores dos resistores desconhecidos, calculados por este método, serão dados pela equação a seguir:

$$R = R'm - Ra = R'm \cdot (1 - \frac{Ra}{R'm}) \qquad (6)$$

Definimos:

R: resistência a ser medida;

Ra: resistência interna do amperímetro;

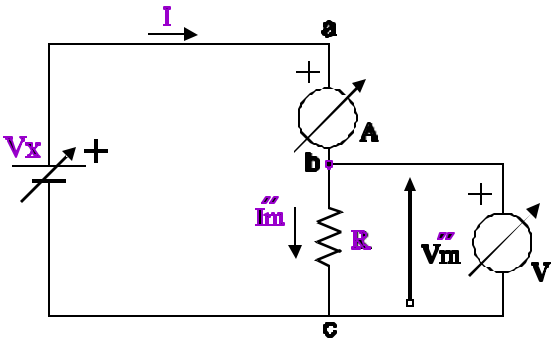
V'm: tensão medida entre os pontos **a** e **c**;

I'm: corrente que passa pelo ramo da associação em série do resistor R, com do amperímetro;

$R'm = \frac{V'm}{I'm}$: resistência medida pelo método.

Medidas com Amperímetro e Voltímetro - Método 2

Seja o circuito abaixo:



Vx = fonte de tensão variável

A = amperímetro

V = voltímetro

Fig. 4

Para o circuito da figura 4, temos a resistência R em paralelo com Rv, logo podemos assumir:

$$R''m = \frac{R \cdot Rv}{R + Rv} \qquad (7)$$

Então, os valores dos resistores desconhecidos, calculados por este método, serão dados pela equação (8):

$$R = \frac{R''m \cdot Rv}{Rv - R''m} = R''m \cdot \left\{ \frac{1}{1 - \frac{R''m}{Rv}} \right\} \qquad (8)$$

Defi nindo:

R: resistência a ser medida;

R_v: resistência interna do voltímetro;

$V''m$: tensão medida entre os pontos **b** e **c**;

$I''m$: corrente medida no amperímetro;

$R''m = \frac{V''m}{I''m}$: resistência medida pelo método.

TRATAMENTO DOS ERROS EXPERIMENTAIS:

A partir da equação número (6).

Definindo:

Percentagem de erro do método de medida número 1 como sendo:

$$\omega_1 = \frac{Ra}{R'm} \cdot 100\% \qquad (9)$$

Da equação de número (8), expandindo:

$$\left(1 - \frac{R''m}{Rv}\right)^{-1}$$

Pelo teorema da expansão binomial, vide anexo do roteiro, e tomando apenas o primeiro termo temos:

$$R = R''m \cdot \left(1 + \frac{R''m}{Rv}\right) \qquad (10)$$

Definindo agora a percentagem de erro do método de medida número 2 como sendo:

$$\omega_2 = \frac{R''m}{Rv} \cdot 100\% \qquad (11)$$

Quando $\omega_1 = \omega_2$ podemos observar que os dois métodos de medida têm a mesma exatidão, então neste caso temos:

$$\frac{Ra}{R'm} = \frac{R''m}{Rv}$$

Consequentemente,

$$R = \sqrt{Ra \cdot Rv} \qquad (12)$$

IV - PARTE EXPERIMENTAL:

LISTA DE MATERIAL:

- conjunto de resistores numerado, desconhecido
- resistores de valores conhecidos - (dois)
- amperímetro com resistência interna R_a
- voltímetro com resistência interna R_v
- fonte de tensão
- reostato
- chave liga - desliga
- placa de ligação
- fios

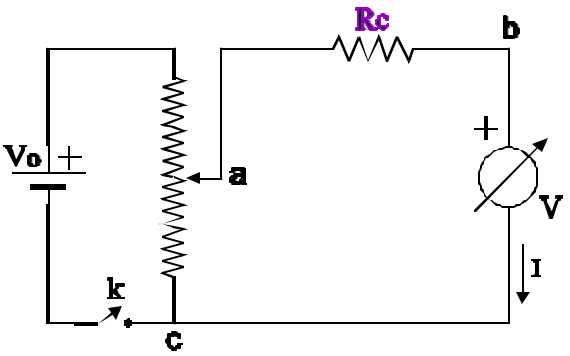
OBSERVAÇÃO:

Anotar cuidadosamente os valores dos desvios avaliados para as escalas dos instrumentos utilizados.

MEDIDAS:

IV.1 - Determinação da Resistência Interna R_v do Voltímetro

☞ Monte o circuito abaixo.



V_o = fonte de tensão

V = voltímetro

$R_c = (1000 \pm 50)\ \Omega$

k = chave liga-desliga

Fig. 5

☞ Ligue, inicialmente o voltímetro entre os pontos **a** e **c** (saída do reostato), ajuste, deslocando o cursor do reostato, a tensão da fonte para que o voltímetro indique 10 V. Coloque agora o mesmo voltímetro entre os pontos **b** e **c**, meça a tensão V_{bc}.

A queda de tensão no resistor R_c é dada por:

$$Vac - Vbc = Rc \cdot I \qquad (13)$$

Esta mesma corrente I, atravessa o voltímetro; portanto:

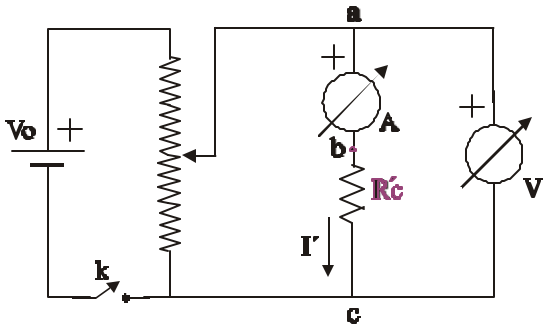
$$Vbc = Rv \cdot I \qquad (14)$$

Eliminando-se I, nas equações (13) e (14) temos:

$$Rv = Rc \cdot \frac{Vbc}{Vac - Vbc} \qquad (15)$$

IV.2 - Determinação da Resistência Interna R_a do Amperímetro

☞ Monte o circuito abaixo.



V_o = fonte de tensão

A = amperímetro

V = voltímetro

$R'_c = (100 \pm 5)\ \Omega$

k = chave liga-desliga

Fig. 6

☞ Ligue a chave com o cursor do reostato na posição **c** (mínima). Ajuste então o cursor até a corrente máxima que pode ser medida pelo amperímetro. Leia simultaneamente no voltímetro e no amperímetro a tensão entre os pontos **a** e **c** e a corrente que passa no resistor R'_c.

Para calcular a resistência R_a do amperímetro, lembramos que neste circuito R_a está associada em série com a resistência conhecida R'_c. De modo que:

$$Vac = Vab + Vbc$$

$$Vac = Ra \cdot I' + R'c \cdot I'$$

Logo temos:

$$Ra = \frac{Vac}{I'} - R'c \qquad (16)$$

NOTE BEM:

Toda vez que iniciar uma nova medida, retorne o cursor do reostato até a posição mínima c para que a ddp entre os pontos a e c possa começar de 0 V.

Utilize sempre a maior deflexão possível em um dos medidores. Isto é, você ajusta um medidor no fundo de escala e lê o outro.

IV.3 - Circuito de Medida Número 1

Utilizamos nesta seção o circuito da figura 6 montado anteriormente, onde substituiremos o resistor conhecido Rc' pelos resistores desconhecidos do conjunto.

OBSERVAÇÃO:

Note a cor do seu conjunto de resistores que está numerado em ordem crescente de valores.

☞ Deslocando o reostato desde a posição "zero", meça para cada um dos resistores do conjunto o valor de $V'm$ e $I'm$, construindo uma tabela onde devem constar o número do resistor e os valores medidos.

IV.4 - Circuito de Medida Número 2

Este circuito pode ser obtido do da figura 6, mudando-se **unicamente** a conexão do voltímetro do ponto **a** para o ponto **b**, conforme mostra a figura 7. Nesta situação, o voltímetro mede a ddp somente sobre o resistor.

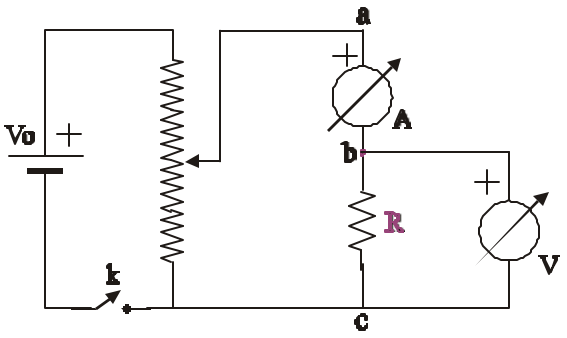


Fig. 7

☞ Meça novamente, para cada um dos resistores do conjunto V''_m e I''_m, tensão e corrente, colocando os valores em uma tabela.

V - RELATÓRIO:

Procuraremos formular uma série de questões de modo a conduzi-lo para o entendimento deste trabalho. Você deve responder a cada uma delas, entretanto esta lista não é limitativa.

- Calcule o valor da resistência R_v do voltímetro, pelos valores encontrados em IV.1. Qual o desvio absoluto sobre R_v? Escreva R_v com os algarismos significativos corretos na forma ($R_v \pm \Delta R_v$).

- Calcule o valor da resistência R_a do miliamperímetro, pelos valores que você mediu em IV.2. Calcule o desvio absoluto cometido na determinação do valor de R_a. Finalmente, escreva R_a com os algarismos significativos corretos, ($R_a \pm \Delta R_a$).

- Estabeleça uma tabela com os dados obtidos em IV.3, onde devem constar: número do resistor, V'_m, I'_m, R'_m, desvio absoluto sobre R'_m, R calculado pela equação de número (6), desvio absoluto sobre R e finalmente R'_m e R escritos com os algarismos significativos corretos.

- Fazer o mesmo procedimento para os valores obtidos em IV.4, utilizando nesta condição a equação de número (8).

- Trace em um mesmo papel bi-log, os dois gráficos: R calculado versus R'_m, e R calculado versus R''_m. Você pode também fazer esses dois gráficos utilizando uma folha de papel milimetrado, traçando o log (R calculado) versus log (R'_m) e o log (R calculado) versus log (R''_m). Escolha as escalas dos gráficos de maneira inteligente. Na discussão não esqueça de analisar as curvas obtidas. Como seriam essas curvas se os aparelhos de medida fossem ideais?

- Um voltímetro e um amperímetro considerados como ideais deveriam ter que resistências internas?

- Calcule para todos os resistores, após corrigir, e em função do método, os valores de ω_1 e ω_2.

- Construa com estes valores uma tabela onde devem constar: número do resistor, valores de R em cada método, ω_1 e ω_2.

- Trace em um mesmo papel milimetrado o gráfico de ω_1 e de ω_2 versus R.

- Qual o significado prático das curvas de ω_1 e de ω_2 versus R?

- Pode você ver que no método de medida número 1 o valor do resistor R é sempre menor que o valor medido?

- Pode você ver que no método de medida número 2 o valor de R é sempre maior que o valor medido?

- Determine, nos gráficos, para que valor de resistência R os métodos têm a mesma exatidão. Esse resultado corresponde ao valor calculado pela equação de número 12?

- O que podemos afirmar a respeito dos métodos de medida neste ponto?

- O que podemos dizer a respeito dos erros não-experimentais, (não de medida), tais como: calibração incorreta dos instrumentos, resistência de contato etc.

- Por que usamos os medidores sempre na máxima deflexão de um deles?

COMENTÁRIO IMPORTANTE:

Os dados e gráficos obtidos não têm nenhum significado se não compreendemos perfeitamente cada um dos dois métodos de medidas de resistência. Devemos nos lembrar que fizemos medidas em resistores com uma ampla faixa de valores. Perguntamos então: qualquer um dos dois métodos pode ser usado para medir diretamente resistências de quaisquer valores indistintamente? Que importância têm os instrumentos amperímetro e voltímetro nas medidas realizadas?

VI - LEITURA RECOMENDADA:

HALLIDAY, David, RESNICK, Robert. Fundamentos de Física, 3.ed, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editôra S.A, 1993. v.3, p. 124 – 125.

MARTINS, Nelson. Introdução à Teoria da Eletricidade e do Magnetismo, 2.ed, São Paulo: Editôra Edgard Blucher Ltda, 1975. p. 188 - 191.

TIPLER, Paul A. Física, Guanabara Dois, 2.ed, Rio de Janeiro: 1984. v.2a, p. 683 – 702.

SEARS, Francis, ZEMANSKY, Mark W, YOUNG, Hugh D. Física Eletricidade e Magnetismo, 2.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editôra S.A, 1994. v.3, p. 620 - 630.

WHITE, Marsh W, MANNING, Kenneth V. Experimental College Physics - Laboratory Manual, 3.ed. N.Y: McGraw Hill Book Company, Inc, 1954. p. 218 - 222.

WESTPHAL, Wilhelm H. Prácticas de Física, 2.ed. Barcelona: Editorial Labor, S.A, 1965. v.3, p. 261 - 264.