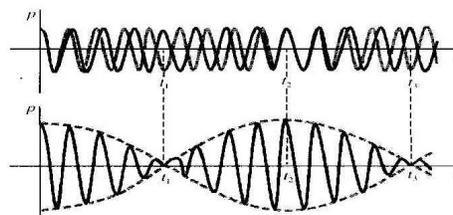
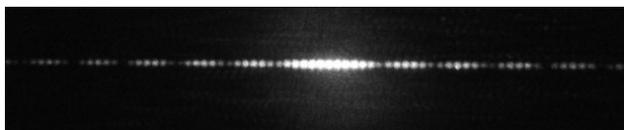
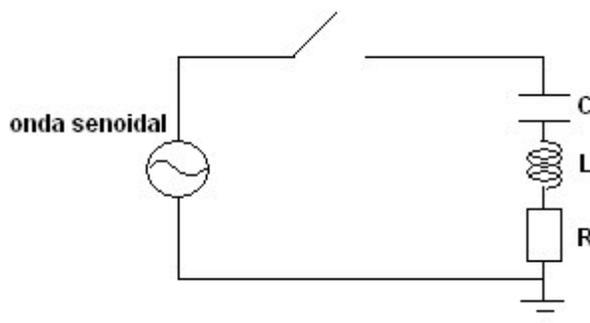
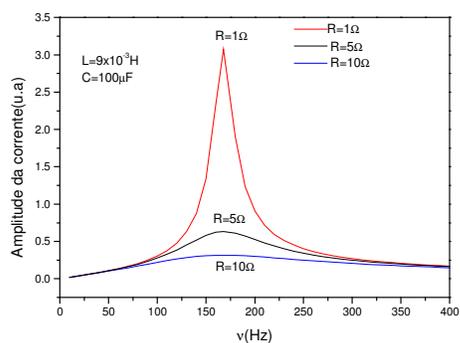


APOSTILA DE FÍSICA EXPERIMENTAL II

(Física - Bacharelado e Licenciatura)



Prefácio

Esta apostila foi desenvolvida para estudantes do curso experimental de Física geral II, no intuito de realizar estudos tanto conceituais quanto quantitativos em Eletromagnetismo, Ondas e Ótica. Os experimentos aqui propostos não são originais (alguns retirados na íntegra de livros e apostilas), porém foram selecionados para maior compreensão de cada fenômeno físico envolvido nos experimentos. Em cada experimento realizado (ou tema) é relacionado um rol de livros (bibliografia) que foram consultados para o procedimento e conteúdo do experimento, é de suma importância que o estudante recorra a esta bibliografia para maior compreensão do experimento realizado.

A realização desta apostila teve como colaboradores: pelos então acadêmicos de Física Elinton Luiz Leguenza, Cleverson Bringhenti e Robson C. Bonetti.

Em que consiste o trabalho do físico?

*“Olhar para o mundo, para a Natureza, e descobrir a maneira como está organizado. Pode-se fazer teorias, simulações computacionais e têm de se fazer **experiências**. Pode ser complicado chegar lá, mas alcança-se por vezes uma visão de grande simplicidade e, talvez por isso, de grande beleza”.*

Carlos Fiolhais – Professor de Física da Universidade de Coimbra – Portugal.

INDICE

MEDIDAS ELÉTRICAS	01
LEI DE OHM E BIPOLOS NÃO ÔHMICOS	05
ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E LÂMPADAS	08
DIVISOR DE TENSÃO RESISTIVO	10
VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA COM A TEMPERATURA	13
GERADORES	16
REGRAS DE KIRCHHOFF	21
MEDIÇÃO DA RESISTENCIA INT. DE UM VOLT. E UM AMP.	24
EFEITO JOULE	29
CAPACITOR (CORRENTE CONTÍNUA-DC)	31
OSCILOSCÓPIO	35
FIGURAS DE LISSAJOUS	43
CIRCUITO DE CORRENTE ALTERNADA (RC E RL)	49
CIRCUITO DE CORRENTE ALTERNADA – RLC EM SÉRIE	57
FILTROS: PASSA-BAIXA E PASSA-ALTA	61
DEMONSTRAÇÕES ELETROMAGNETISMO	64
DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA	73
CORRENTES DE FOUCAULT	76
TRANSFORMADOR	79
ONDAS	82
CORDAS VIBRANTES	89
ÓTICA GEOMÉTRICA	93
DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA DA LUZ	108
MEDIDAS DO COMPRIMENTO DE ONDA – REDE DE DIFRAÇÃO	114
POLARIZAÇÃO DA LUZ	117

MEDIDAS ELÉTRICAS

INTRODUÇÃO

Em quase todas as experiências de eletricidade, envolvem medidas de tensões e de correntes elétricas. Por essa razão, é importante que familiarizemos com os instrumentos que permitam medir as grandezas elétricas. Esses instrumentos são:

- 1- VOLTÍMETRO - Mede tensões entre dois pontos de um circuito
- 2- AMPERÍMETRO - Mede corrente elétrica que percorre um circuito elétrico;
- 3- OHMÍMETRO - Mede a resistência elétrica de um componente do circuito.

O aparelho que conjuga todos estes três instrumentos recebe o nome de MULTITESTE ou MULTÍMETRO. O multímetro é o instrumento mais popular do laboratório de eletricidade.

Estes aparelhos servem para medir correntes alternadas e também correntes contínuas.

Há outro aparelho de medida elétrica, chama-se osciloscópio, que também mede grandezas elétricas como tensão (alternada e contínua), fase e frequência de corrente alternada. Porém este aparelho irá ser estudado e utilizado em experimentos adiante, agora vamos praticar os aparelhos acima citados.

EXPERIMENTO 1

MEDIDOR DE CORRENTE (corrente contínua)

MATERIAL

- 1 fonte de alimentação
- 1 miliamperímetro
- 1 lâmpada GE - 40
- 1 chave liga-desliga

PROCEDIMENTO

- 1- Monte o circuito abaixo:

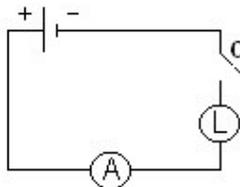


Figura 1
Circuito para medir corrente elétrica

- 2- Manter o miliamperímetro no máximo, fundo de escala mais alto;
- 3- Verifique a polaridade correta do miliamperímetro;
- 4- Com o miliamperímetro no fundo de escala e na posição indicada no circuito anterior e a chave fechada, varie lentamente a tensão da fonte até atingir 6(seis) volts. Determine corretamente, a corrente através do miliamperímetro.
- 5- Mudando o fundo de escala do miliamperímetro meça novamente a corrente. Mudou o valor da corrente em relação ao medido no item anterior?
- 6- Abra a chave C. A seguir mude a posição do miliamperímetro colocando-o entre a lâmpada e a chave. Observe a polaridade correta. Fechando a chave C leia a corrente que passa pela lâmpada, quando a tensão é 6 volts, e o medidor nesta nova posição. A posição do medidor influi na medida da corrente?

MULTÍMETRO Analógico (para medir a resistência elétrica).

Para medir a resistência elétrica com o multímetro analógico coloca-se o seletor na faixa de alcance que se julga adequada para aquele componente (X1; X10; X100; X1K).

Uma vez escolhido a faixa de alcance, as pontas de prova devem ser colocadas em curto circuito para o ajuste do zero da escala. Isto se consegue colocando-se o controle Ω ADJ. até que o ponteiro fique exatamente sobre o zero da estrema direita (figura 2).

Agora o multímetro está pronto para medir a resistência elétrica. Basta para isso, aplicar as pontas de prova aos terminais do resistor. O valor da resistência é lido diretamente na escala.

EXEMPLO: Se o valor está na posição x10 e o ponteiro indica 10 na escala, então o valor da resistência é de 100Ω , como mostra a figura 2.

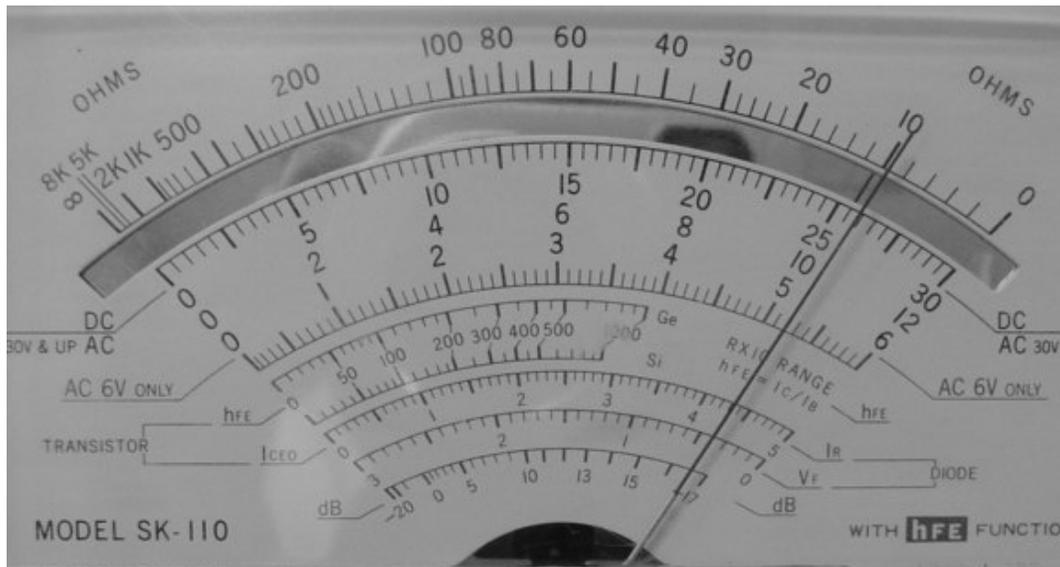


Figura 2
Multímetro na medida de resistência

EXPERIMENTO 2

Utilização do código de cores de resistores; familiarização com o multímetro para medidas de resistências elétricas.

MATERIAL

Multímetro
Resistores com códigos de cores

PROCEDIMENTO

- 1- Determine o valor da resistência de pelos menos cinco resistores, através do código de cores (em anexo), fazendo uma tabela com os dados obtidos;
- 2- Com o auxílio do multímetro meça a resistência de cada um dos resistores (lido acima). Compare com os valores obtidos no item 1. Os valores encontrados através do código de cores e os valores medidos com o ohmímetro (multímetro) estão dentro do intervalo de tolerância do resistor?
- 3- Monte agora o circuito da figura abaixo:

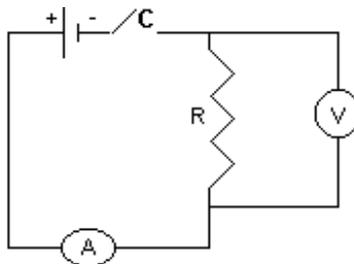


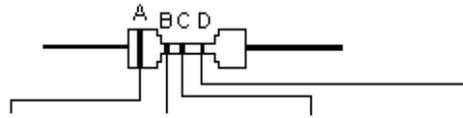
Figura 3
Circuito para medir a tensão e a corrente

- 4- Meça os valores da corrente e da voltagem no resistor com o multímetro;
- 5- Faça o item 4 usando várias escalas.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Baptista Gargione Filho - Eletricidade - circuito de corrente contínua - UNESP-Guaratinguetá
- 2- Milton Zero, Iedon Borchardt e Jorge Moraes - Experimentos de Física Básica - eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo.
- 3- Francisco G. Capuano e Maria A. Mendes - Laboratório de eletricidade e eletrônica - Editora Érica.

CÓDIGO DE CORES



Cor	1º algarismo	2º algarismo	Fator multiplicativo	Tolerância
preto	-----	0	x1	-----
marrom	1	1	x10	1%
vermelho	2	2	x10 ²	2%
laranja	3	3	x10 ³	-----
amarelo	4	4	x10 ⁴	-----
verde	5	5	x10 ⁵	-----
azul	6	6	x10 ⁶	-----
violeta	7	7	-----	-----
cinza	8	8	-----	-----
branco	9	9	-----	-----
ouro	-----	-----	x10 ⁻¹	5%
prata	-----	-----	x10 ⁻²	10%

Atenção para alguns detalhes nos códigos de cores:

- A ausência da faixa de tolerância indica que o mesmo é de $\pm 20\%$.
- Resistores de maior precisão é encontrado cinco faixas de cores sendo que as três primeiras representam o primeiro, segundo e terceiro algarismos significativos e as demais faixas o fator multiplicativo e tolerância respectivamente.

LEI DE OHM E BIPOLOS NÃO ÔHMICOS

INTRODUÇÃO

Um bipolo é todo elemento de um circuito elétrico que possui dois terminais. A resistência elétrica (que é um bipolo) de um circuito é a razão entre a d.d.p. (diferença de potencial), V , aplicada aos seus extremos e a corrente, I , que a percorre, então (figura 1):

$$R = \frac{V}{I}$$

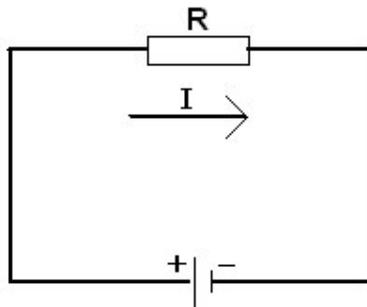


Figura 1

Tensão, V , aplicada nas extremidades de um resistor, passando a circular uma corrente I .

Para alguns materiais, o valor da sua resistência elétrica R , independe dos valores de V e I , isto é, para estes materiais V/I é uma constante. Esses materiais são denominados de ôhmicos e a representação gráfica da voltagem, V , versus a corrente, I , (ou $V \times I$) é uma função linear. Esta relação entre $V \times I$ é uma descoberta experimental e a curva característica é mostrada na figura 2.

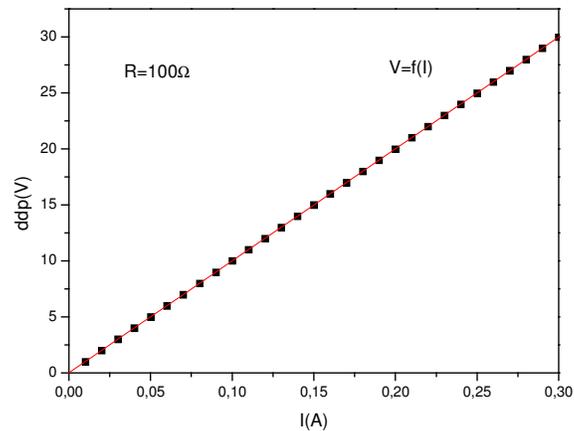


Figura 2

Curva característica do material ôhmico

Porém há muitos materiais que não obedecem à lei de ohm, esses materiais são chamados de dispositivos não lineares. A figura 3 mostra a característica de um dipolo não ôhmico, onde se observa uma atenuação do aumento da corrente para um aumento da voltagem, caracterizando assim a não linearidade da função $V=f(I)$.

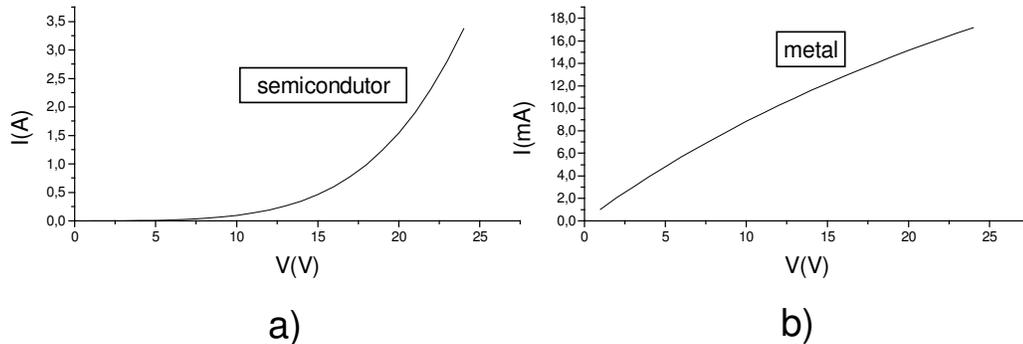


Figura 3
Curva característica do dipolo não ôhmico para: a) para semicondutor e b) metal.

Como os dipolos não ôhmicos apresentam resistências diferentes a cada ponto medido, devemos determiná-los ponto a ponto, sendo somente nestes casos válido a lei de ohm!

EXPERIMENTO

MATERIAL

Fonte variável (0 a 12V)
Resistores: 470 Ω , 1000 Ω , 2200 Ω e 3800 Ω
Multímetro
Lâmpada de 12V
Diodo Zener 5,6V

PROCEDIMENTO

- 1- Monte o circuito da figura 4.
- 2- Varie a tensão da fonte de 0 a 12 V e anote o valor da corrente montando uma tabela.
- 3- Faça o item 2 para os resistores de 1K Ω , depois para os de 2,2K Ω e 3,8K Ω .

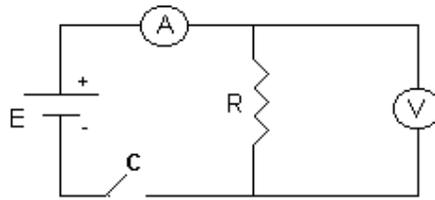


Figura 4
Montagem experimental da lei de ohm.

- 4- Com os valores obtidos no item 2 e 3 faça o gráfico $V = f(I)$ para cada resistor. (Faça os gráficos em um mesmo papel milimetrado).
- 5- Determine, através do gráfico, o valor da resistência e compare com o valor nominal.
- 6- Explique a diferença entre a resistência determinada e a nominal.
- 7- Monte o circuito da figura 4 colocando a lâmpada no lugar da resistência.
- 8- Varie a tensão da fonte de 0 a 12V e meça a corrente. (Cuidado para não ultrapassar a escala de corrente!)
- 9- Com os valores obtidos no item 8, faça o gráfico de $V = f(I)$.
- 10- Compare e discuta os gráficos do item 4 e 9.
- 11- Monte o circuito da figura 5a usando um diodo. Meça os valores das correntes elétricas entre 0 a 0,8 V sobre o diodo (faça 6 medidas).
- 12- Monte o circuito da figura 5b usando um diodo. Meça os valores das correntes elétricas entre 1 e 6 V sobre o diodo (faça 6 medidas).
- 13- Com os valores obtidos no item 12, faça o gráfico de $V = f(I)$. Discute o resultado!

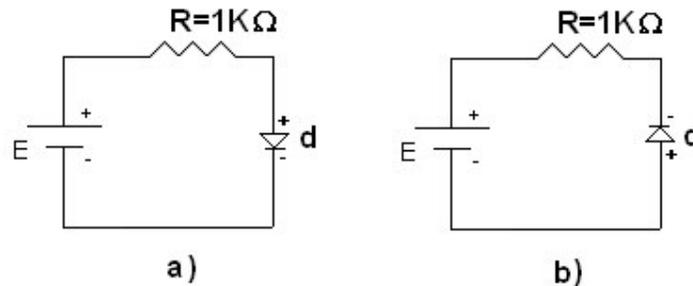


Figura 5
Circuitos em série com R (resistência) e d (diodo)

BIBLIOGRAFIA

- 1- Francisco G. Capuano e Maria A. M. Marino - Laboratório de eletricidade e eletrônica - Editora Érika 10^a edição - 1995.
- 2- Milton Zaro, Ildon Borchardt e Jorge Moraes - Experimentos de Física Básica 1^a ed. 1982.
- 3- D. Halliday e R. Resnick - Fundamentos de Física - vol 3 – 4^a ed. 1984.

ASSOCIAÇÃO DE RESISTORES E LÂMPADAS

INTRODUÇÃO

Existe uma tensão parcial em cada resistor, no caso de um circuito não ramificado. A soma de todas as tensões parciais é igual à tensão total. Com a intensidade de corrente num circuito não ramificado é a mesma em qualquer ponto do circuito, pode-se dividir a soma $V = V_1 + V_2 + \dots$, pela intensidade de corrente, I , existente em todos os resistores:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \dots R_1 = R_2 = R_3 \text{ (se os resistores forem iguais, obviamente!)}$$

Generalizando temos: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$ como mostra a figura 1.

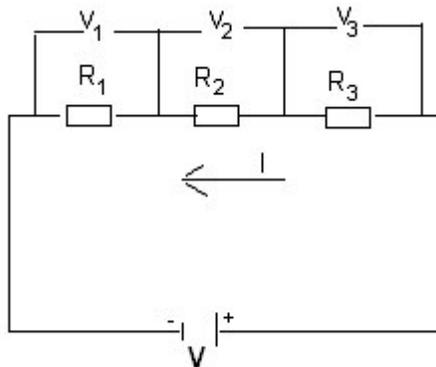


Figura 1
Circuito em série de resistores

Fazendo-se uma análise para a associação em paralelo (figura 2), veremos que a resistência equivalente será dada pela equação:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

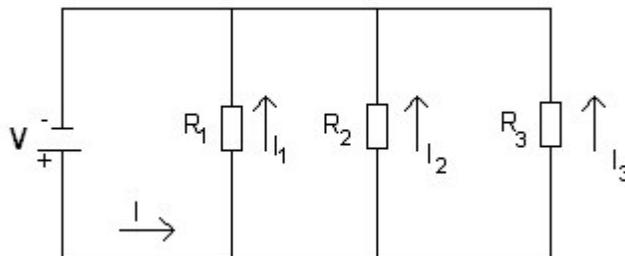


Figura 2
Circuito em paralelo de resistores

A resistência equivalente de uma combinação de resistores em paralelo é menor que a resistência de qualquer dos resistores.

EXPERIMENTAL

MATERIAL

Vários resistores, multímetro, cabos jacarés, lâmpadas.

PROCEDIMENTO

1 – Monte o circuito da figura 3. Resistores com valores entre 1 K e 3,3 K Ω .

Cuidado não feche o circuito antes de conferir várias vezes, em caso de dúvida chame o professor.

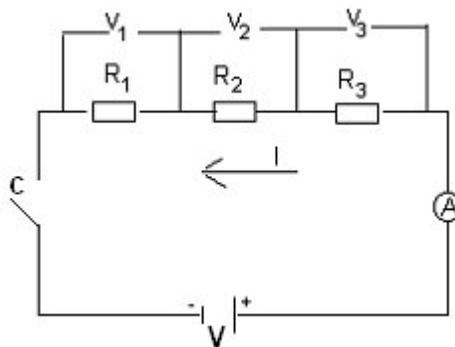


Figura 3
Montagem do circuito em série

2 – Ajuste a fonte para 10 V (verifique com o voltímetro).

3 – Meça a corrente I que circula no circuito e as ddp entre os terminais de R_1 , R_2 e R_3 . Meça também a R_{eq} (resistência equivalente) da combinação, com o ohmímetro. Discuta os resultados.

4 – Monte agora o circuito indicado na figura 2, colocando os três resistores em paralelo.

5 – Ajuste a voltagem da fonte para 10 V e meça a corrente I , I_1 , I_2 e I_3 em cada ramo do circuito. Meça também a R_{eq} (resistência equivalente) da combinação, com o ohmímetro. Discuta os resultados.

6 – Monte o circuito da figura 3 agora com lâmpadas (6V), ajuste a fonte para 6 volts.

7 – Desligue uma das lâmpadas e verifica o que acontece. Explique a observação.

8 – Medir a tensão e a corrente em cada dipolo.

9 – Monte o circuito da figura 2 agora com lâmpadas, ajuste a fonte para 6 Volts.

10 - Medir a tensão e a corrente em cada dipolo.

11 –O que acontece quando uma das lâmpadas é desligada? Observe a corrente no circuito. Determine a potencia elétrica em cada lâmpada

- 11 - O que acontece quando duas lâmpadas são desligadas. Observe a corrente no circuito. Determine a potencia elétrica em cada lâmpada
- 12 – Numa casa as lâmpadas são ligadas em série ou em paralelo? Explique.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Milton Zaro; Ildon Borchardt e Jorge Moraes. Experimentos de Física básica- eletricidade, magnetismo eletromagnetismo. Ed. Sagra, 1982.
- 2- Dalton Gonçalves. Física do científico e do vestibular. Livro técnico, Vol 5, 1974.
- 3- Resnick, R. Halliday, D. Física 2– Livros técnicos e científicos, 4ª edição – 1986.
- 4- Tipler, P. – Física - Volume 2a, 1990

DIVISOR DE TENSÃO RESISTIVO

INTRODUÇÃO

O divisor de tensão consiste, basicamente, em um arranjo de resistores de tal forma, a subdividir a tensão total em valores específicos aplicáveis.

Diversas vezes, precisa-se de uma tensão mais baixa do que a tensão que a fonte nos fornece. Esta possibilidade nos é oferecida pelo divisor de tensão (isto também é feito através de transformadores, que iremos estudar em experimentos mais adiante). Seja V_e a tensão de entrada e V_s a tensão de saída do divisor de tensão, como mostra a figura 1, podemos escrever (você pode demonstrar !):

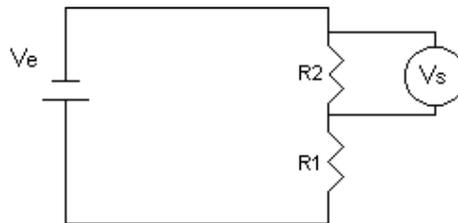


Figura 1
Divisor de tensão resistivo

$$V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e \quad (1)$$

Se medirmos a tensão de saída no resistor R_1 à equação (1) tornaria:

$$V_s = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_e \quad (2)$$

No circuito da figura 2, mostra um divisor de tensão fixa ligada a uma carga R_L .

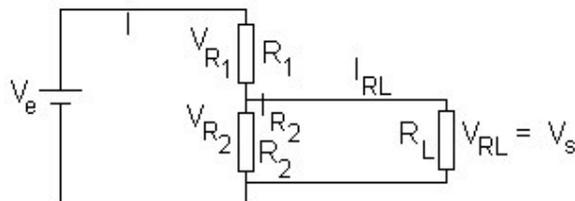


Figura 2

Analisando o circuito temos:

$$\begin{aligned} V_e &= V_{R1} + V_{R2} \\ V_{R2} &= V_{RL} = V_s \end{aligned}$$

logo $V_e = V_{R1} + V_s$
sabendo que $I = I_{R2} + I_{RL}$

Resolvendo! Temos:

$$V_{RL} = V_s = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_e - \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I_{RL} \quad (3)$$

EXPERIMENTO

MATERIAL

Resistores (use valores de resistência baixa, comparadas com a resistência interna do voltímetro)

Uma fonte CC

Voltímetro

LED (light emitter diode) ~2,0V

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 3:

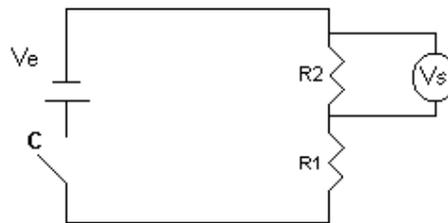


Figura 3

2- Meça V_e e V_s .

3- Confirme o resultado do item 2 com os da equação 1 e 2.

4- Repita os itens anteriores para diversos conjuntos de resistores montando a tabela 1.

V_e (V)	R_1 (Ω)	R_2 (Ω)	V_s (V)	V_s / V_e

Tabela 1

5- Monte o circuito da figura 4.

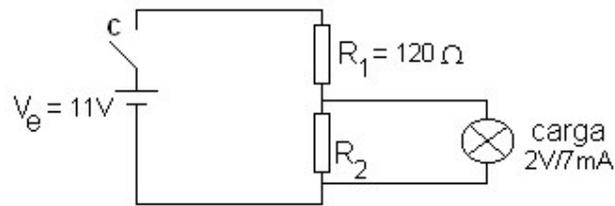


Figura 4

6- Dimensione o valor de R_2 para atender às especificações do LED e meça o valor da corrente que passa pelo LED. Compare com o valor calculado.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Milton Zaro, Ildon Borchardt, Jorge Moraes - Experimentos de Física Básica - eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo - 1982.
- 2- Francisco Capuano e Maria A. Marino - Laboratório de eletricidade e eletrônica - 1995.
- 3- D. Halliday e R. Resnick. Física 3 – 4ª ed. - 1996.
- 4- Tipler - Física 2a.1990.

VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA COM A TEMPERATURA

INTRODUÇÃO

Quando aquecemos um condutor metálico, aumentamos a agitação dos elétrons livres do mesmo, bem como dos átomos que compõem a sua rede cristalina e, assim, provocamos um aumento no número de choques entre os elétrons livres e os átomos do condutor e um aumento na dificuldade de deslocamento destes elétrons livres. Sabendo que a resistência elétrica é uma medida da oposição oferecida ao deslocamento destas cargas livres, portanto quando aumentamos a temperatura de um condutor metálico, aumentamos a resistência elétrica do mesmo.

Para materiais como semicondutores, um aumento de temperatura provoca uma diminuição da sua resistência elétrica. Este comportamento é observado nos semicondutores porque o aumento de temperatura (como a agitação dos átomos) provoca um aumento no número de elétrons livres, embora também aumente o número de choques entre estes elétrons e os átomos da rede cristalina do material semicondutor. A diminuição da resistência elétrica, neste caso, deve-se ao fato de que o primeiro efeito predomina sobre o segundo.

A figura 1 mostra um gráfico da variação da resistência elétrica de metais (neste caso cobre) e semicondutores com a temperatura.

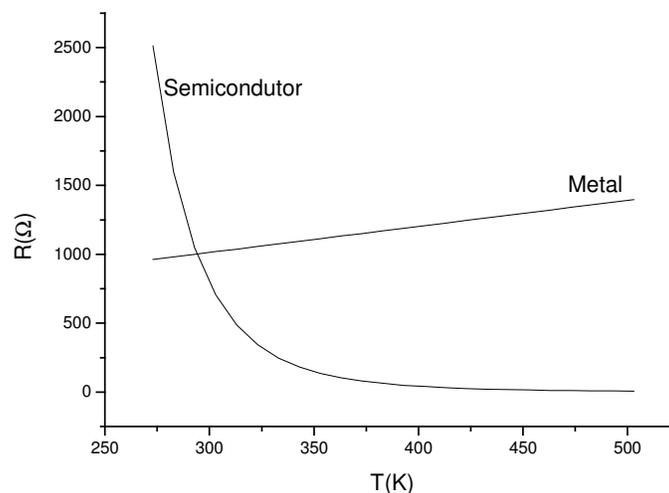


Figura 1

Variação da resistência elétrica com a temperatura em metais e semicondutores.

A função que descreve a curva para metais é:

$$R = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$$

...para o semicondutor é:

$$R = R_0 e^{\beta \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

onde:

α é o coeficiente de variação térmica da resistência (para o cobre $1,89 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$;

R é a resistência à temperatura T;

R_0 resistência à temperatura T_0 (normalmente temperatura ambiente);

β é a constante característica do material semicondutor, normalmente varia entre 3.000 e 4.000 K.

EXPERIMENTO

MATERIAL

Termistor, termômetro, aquecedor, multímetro, Becker, suporte.

PROCEDIMENTO

- 1- Meça a resistência do termistor a temperatura ambiente.
- 2- Monte o esquema abaixo. (usar gelo picado inicialmente)

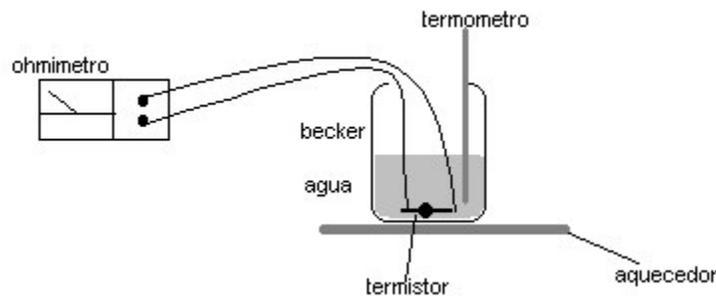


Figura 2
Montagem para medir a variação da resistência no termistor

- 3- Faça medidas da variação da temperatura anotando a resistência para cada temperatura. (faça em um intervalo de $5 \text{ }^\circ\text{C}$).
- 4- Repita o item 3 por 3 vezes e calcule o valor médio de cada medida.

(Obs. Colocar o termômetro próximo do termistor e trocar a água e o amianto na repetição).

5- Construa o gráfico de $R \times T(K)$ em um papel milimetrado. Qual função que melhor ajusta a curva?

6- Determine o valor de β fazendo o gráfico $\ln \frac{R}{R_0} \times \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right)$! Compare com o valor esperado.

BIBLIOGRAFIA

1 - Milton Zaro, Iedon Borchardt, Jorge Moraes. Experimentos de Física Básica – eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo. 1982.

2- Charles Kittel. Introdução à física do estado Sólido. 5ª ed. 1978.

GERADORES

INTRODUÇÃO

Geradores elétricos são dispositivos que mantêm entre seus terminais uma diferença de potencial. Há vários tipos de geradores:

- * geradores eletroquímicos: pilhas, baterias, etc...
- * geradores eletrodinâmicos: dínamos e alternadores.
- * geradores termoeletrônicos: onde dois metais diferentes recebem calor e geram tensão em seus terminais.

RESISTÊNCIA INTERNA DE UM GERADOR

Os geradores de tensão elétrica usada em circuitos elétricos não são ideais. Por diferentes razões existe sempre uma limitação na corrente I que eles podem fornecer. Este efeito pode geralmente ser representado associando estes dispositivos, além da correspondida tensão fornecida, ε , uma resistência interna r_i , em série com o gerador como mostra a figura 1.

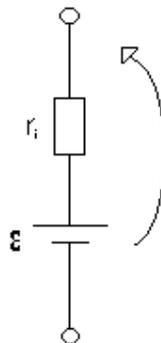


Figura 1

Representação de um gerador de tensão real

Do circuito do gerador real, observamos que a resistência interna causa uma queda da tensão de saída, quando este estiver alimentando uma carga, como mostra a figura 2.

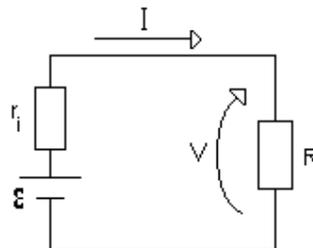


Figura 2

Gerador real em um circuito com carga.

A ddp entre os seus terminais, da carga, é dada pela lei de ohm:

$$V = \varepsilon - I r_i \quad \text{onde} \quad V = R I \quad (1)$$

A equação 1 é chamada de equação do gerador real.

A medida da tensão entre os terminais, V , em função da corrente que percorre o circuito, I , nos permite determinar a resistência interna do gerador a partir da equação 1, como mostra a figura 3.

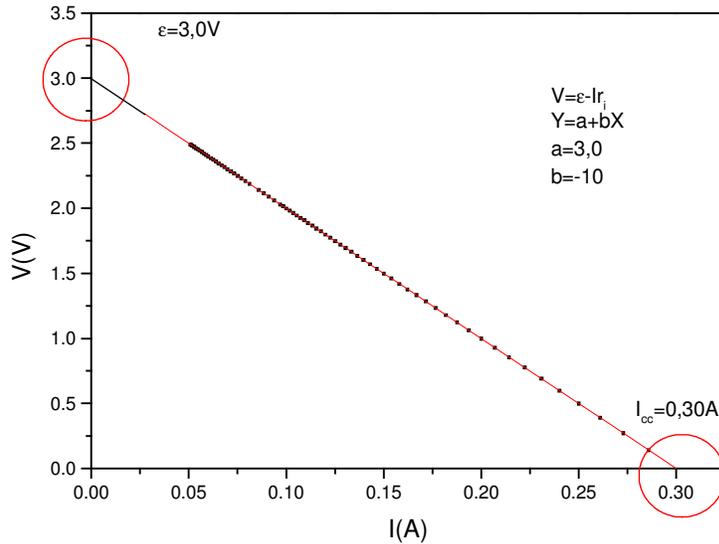


Figura 3

Gráfico para determinar a fem (ε), corrente de curto circuito (I_{cc}) e a resistência interna (r_i) de um gerador.

TRANSFERÊNCIA DE POTÊNCIA ENTRE GERADOR E CARGA.

Em muitos circuitos, é importante transferir eficientemente a potência elétrica do gerador para a carga. Então, é necessário determinar a condição na qual é possível ocorrer à máxima transferência de potência. Na figura 2, a potência dissipada pela resistência de carga é dada por:

$$P = R I^2 \quad \text{usando} \quad I = \frac{\varepsilon}{r_i + R}$$

$$\text{Portanto:} \quad P = \frac{\varepsilon^2 / R}{\left(1 + \frac{r_i}{R}\right)^2} \quad (2)$$

Avaliando a equação 2 podemos notar:

1- O numerador é a máxima potência que o gerador poderia fornecer à resistência de carga caso sua resistência interna fosse nula, $r_i = 0$. No entanto, parte da potência a ser oferecida pelo gerador é dissipada pela sua resistência interna r_i .

2- Fazendo o limite da potência quando R esta tende a zero e ao infinito, verifica-se que a potência dissipada pela resistência de carga é desprezível se esta se aproximar de zero ou se ela for muito grande;

Portanto, deve existir um valor de resistência de carga para a qual ocorre a máxima transferência de potência entre ela e o gerador. Para determinarmos esta condição, devemos diferenciar a equação 2 com relação à R e igualar a zero, isto é $dP/dR = 0$, fazendo isto encontraremos:

$$R = r_i$$

Esta condição máxima de transferência de potência ocorre quando a resistência de carga é igual à resistência interna do gerador. A determinação gráfica é dada pela figura 4:

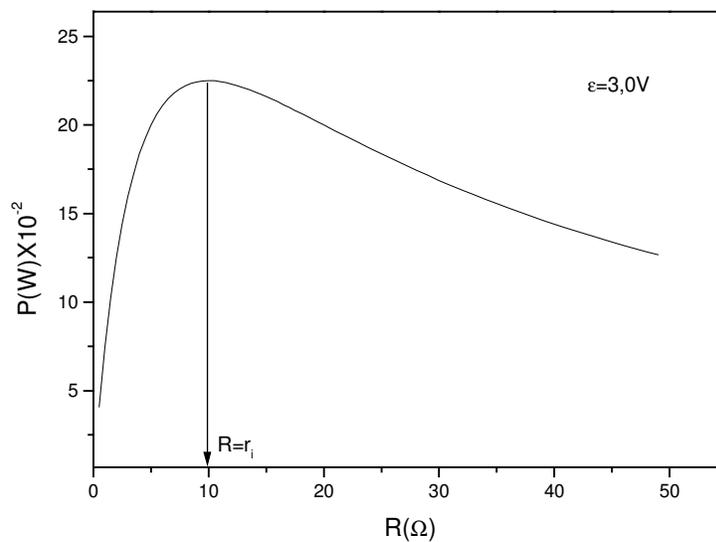


Figura 4
Determinação da resistência interna de um gerador pela potência máxima do gerador.

EXPERIMENTO

Determinação da Resistência Interna de um Gerador

MATERIAL

Gerador (caixinha que contém pilha e um resistor em série, este simulando a resistência interna);
Década de resistores
Voltímetro
Amperímetro

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito a seguir:

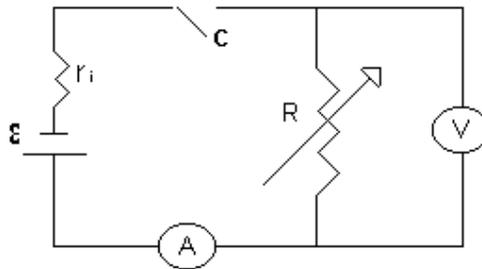


Figura 5
Circuito para determinar a resistência interna de um gerador.

- 2- Varie o valor de R (de 1000Ω até 30Ω) e anote os valores de V e I correspondentes, construindo uma tabela que contenha em torno de 12 pontos: **atenção!! Não mude de escala durante as medidas!**
- 3- Construa o gráfico $V \times I$ e determine a resistência interna do gerador (observe a equação 1);
- 4- Monte uma tabela da potência dissipada em R , $P_R = VI$, com R e faça um gráfico de $P_R \times R$ (veja figura 4). Determine r_i . Explique o resultado!
- 5- Compare o resultado do item 3 com o do item 4.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Tito Bonagama -Laboratório de Ensino - Departamento de Física- USP- São Carlos - vol 3- 1994.
- 2- Milton Zaro - Editor Sagra - Experimento de Física Básica - primeira edição - 1982.
- 3- Francisco Capuano e Maria A. Marino - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica – 10^a ed. 1995.
- 4- P. A. Tipler - Física 2a. 1990
- 5- D. Halliday e R. Resnick - Física 3 – 4^a ed. 1986.

REGRAS DE KIRCHHOFF

INTRODUÇÃO

O método de resolução de circuitos elétricos por substituição de uma associação de resistores pela resistência equivalente não é capaz de solucionar, por exemplo, circuitos com mais de uma bateria.

Regras bastantes simples, denominadas Regras de Kirchhoff, são aplicáveis a circuito de corrente contínua contendo baterias e resistores ligados de qualquer forma.

O enunciado destas regras é feito a seguir:

Regra 1) “ A soma algébrica dos aumentos e diminuições de potencial ao longo de qualquer malha fechada de qualquer circuito deve ser igual a zero”.

Regra 2) “ Em qualquer ponto num circuito, onde há divisão da corrente, a soma das correntes que chegam ao ponto é igual à soma das correntes que deles saem”.

A regra 1 denominada regra das malhas, é conseqüência do fato de que em um estado estacionário ou permanente, a diferença de potencial entre dois pontos se mantém e também que a variação de potencial ao longo de um “caminho” fechado é nulo, ou seja, o mesmo potencial é obtido ao se retornar ao ponto de partida.

A regra 2 , regra dos nós é conseqüência direta do princípio da conservação da carga elétrica.

A seguir são apresentados alguns exemplos simples do emprego das regras enunciadas anteriormente.

Exemplo 1:

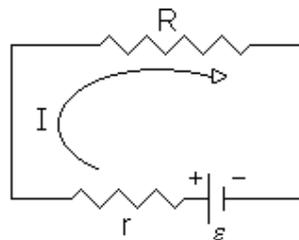


Figura 1

No sentido da corrente:

$$\begin{aligned}\varepsilon - rI - RI &= 0 \\ I &= I\end{aligned}$$

A resolução do sistema fornece:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$

Neste caso é fácil ver que o modo convencional de resolução de circuitos, através da resistência equivalente entre r e R , fornece o mesmo resultado. (Faça isto como exercício).

Outro exemplo, no qual aparece mais de uma bateria e que, portanto é resolvido através das regras de Kirchhoff é dado através do exemplo 2:

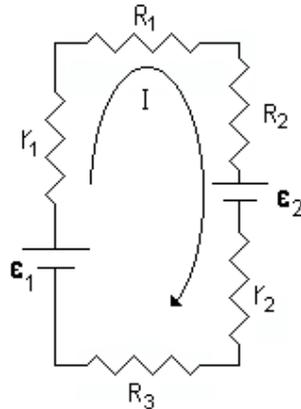


Figura 2

No sentido da corrente, partindo do ponto A.

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_1 - r_1 I - R_1 I - R_2 I - \mathcal{E}_2 - r_2 I - R_3 I &= 0 \\ I &= I \end{aligned}$$

A resolução do sistema fornece para o valor de I :

$$I = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2}$$

Deve-se notar que no caso em que $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$, $I < 0$ indicando que o sentido adotado para a corrente é contrário ao indicado na figura 2.

EXPERIMENTO

MATERIAL

Resistores (um de 47Ω e outros três com resistência de aproximadamente $1k\Omega$)

Duas fontes de CC

Voltímetro

Amperímetro

PROCEDIMENTO

1- Montar o circuito da figura 3:

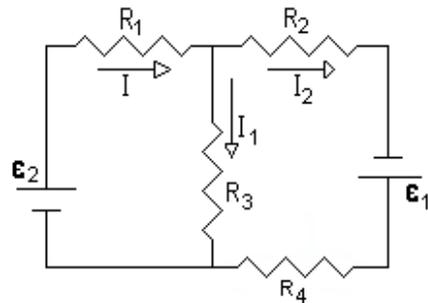


Figura 3

- 2- Adotar: $R_1 = R_3 = R_4 = 1000\Omega = 1\text{K}\Omega$; $R_2 = 47\Omega$; $\mathcal{E}_1 = 5\text{V}$; $\mathcal{E}_2 = 1,5\text{V}$.
- 3- Usando as regras de Kirchhoff, encontrar as correntes indicadas na figura 3.
- 4- Meça estas correntes e compare com os valores encontrados em 2.
- 5- Como faria para encontrar e medir a diferença de potencial nos resistores do circuito.
- 6- Confere os valores encontrados com a 1ª regra de Kirchhoff!

BIBLIOGRAFIA

- 1- Tipler, P. A, Física, volume 2a, Editora Guanabara Dois. 1990
- 2- Capuano, G., Marino, M. Laboratório de eletricidade e eletrônica. Ed.Érika, 1999.
- 3- Gonçalves, D. Física do científico e do Vestibular 3, 5ª ed. – 1974.

MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA INTERNA DE UM VOLTÍMETRO E UM AMPERÍMETRO

INTRODUÇÃO

Passagem de corrente elétrica por um condutor colocado em um campo magnético faz aparecer uma força sobre este condutor. Se possuir a forma geométrica sugerida na figura 1, isto é, se o condutor formar um quadro móvel, no qual está adaptado um ponteiro, este se desloca até onde permitem as molas espirais. Este dispositivo constitui o chamado galvanômetro de bobina móvel. É importante ressaltar que o galvanômetro exige passagem de corrente elétrica para seu funcionamento. O voltímetro, amperímetro e ohmímetro são construídos a partir de um galvanômetro.

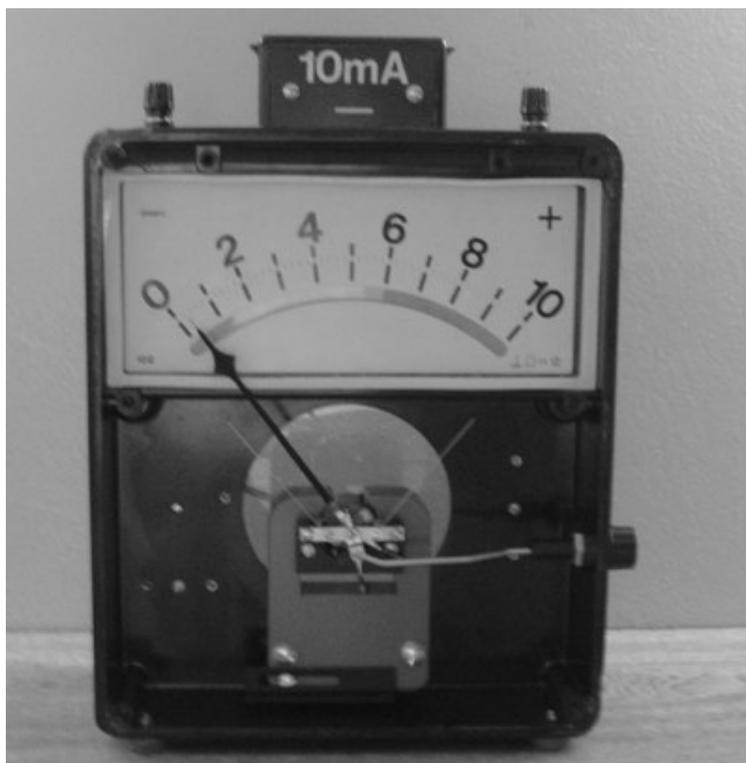


Figura 1
Galvanômetro de Bobina móvel.

Um galvanômetro pode ser convertido em um voltímetro com uma voltagem de fundo de escala de V_0 , conhecido a corrente que passa pelo galvanômetro I_g . Para fazê-lo é necessário adicionarmos um resistor em série com o galvanômetro como mostra a figura 2, onde esta indicada a resistência multiplicadora ou R_M .

No circuito da figura 2, temos a tensão V_0 dividida em duas partes: uma relativa à queda de tensão no galvanômetro, V_g , e a outra à queda de tensão na resistência multiplicadora, V_m . Como no circuito, temos uma associação em

série de dois resistores e a tensão será V_{oi} quando a corrente através do galvanômetro for I_g , podemos escrever:

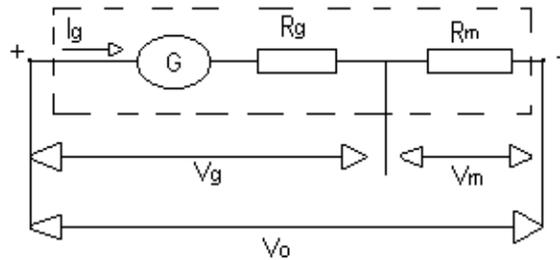


Figura 2
Vôltímetro a partir de um galvanômetro

$$V_o = V_g + V_m$$

Fazendo álgebra trivial (demonstre!), chegamos a:

$$R_m = \frac{V_o}{I_g} - R_g \quad (1)$$

Com esta relação podemos, conhecendo as especificações do galvanômetro (R_g e I_g), determinar o valor da resistência multiplicadora necessária para convertê-lo em um voltímetro de determinada escala.

Como exemplo vamos converter um galvanômetro, de $500\mu A$ de corrente no seu fundo de escala e 10Ω de resistência interna, em um voltímetro de 0-10V. Substituindo na equação 1 temos:

$$R_m = 19.990 \Omega$$

Para obtermos o voltímetro de 0-10V, associamos o resistor de 19.990Ω em série com o galvanômetro, com escala graduada de acordo com o novo valor e unidade de fundo de escala como mostra a figura 3:

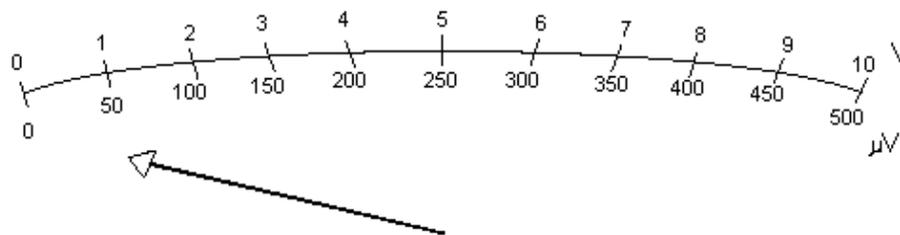


Figura 3
Graduação da nova escala do voltímetro

Um galvanômetro também pode ser convertido em um amperímetro com uma corrente de fundo de escala I_o , onde I_o é muito maior que I_g (corrente de fundo de escala do galvanômetro). Para isso, é necessário associarmos ao galvanômetro um resistor em paralelo, para dividir uma parte da corrente. Esta ligação é mostrada na figura 4, onde está mostrada a resistência interna do galvanômetro em série com este e o resistor de desvio R_s chamada de **shunt**.

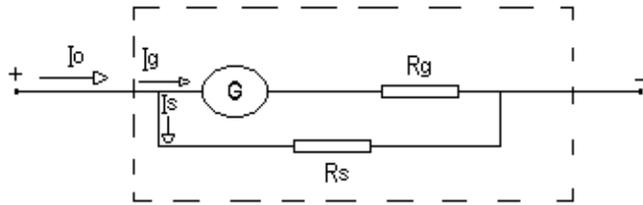


Figura 4
Amperímetro a partir de um galvanômetro

Como no circuito da figura 4 temos uma associação paralela de dois resistores podemos escrever:

$$R_g I_g = R_s I_s \quad \text{onde} \quad I_s = I_o - I_g$$

Portanto:

$$R_s = \frac{R_g I_g}{I_o - I_g} \quad (2)$$

Como esta relação podemos, conhecendo as especificações do galvanômetro (R_g e I_g), dimensionar o valor da resistência shunt, necessária para convertê-lo em um medidor de corrente de determinada escala I_o .

Como exemplo vamos converter um galvanômetro, de $500\mu\text{A}$ de corrente de fundo de escala e 10Ω da resistência interna, em um miliamperímetro de 0-100mA. Da equação 2 temos :

$$R_s = 0,05\Omega$$

Para obtermos o miliamperímetro de 0-100mA, associamos o resistor de $0,05\Omega$ em paralelo com a resistência do galvanômetro e a escala deste deve ser graduada de acordo com o novo valor de fundo de escala como mostra a figura 5:

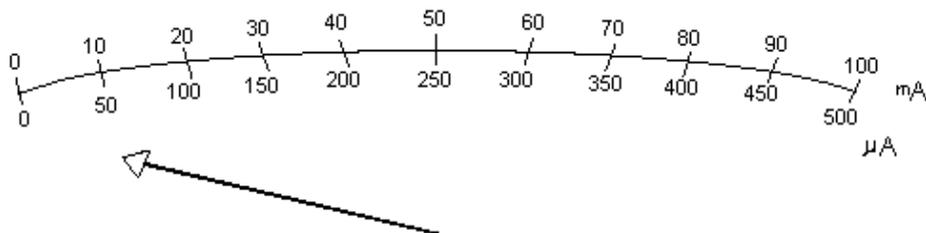


Figura 5
Gradação da nova escala do amperímetro

EXPERIMENTOS

MATERIAL

Fonte CC
Voltímetro
Amperímetro
Resistor de valor aproximado de $1\text{K}\Omega$

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 6.

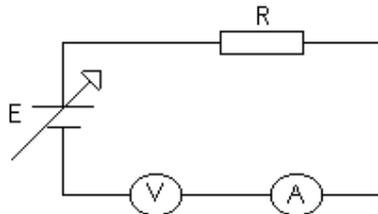


Figura 6
Circuito para determinar a resistência interna do voltímetro

2- Leia o valor de V e de I acusados pelos instrumentos, determine a razão V/I , que corresponde à resistência interna do voltímetro;

3- Se você estiver usando um multíteste poderá através da sensibilidade do instrumento, que normalmente vem indicado no painel do aparelho (Ex: $20.000\Omega/V$; $50.000\Omega/V$ etc...). Por exemplo, se seu aparelho mostra uma sensibilidade de $20.000\Omega/V$ e está sendo usado na escala de 12V , sua resistência interna, nesta escala, será de $20.000\Omega/V \times 12\text{V}$, portanto a resistência interna será de 240.000Ω ;

4- A resistência interna do voltímetro pode ser considerada infinita?

5- Faça o item 2 três vezes para cada fundo de escala e determine o valor mais provável da resistência interna.

6- Faça para um voltímetro digital!! Compare seu valor com o voltímetro analógico!!

7- Monte o circuito da figura 7:

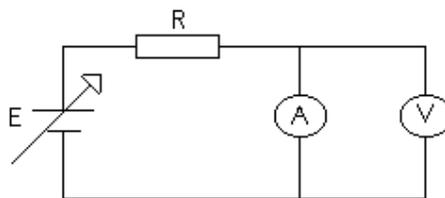


Figura 7
Circuito para determinar a resistência interna do amperímetro

- 8- Leia os valores de voltagem e corrente, acusados nos instrumentos e repita mais duas vezes mudando a voltagem de entrada no circuito.
- 9- Determine a razão $R = V/I$ que corresponde à resistência interna do amperímetro.
- 10- Faça os itens 7 e 8 para outros fundos de escala
- 11- meça seu valor médio e o erro obtido. Compare com o valor obtido para cada fundo de escala.
- 12- Por que você usou uma resistência em série com o amperímetro?
- 13- Faça com um amperímetro digital! Compare com o analógico!

BIBLIOGRAFIA

- 1- Milton Zaro et. Al. - Experimentos de Física Básica - eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo - Editora Sagra - 1982.
- 2- Francisco Capuano e Maria Aparecida Marino - Laboratório de eletricidade e eletrônica - Editora Érika - 1995.
- 3- Tipler - Física 2a.
- 4- Ramalho, Ivan, Nicolau e Toledo - Os instrumentos da Física - Editora Moderna - 1979.
- 5- Halliday e Resnick - Física 3 – 4ª edição - 1986.

EFEITO JOULE

INTRODUÇÃO

Suponha que um resistor esteja ligado a uma bateria ou outra fonte qualquer de tensão. Neste caso temos, o aparecimento de Energia Térmica (calor) no resistor.

Isto se deve ao fato de que os elétrons da corrente atravessam o resistor, colidem com átomos da rede cristalina do material que o constitui, elevando a amplitude de vibração destes átomos, ou seja, os elétrons da corrente elétrica transferem energia para os átomos do resistor e este dissipa energia na forma de calor, ocasionando o aumento de temperatura do mesmo.

Para transportar uma carga dq através de uma diferença de potencial V (exemplo: eletrodo de uma bateria) é preciso fornecer-lhe uma energia $dq(V)$. Logo, para manter uma corrente $i=dq/dt$ durante um tempo dt através de V , é preciso fornecer uma energia:

$$dW = (i \cdot dt)V$$

O que corresponde a uma potência (energia por unidade de tempo):

$$\frac{dW}{dt} \equiv P = i \cdot V$$

Em termos da resistência R do condutor, fica:

$$P = i^2 \cdot R = \frac{V^2}{R}$$

Essa conversão de energia elétrica em calor é conhecida como efeito Joule: foi descoberto por Joule no decurso de suas experiências sobre o equivalente mecânico da caloria.

A relação entre a energia aplicada E e quantidade de calor liberada Q é denominada equivalente elétrico do calor, J , referente à relação entre caloria e joule:

$$J = \frac{E}{Q}; \quad J = 4,186 J / Cal$$

Por conservação de energia temos: em um sistema adiabático (figura 1)

$$E_e = E_T$$

$$E(J) = JQ(Cal)$$

$$\frac{V^2 t}{R} = J(m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} + m_{\text{Al}} c_{\text{Al}}) \Delta T$$

$$J = \frac{V^2 t}{R \Delta T (m_{\text{agua}} c_{\text{agua}} + m_{\text{Al}} c_{\text{Al}})}$$

EXPERIMENTO

MATERIAL

1 fonte de alimentação
1 calorímetro
1 termômetro
Resistor (entre 2,2 - ~7,0 Ω) de chuveiro elétrico.
Suporte, cabos e jacarés.

PROCEDIMENTO

1- Monte o esquema da figura 1: (Coloque o amperímetro na escala de 20A)

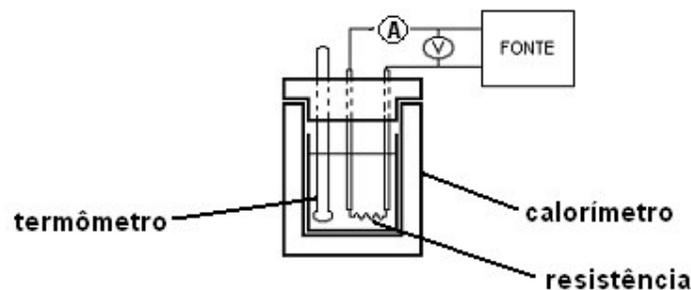


Figura 1

- 2- Meça o valor da resistência elétrica.
- 3- Meça a massa do recipiente de alumínio do calorímetro.
- 4- Coloque 100mL de água no recipiente de alumínio (determine o valor da massa).
- 5- meça o valor da temperatura da água no calorímetro e logo após ligue a fonte DC em 10V. (Cuidado para não esquentar muito a fonte. Observe se a corrente varie)
- 6- Após 10 minutos desligue a fonte e leia o valor da temperatura, após a estabilização.
- 7- Repeti os itens 4 ao 6 por três vezes.
- 8- Determine o valor de J com seu erro e compare com o valor teórico.
- 9- Por que o resistor quando aquecido pode transmitir calor para o líquido? Qual é a principal condição para que haja transferência de calor? Como calcula a energia dissipada no resistor?

BIBLIOGRAFIA

- 1- Milton Zaro, Iedon Borchardt, Jorge Moraes. Experimentos de Física Básica – eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo.
- 2- Moysés H. Nussenzveig. Curso de Física Básica – eletromagnetismo 3 – Editora Edgar.

CAPACITOR (CORRENTE CONTÍNUA - DC)

INTRODUÇÃO

Capacitor é um dispositivo útil para armazenar carga elétrica e energia. Consiste em duas placas isoladas uma da outra. Quando as placas estão ligadas a um carregador, por exemplo, uma bateria, há uma transferência de carga de um condutor para outro até que a diferença de potencial entre os dois condutores, (em consequência das cargas serem iguais e opostas), seja igual à diferença de potencial entre os terminais da bateria. A quantidade de carga separada (que é igual ao módulo da carga em qualquer dos condutores) depende da geometria do capacitor.

Capacitância (C) é a característica que o capacitor apresenta de armazenar mais ou menos cargas elétricas por unidade de tensão, isto é:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Onde, Q = carga elétrica e V = tensão.

A unidade da capacitância é o Farad = 1 Coulomb/volt.

CARGA E DESCARGA DE UM CAPACITOR

Ao aplicarmos em um capacitor uma tensão contínua, esse se carrega com uma tensão cujo valor depende do intervalo de tempo em que se desenvolverá o processo.

Observando a figura 1, quando o capacitor estiver descarregado ($V_c = 0$) em $t = 0$, fechamos a chave do circuito.

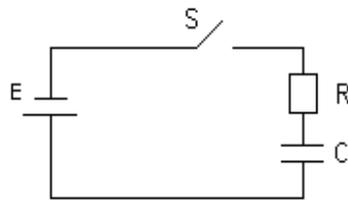


Figura 1
Circuito de carga de um capacitor

A corrente neste instante é máxima no circuito, $I_{\max} = E/R$. A partir daí, o capacitor inicia um processo de carga com aumento gradativo da tensão entre seus terminais e teremos uma diminuição da corrente até carregar por completo o capacitor. Este processo se dá obedecendo a uma função exponencial. A tensão no capacitor também varia exponencialmente na sua carga:

$$V_c = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

Onde $\tau = RC$

A equação 1 está mostrada graficamente na figura 2.

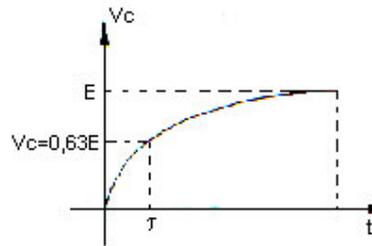


Figura 2
Carga de um capacitor

Na descarga do capacitor como mostra a figura 3, o capacitor está carregado. No instante $t=0$, fechamos a chave do circuito, o capacitor inicia sua descarga através do resistor R.

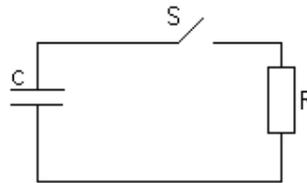


Figura 3
Circuito de descarga de um capacitor

Nesse instante a corrente no circuito será máxima a partir daí diminui obedecendo a uma função exponencial até atingir o valor zero quando o capacitor estiver totalmente descarregado. A tensão no capacitor será:

$$V_c = V_{\max} \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2)$$

Onde V_{\max} = a ddp máxima conseguida pelo capacitor no processo de carga.

A equação 2 está mostrada graficamente na figura 4.

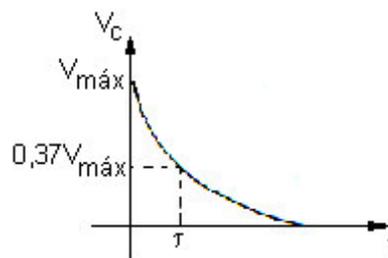


Figura 4
Descarga de um capacitor

EXPERIMENTO

MATERIAL

Fonte de alimentação DC
Multímetro
Cronômetro
Capacitor eletrolítico $100\mu\text{F}$
Resistor de $680\text{K}\Omega$
Papel monolog e milimetrado

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito conforme a figura 5;

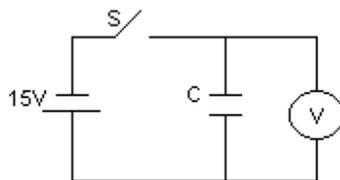


Figura 5

2- Ligue a fonte e observe o capacitor carregar. Logo após desligue o interruptor e utilizando o cronômetro tomar de 8 a 10 medidas do tempo de descarga do capacitor na resistência interna do voltímetro;

Atenção: observe a polarização do capacitor se estiver invertido poderá explodir.

3- Anote a escala do voltímetro utilizado, para poder calcular o valor da resistência interna do voltímetro;

4- Monte uma tabela de $V \times t$ e faça um gráfico de $V \times t$ e $\ln V \times t$ em papel milimetrado ou programa gráfico. É o que você esperaria?

5- Através do gráfico determinar o valor da capacitância (dica: observe a equação 2 e aplicar \ln nos dois lados da equação);

6- No gráfico do papel milimetrado, observe o ponto no qual $V_c = 0,37V_{\text{max}}$. Determine o tempo correspondente a este ponto sabendo que $\tau = RC$, determine C . Compare com o item anterior.

7- Monte o circuito da figura 6;

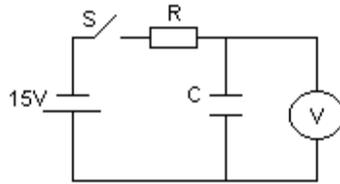


Figura 6

8- Use um voltímetro digital! Por que?

9- Ligue a fonte e anote de 8 a 10 valores do tempo de carga do capacitor. Construa a tabela de $V \times t$, e faça o gráfico de $V \times t$ em um papel milimetrado. É o que você esperaria?

BIBLIOGRAFIA

- 1- Francisco Gabriel Capuano e Maria Aparecida Mendes Marino - Laboratório de eletricidade e eletrônica - 1995.
- 2- Milton Zaro, Ildon Borchardt, Jorge Moraes - Experimentos de Física Básica - eletricidade, magnetismo, eletromagnetismo - 1982.
- 3- Tipler - Física 2a - 1984.
- 4- D. Halliday, R. Resnick - Física 3, 4^a ed. 1986.

OSCILOSCÓPIO

INTRODUÇÃO

O osciloscópio é um aparelho utilizado para medidas de voltagem (corrente contínua, DC ou corrente alternada, AC) e frequências. As leituras são obtidas graficamente através da tela do osciloscópio.

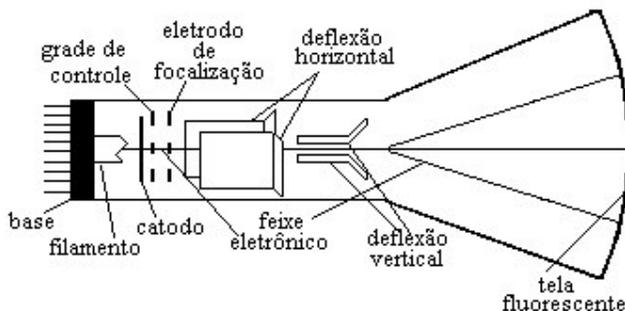


Figura 1
Osciloscópio de tubo de raios catódicos

Para entender o funcionamento básico do osciloscópio iremos dividi-lo em suas partes básicas:

* TRC - Tubo de Raios Catódicos - É composto de um tubo onde se faz vácuo no qual é inserido o canhão eletrônico - filamento aquecido - (figura 1). Esse filamento é responsável pela emissão e aceleração dos elétrons, onde os mesmos atingem uma tela fosforescente localizado na parte frontal do TRC, produzindo assim a luminescência necessária para visualização do gráfico.

*DEFLEXÃO ELETROSTÁTICA - Quando o feixe de elétrons parte do canhão eletrônico passa através de quatro placas (duas verticais e duas horizontais) onde o feixe é deflexionado horizontalmente ou verticalmente (veja figura 1). Cada placa é um potencial variável de acordo com o sinal de entrada varrendo toda a tela do TRC.

*FONTE DE ALIMENTAÇÃO - Se destina há suprir o aparelho, utilizando uma voltagem de corrente alternada e transformando-a em corrente contínua e mantendo-a estabilizada. Essa voltagem é distribuída para diversos pontos do osciloscópio.

*PAINEL DE CONTROLE - O osciloscópio é dotado de seletores com escalas para volts por divisão e tempo por divisão (veja figura 2). De acordo com o modelo do osciloscópio podemos ter o chamado traço duplo ou simples. O traço duplo permite analisar dois canais de entrada e conseqüentemente dois seletores de canais por divisão. Este tipo de osciloscópio é largamente utilizado pelas vantagens que oferece na comparação de sinais. O traço simples é menos utilizado por possuir apenas um canal de entrada dificultando assim seu desempenho na análise dos sinais.

Iremos agora detalhar melhor o painel de controle do osciloscópio de 20mhz 1020 traço duplo, que será usado em nossos experimentos. Observando a figura 2 temos:

OSCILOSCÓPIO DE TRAÇO DUPLO

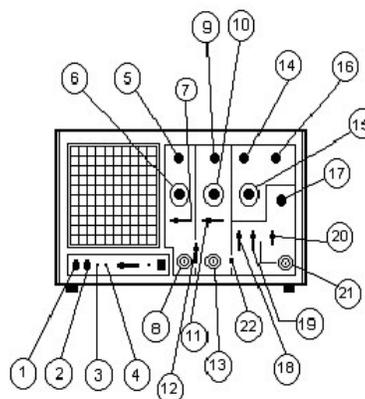
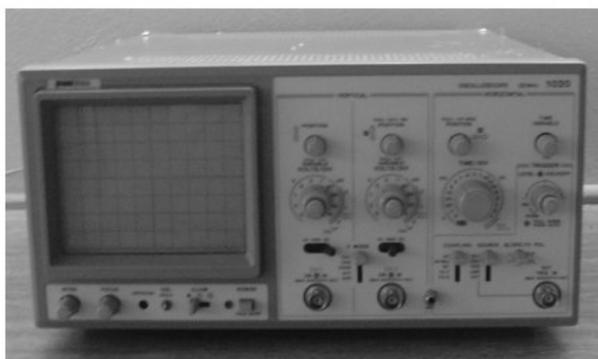


Figura 2
Painel do osciloscópio 20MHz model 1020 da Leader

1-Ajuste de intensidade - Este ajuste permite aumentar ou diminuir o brilho do traço;

2-Ajuste de foco - Permite ajustar a nitidez do traço;

3-Ajuste de rotação - Este comando permite ajustar a rotação do traço;

4-Ponto de teste para 5 Volts pico a pico - este ponto de teste serve como padrão para ajustar o osciloscópio antes de fazer qualquer medida;

5-Ajuste de posição vertical - Permite movimentar o traço para cima e para baixo na tela do osciloscópio;

6-Ajuste de voltagem por divisão - Seleciona escala de voltagem por divisão, isto é, de acordo com a escala selecionada teremos uma voltagem correspondente a cada divisão na tela do osciloscópio;

7-Chave seletora AC/DC - Seleciona o tipo de corrente de entrada: AC (corrente alternada), DC (corrente contínua) e GND (terra);

8-Tomada de entrada de sinais - Conector tipo BNC destinado à entrada do sinal para o amplificador vertical do canal 1;

9-Idem 5;

10-Idem 6;

11-Idem 7;

12-Chave Mode - seleciona o canal 1 ou o canal 2. O mode Chop insere os dois sinais ao mesmo tempo na tela. O mode Alt alterna os dois sinais ao mesmo tempo, e o mode Add soma os dois sinais;

13-Idem 8;

14-Ajuste de posição horizontal - Este comando permite posicionar o traço para a esquerda ou para a direita;

15-Chave seletora de tempo por divisão - Este ajuste permite a variação do período do traço na tela do osciloscópio, de acordo com a escala selecionada. Teremos um período correspondente a cada divisão, sendo esta no sentido horizontal;

16-Ajuste de variação do tempo - Permite a variação do período linearmente;

17-Ajuste de Trigger - Com este ajuste é possível fixar a forma de onda quando a mesma está sem sincronismo horizontal;

18-Chave Coupling - Esta chave permite cinco posições:

1- **ac** -Permite selecionar o modo corrente alternada para entrada de um sinal externo (trigg-in);

2- **hf-rej** - Permite medir uma forma de onda com interferências (ruídos) filtrando o sinal;

3- **dc** - Seleciona a entrada de forma de ondas em corrente contínua;

4- **TV-H** - Permite a separação de um sinal de vídeo na componente horizontal;

5- **TV-V** - Permite a separação de um sinal de vídeo na componente vertical;

19-Chave Source - Consiste em cinco posições;

1- **Alt** - Permite injetar um sinal externo alternado com um dos canais;

2- **CH-1** - Injeta o sinal externo no canal 1;

3- **CH-2** - Injeta o sinal externo no canal 2;

4- **Line** - Fixa o sinal externo de entrada através do comando trigger;

5- **Ext** - Entrada de sinal de sincronização externa.

20-Chave slope - Inverte a forma de onda (polarização);

21-Conector de entrada de sinal externo - Conector tipo BNC destinado à entrada do sinal para o amplificador horizontal;

22-Conector de terra.

Alem do osciloscópio analógico há também o osciloscópio digital como mostra a figura 3. A vantagem do digital é possuir algumas funções que o analógico não possui como por exemplo fixar uma imagem, gravar para um PC ou imprimir um resultado!



Figura 3
Osciloscópio digital LG

GERADOR DE SINAL

O instrumento que gera ondas é chamado de gerador de funções ou gerador de áudio ou gerador de sinal. Este aparelho é usado para entrada de sinal (alternado ou contínuo) no osciloscópio ou em um circuito elétrico para estudarmos o comportamento elétrico nos componentes deste circuito.

O gerador de sinal que usaremos em nossas experiências esta mostrado na figura 4a:

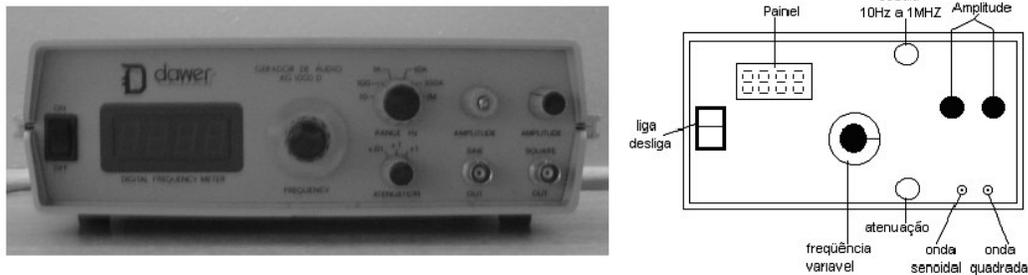


Figura 4a
Painel frontal do gerador de sinal.

Outro gerador usado é um com painel analógico, a figura 4b mostra os dois geradores com painel analógico e digital!

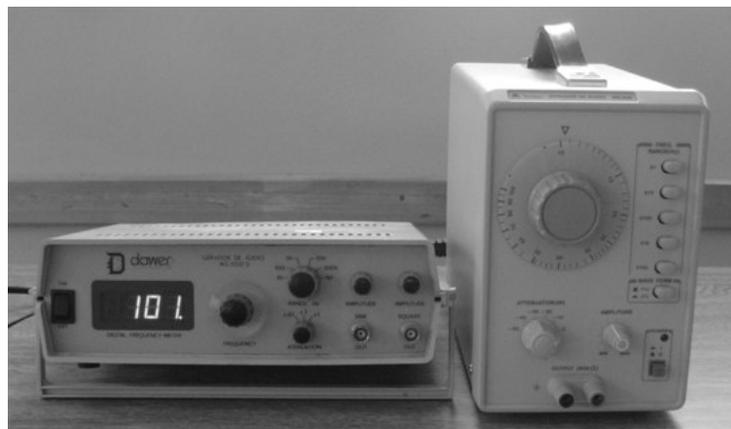


Figura 4b
Comparação dos geradores de sinal com painel digital e analógico.

VALORES CARACTERÍSTICOS DE TENSÃO E DE CORRENTE

Com uma onda senoidal, ca, de tensão ou corrente possui vários valores instantâneos ao longo do ciclo. Podem ser especificados os valores de pico,

valor médio, valor quadrático ou valor rms (Root-Mean-Square) ou ainda valor eficaz. Estes valores se aplicam tanto a corrente quanto à tensão.

O valor de pico é o valor máximo V_p ou I_p , é aplicado tanto para o pico negativo quanto ao pico positivo. O valor de pico a pico, (V_{pp}), também pode ser especificado e corresponde ao dobro do valor de pico quando os picos positivos e negativos são simétricos, veja figura 5:

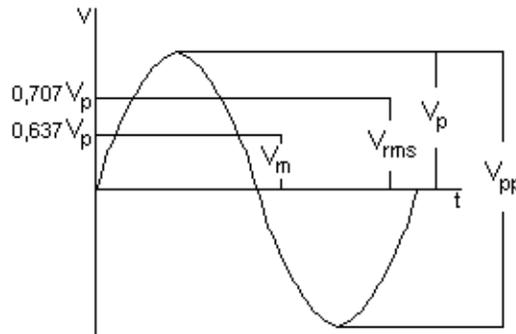


Figura 5
Valores da voltagem para onda senoidal

O valor médio corresponde à média aritmética sobre todos os valores numa onda senoidal para um meio ciclo. O meio ciclo é usado na média, porque sobre um ciclo completo valor médio seria zero (veja bibliografia). Então (Veja figura 4):

$$V_m = 0,637 V_p$$

Valor eficaz ou valor rms corresponde a 0,707 vezes o valor de pico (veja bibliografia) isto é:

$$V_{rms} = 0,707 V_p$$

O Valor rms de uma onda senoidal corresponde à mesma quantidade de tensão ou corrente contínua capaz de produzir a mesma potência de aquecimento.

MEDIDA COM OSCILOSCÓPIO

MEDIDA DE FREQUÊNCIA

Suponha que o botão do seletor de tempo esteja na escala de $20\mu s$, como mostra a figura 6. Isto significa que para divisão horizontal na tela temos uma variação de tempo de $20\mu s$. Se um ciclo completo da senóide ocupa 14 divisões na direção horizontal da tela, teremos um período de catorze divisões vezes $20\mu s$, portanto:

$$T = 14 \times 20\mu s = 280\mu s$$

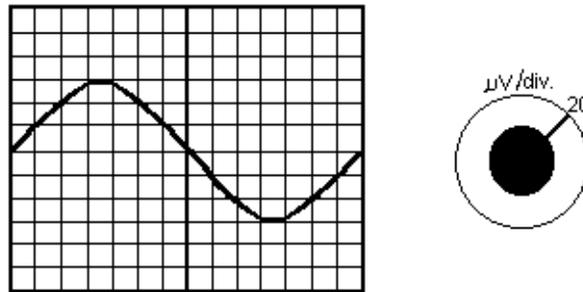


Figura 6
Medida da freqüência no osciloscópio.

Então o período será de $280\mu\text{s}$. Para obter a freqüência basta calcularmos o inverso da freqüência,

$$f = \frac{1}{T}$$

Então: $f = 3.571 \text{ Hz}$

MEDIDA DE VOLTAGEM

Há dois tipos de medidas de voltagem, corrente contínua e corrente alternada.

Corrente Contínua - Para medirmos tensão no osciloscópio selecionamos a chave DC. Suponha que a chave seletora de voltagem esteja na posição 20mV por divisão. Na tela do osciloscópio observamos um traço horizontal sobre a terceira divisão vertical. Então para obtermos a voltagem simplesmente multiplica o número de divisões verticais pela escala correspondente de 20mV (como mostra a figura 7). Então o valor da voltagem é: $V = 60\text{mV}$.

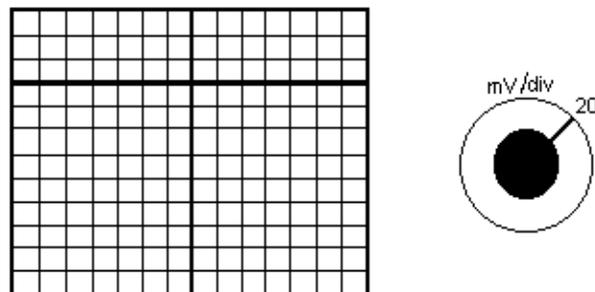


Figura 7
Medida de DC no osciloscópio

Corrente Alternada - colocar a chave seletora na posição AC, e suponha que a escala esteja em 10 mV por divisão. Observe na tela do osciloscópio quantas divisões verticais existem de pico a pico na forma de onda (veja figura 8). Para obtermos a voltagem pico a pico é só multiplicar o número de divisões

por 10mV, então $V_{pp} = 60\text{mV}$. Para encontrarmos o valor da voltagem de pico teremos que dividir por 2 o valor da V_{pp} que é, $V_p = V_{pp}/2$ então $V_p = 30\text{mV}$.

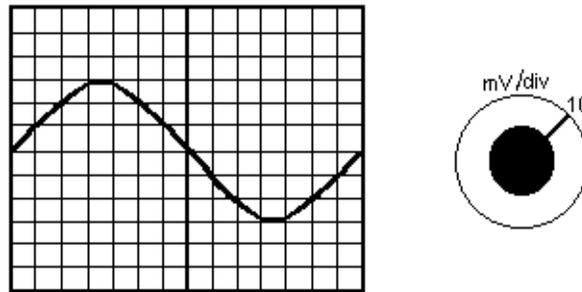


Figura 8
Medida de CA no osciloscópio

Finalmente para encontrarmos o valor eficaz (ou RMS) da voltagem teremos que multiplicar o valor de V_p por 0.707, isto é:

$$V_{rms} = 0,707 \times V_p$$

Portanto o valor Eficaz ou rms é:

$$V_{rms} = 21,21 \text{ mV.}$$

EXPERIMENTO

MATERIAL

Fonte variável
Osciloscópio
Gerador de sinais
Multímetro

PROCEDIMENTO

1-Monte o circuito da figura 9;

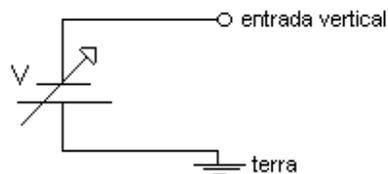


Figura 9

- 2-Ajuste a fonte de tensão com o voltímetro para os seguintes valores: 2, 5, 8, 10 e 15 Volts. Meça cada valor com o osciloscópio, anotando a posição do atenuador (chave volts/div) e o número de divisões do deslocamento. Faça uma tabela do valor medido com o voltímetro e com o osciloscópio;
- 3-Monte o circuito da figura 10;

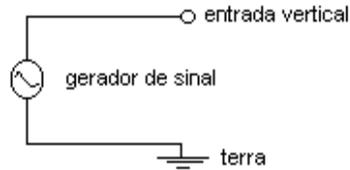


Figura 10

- 4-Ajuste o gerador de sinais para as freqüências 100Hz e 5kHz. Meça cada freqüência com o osciloscópio. Construa uma tabela da freqüência lida no gerador com a medida com o osciloscópio;
- 5-Faça o mesmo agora com o gerador de sinais em onda quadrada para freqüências de 250Hz e 1200Hz;
- 6-Monte o circuito da figura 11;

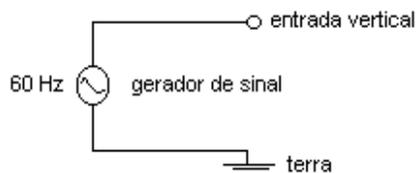


Figura 11

- 7-Ajuste o gerador de sinais para freqüências de 60Hz, onda senoidal. Utilizando o voltímetro na escala V_{AC} , ajuste a saída do gerador para valores de 1, 2 e 3 Volts (para isto mude o botão de amplitude do gerador). Para cada caso meça com o osciloscópio e anote respectivamente, a tensão V_p e a tensão V_{pp} . Feito isto calcule o valor da tensão eficaz (V_{rms}) e compare com o medido com o voltímetro.

BIBLIOGRAFIA

- 1- F.G. Capuano, M.A.M. Marino - Laboratório de eletricidade e Eletrônica - 1995.
- 2- Manual do osciloscópio 20 Mhz , traço duplo da Leader - Model 1020.
- 3- Sears, Zemansky, Yung - Física 3 - 1986.
- 4- Tipler – Física 2b - 1984.

FIGURAS DE LISSAJOUS

INTRODUÇÃO

Consideremos o caso em que nas placas horizontais do osciloscópio são aplicadas tensões senoidais de frequência igual ou múltipla da tensão aplicada a placa vertical. As figuras que se obtém na tela, devido à interação do feixe eletrônico com os campos elétricos variáveis e perpendiculares entre si, são denominados figuras de lissajous.

Em cada instante o feixe atingirá a tela em uma posição diferente. A situação volta a se repetir ao final de um tempo que é mínimo múltiplo comum dos períodos de variação das duas tensões. O efeito visual é o de uma trajetória contínua que se inscreve em retângulos cujos lados correspondem às deflexões máximas do feixe eletrônico nas direções vertical e horizontal respectivamente. Vamos entender melhor estas figuras analisando dois casos:

A- Quando as tensões senoidais aplicadas possuem a mesma frequência porém, com uma defasagem de θ .

Suponhamos que as tensões senoidais aplicadas na horizontal e na vertical, respectivamente, sejam X e Y e de mesma frequência ω . Então:

$$X = X_0 \text{ sen } (\omega. t) \quad (1)$$

$$Y = Y_0 \text{ sen } (\omega.t + \theta) \quad (2)$$

Onde θ é a defasagem entre as duas ondas.

Se eliminarmos o tempo e a frequência entre as duas equações, teremos a equação de uma elipse, da seguinte forma:

Multiplicando os dois lados da equação 1 por $\cos\theta$ teremos:

$$\frac{X}{X_0} \cos\theta = \text{sen } \omega.t.\cos\theta \quad (3)$$

e abrindo a equação 2 pela relação trigonométrica;

$$\frac{Y}{Y_0} = \text{sen } \omega.t.\cos\theta + \text{sen } \theta.\cos \omega.t \quad (4)$$

Subtraindo 4 de 3 teremos;

$$\frac{Y}{Y_0} - \frac{X}{X_0} . \cos \theta = \text{sen } \theta.\cos \omega.t \quad (5)$$

Elevando-se as equações 4 e 5 ao quadrado e somando-as;

$$\left(\frac{X}{X_0} \right)^2 - \frac{XY \cos\theta}{X_0 Y_0} + \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^2 = \text{sen}^2 \theta \quad (6)$$

A equação 6 é a equação de uma elipse qualquer que seja θ , elipse esta que está inscrita num retângulo de lados $2X_0$ e $2Y_0$ como mostra a figura 1:

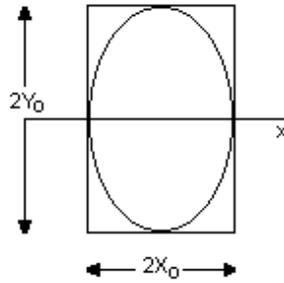


Figura 1

Há dois casos particulares para a equação 6;

1) para $\theta = 0^\circ$;

$$\left(\frac{X}{X_0} - \frac{Y}{Y_0}\right)^2 = 0$$

Equação de uma reta;

$$X = a \cdot Y$$

2) para $\theta = 90^\circ$; (supondo as duas ondas de mesma amplitude)

$$X^2 + Y^2 = 1$$

Que é a equação de uma circunferência.

Portanto na tela do osciloscópio deverá aparecer uma elipse quando tais tensões forem injetadas na horizontal e na vertical respectivamente. A forma da elipse dependerá do ângulo de defasagem θ . A figura 2 mostra como isto acontece na tela do osciloscópio:

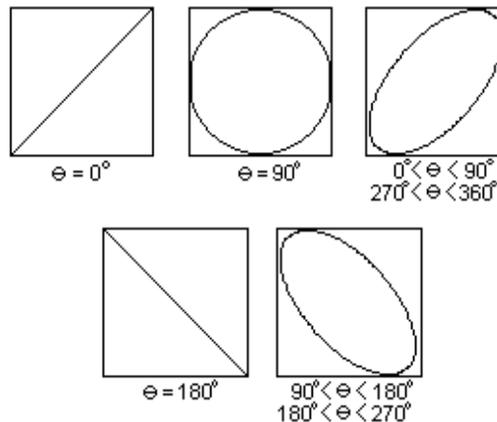


Figura 2

Figuras de lissajous para ondas de frequências iguais e fase diferente.

Para dois sinais quaisquer de mesma freqüência e defasados, teremos na tela do osciloscópio uma elipse como mostramos acima. Na figura 3 temos a composição de 2 sinais defasados e a elipse resultante.

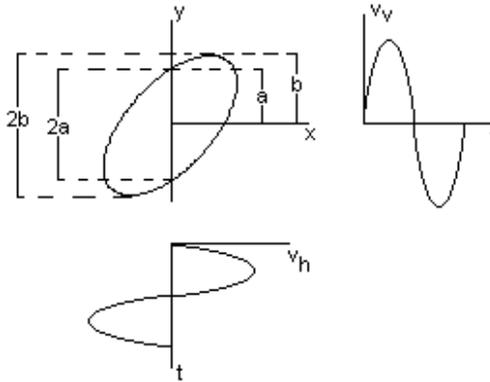


Figura 3
Medida da fase entre duas ondas

O sinal V_v obedece à função:

$$V_v(t) = V_{v\max} \cdot \text{sen}(\omega \cdot t + \Delta\theta)$$

Onde, $V_{v\max} = b$ e $V_v(t) = a$, para $t = 0$

Substituindo, temos:

$$\begin{aligned} a &= b \text{ sen}(\omega \cdot 0 + \Delta\theta) \\ a &= b \text{ sen} \Delta\theta \end{aligned}$$

Portanto:

$$\text{sen} \Delta\theta = \frac{a}{b}$$

$$\Delta\theta = \arcsen \frac{a}{b} \quad (7)$$

Para determinarmos a defasagem através da elipse obtida, basta obtermos os valores de \underline{a} e \underline{b} , onde \underline{a} representa a distância entre o centro da elipse e o ponto onde esta corta o eixo y e \underline{b} representa a distância entre o centro da elipse e o ponto máximo da figura. Para facilitar a leitura, podemos determinar os valores de $\underline{2a}$ e $\underline{2b}$ e calcular a defasagem utilizando a relação:

$$\Delta\theta = \arcsen \frac{2a}{2b}$$

B- As tensões aplicadas na horizontal e na vertical possuem freqüências diferentes.

Neste caso teremos na tela do osciloscópio figuras complexas. A figura 4 mostra o caso em que a frequência do sinal injetado na vertical é duas vezes maior que a frequência do sinal injetado na horizontal. A figura obtida é um oito deitado. Na figura 4 seria a mesma se a relação entre as frequências fossem 100 para 50 como 200 para 100, etc...A forma da figura depende então da relação entre as frequências. Claro que se conhecemos uma delas poderemos determinar a outra.

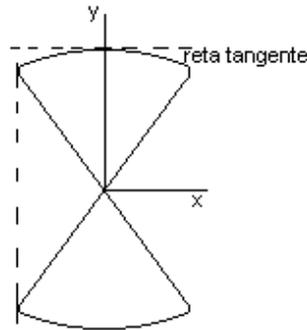


Figura 4

Medida de frequência usando figura de lissajous.

Uma maneira prática de se determinar a relação entre as frequências é verificarmos os pontos de tangência da figura obtida na linha horizontal N_h e vertical N_v . Da figura 4 vemos que a tangência horizontal corta uma vez e a tangência vertical corta duas vezes a figura, então:

$$1 f_h = 2 f_v \quad \text{portanto} \quad \frac{f_v}{f_h} = \frac{1}{2}$$

Generalizando teremos:

$$\frac{f_v}{f_h} = \frac{N_h}{N_v} \quad (8)$$

Onde f_v = frequência vertical
 f_h = frequência horizontal
 N_v = número de tangência vertical
 N_h = número de tangência horizontal

Esta técnica é válida para figuras fechadas.

Outra forma de determinar a frequência desconhecida (serve para qualquer figura, aberta ou fechada) é traçar uma reta na horizontal e vertical (figuras 4 e 5) na qual corta o maior número de pontos possíveis. Assim você terá número de pontos na horizontal (N_h) e vertical (N_v) e pode usar a equação 8.

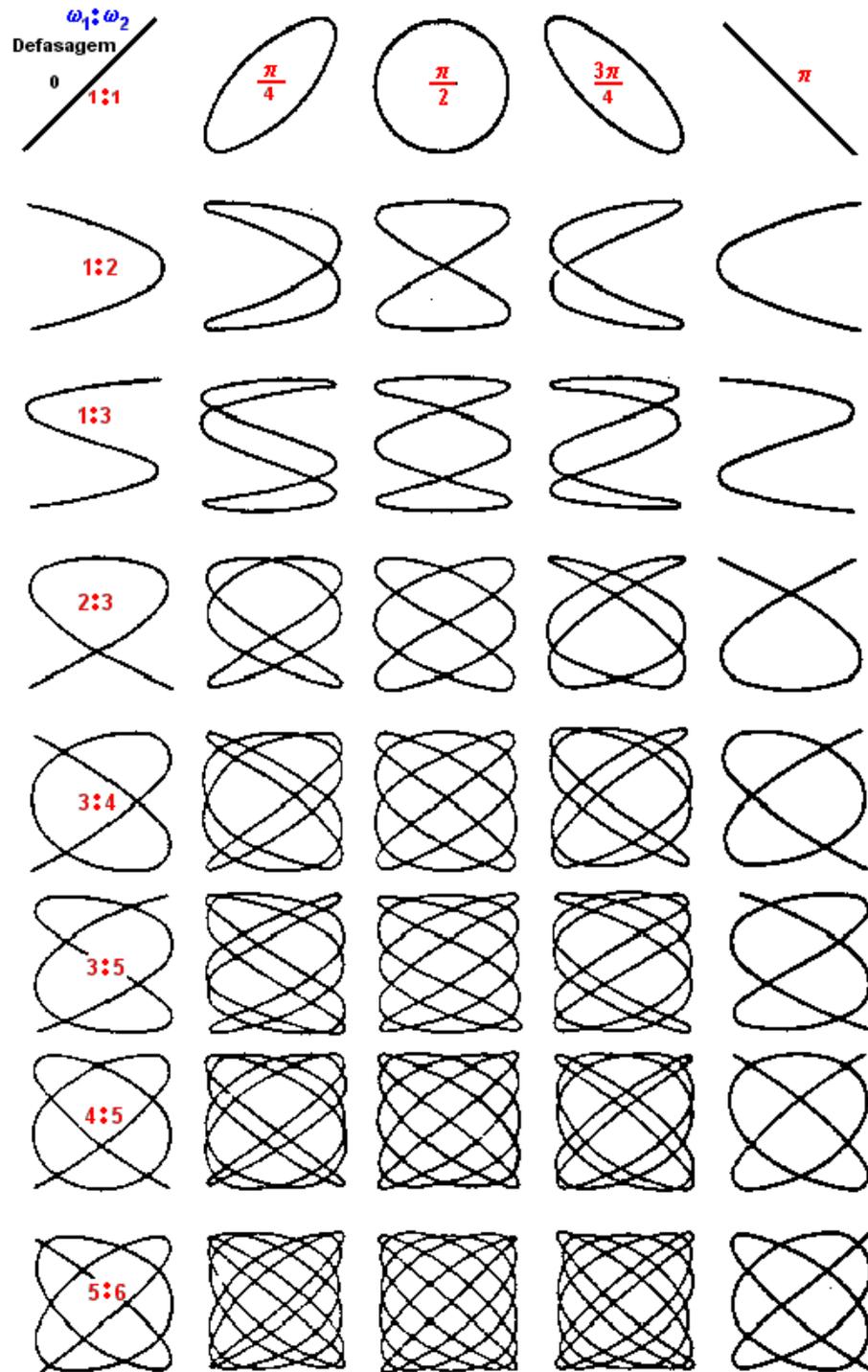


Figura 5
 Figuras de Lissajous em duas dimensões, mostra a razão da frequência e a fase entre os dois movimentos perpendiculares.

EXPERIMENTO

MATERIAL

Osciloscópio
Gerador de sinais
Cabos

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 5;

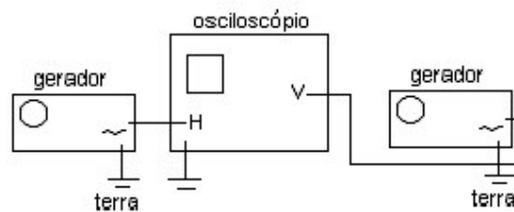


Figura 5

2- Meça a freqüência do sinal do gerador pelo osciloscópio e compare com o valor lido, faça para várias freqüências (utilize como comparação a figura 5).

Obs: A fase iremos observar na prática do circuito RC, RL e RLC!

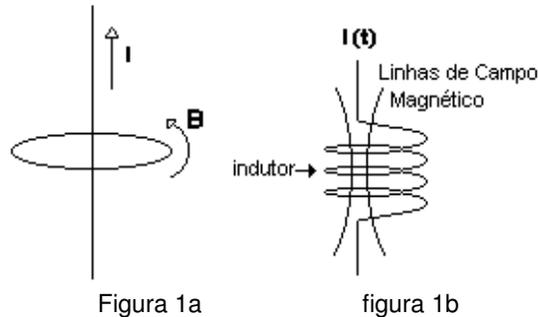
BIBLIOGRAFIA

- 1- F.G. Capuano e M.A.M. Marino - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica - 1995.
- 2- A. R. Salvetti - Apostila de laboratório de Física 4 - parte 1 - UFMS - 1988;
- 3- Manual do osciloscópio de 20 Mhz, traço duplo da Leader - model 1020.
- 4- http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_07.asp.
- 5- M. Nussenzveig – Física básica 2- 3^a ed. 1999.

CIRCUITO DE CORRENTE ALTERNADA (RC E RL)

INTRODUÇÃO

Sabemos que, quando uma corrente elétrica percorre um fio, um campo magnético B é induzido em torno dele, lei de Ampère, como mostra a figura 1a. O fio, por esta razão, é chamado de indutor. Em geral, um indutor é representado na forma de um solenóide como mostra a figura 1b.



Enquanto esta corrente for constante isto é, $dI(t)/dt = 0$, este campo magnético também será constante e não interferirá eletricamente no indutor. Porém, se esta corrente variar no tempo isto é, $dI(t)/dt \neq 0$, ocorrerão alterações de campo magnético, fato que induzirá uma tensão elétrica nos terminais do indutor, lei de Faraday, isto é:

$$V_L = L \frac{dI(t)}{dt}$$

Onde, L é o fator denominada indutância, cuja unidade é dado por Henry.

Analisaremos agora como se comporta a tensão nos terminais de um componente elétrico quando o mesmo é percorrido por uma corrente alternada do tipo $I(t) = I_0 \sin \omega t$. Primeiro com o resistor e depois com o capacitor e finalmente com o indutor.

NO RESISTOR:



Figura 2
Entrada de corrente alternada no
circuito resistivo

$$\text{Teremos: } V_r(t) = RI(t) = RI_0 \cdot \text{sen } \omega.t \quad (1)$$

NO CAPACITOR:

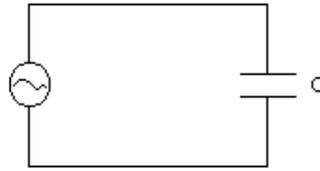


Figura 3
Entrada de corrente alternada no
circuito puramente capacitivo

$$V_c(t) = \frac{Q(t)}{C} = \frac{1}{C} \int I(t) dt$$

$$V_c(t) = -\frac{I_0}{\omega.C} \cos \omega.t = \frac{I_0}{\omega.C} \text{sen} \left(\omega.t - \frac{\pi}{2} \right) \quad (2)$$

$$V_c(t) = V_{co} \cdot \text{sen} \left(\omega.t - \frac{\pi}{2} \right)$$

NO INDUTOR:



Figura 4
Entrada de corrente alternada no
circuito puramente indutivo

$$V_L(t) = L \frac{dI(t)}{dt} = (L\omega)I_0 \cdot \cos(\omega.t) \quad (3)$$

$$V_L(t) = V_{L0} \cdot \text{sen} \left(\omega.t + \frac{\pi}{2} \right)$$

Das equações acima podemos notar que as tensões em cada um dos componentes elétricos apresentam uma defasagem em relação à corrente alternada que os percorre. No resistor não há defasagem isto é, a corrente do circuito e a tensão no resistor não estão defasadas. No capacitor há uma defasagem de 90° da corrente do circuito em relação à tensão no capacitor e

no indutor ocorre à mesma coisa, só que a tensão está adiantada de 90° em relação a corrente do circuito.

Podemos também observar que os termos precedentes da função senoidal da equação 1 definem a resistência do resistor, isto é : $R = V_R / I_0$ que é a lei de ohm!. Da mesma forma podemos definir grandezas equivalentes para o capacitor e o indutor.

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (4)$$

$$X_L = \omega \cdot L \quad (5)$$

A equação 4 é denominada reatância capacitiva e a equação 5 reatância indutiva e tem como unidade o ohm (Ω).

CIRCUITO RC

Um circuito RC em série está mostrado na figura 5, onde o circuito está sendo alimentado por uma fonte de tensão alternada, $V(t) = V \text{ sen}(\omega.t)$

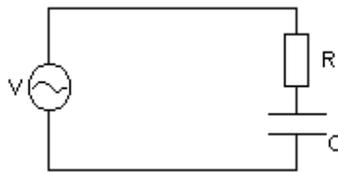


Figura 5
Circuito RC em série

A lei de Kirchhoff aplicada a este circuito fornece a equação diferencial:

$$V(t) = V_R(t) + V_C(t)$$

Resolvendo a equação diferencial chegaremos a seguinte solução:

$$V = \sqrt{(V_R)^2 + (V_C)^2}$$

$$V = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} \cdot I = Z \cdot I$$

Todo circuito em regime de AC oferece uma oposição à corrente elétrica denominada impedância (Z) e cuja unidade é ohms (Ω), no caso acima temos:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2} \quad (6)$$

Quando no circuito houver elementos reativos, a corrente do circuito estará defasada em relação à tensão, sendo que nestes casos, para devida análise do circuito, (invés de apenas resolver a equação diferencial) devemos construir o diagrama vetorial e obterem-se as relações.

Na construção do diagrama vetorial (figura 6) consideremos como referência a corrente, pois sendo um circuito em série, esta é a mesma em todos os componentes, lembrando que no resistor a tensão e a corrente estão em fase e no capacitor a corrente está adiantada de $\pi/2$ radianos (como foi mostrado anteriormente).

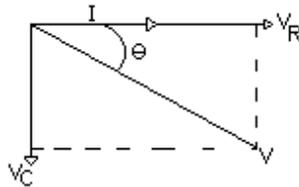


Figura 6
Diagrama vetorial do circuito RC

Do diagrama, a soma vetorial das tensões do resistor e do capacitor é igual a da tensão da fonte. Portanto:

$$V^2 = V_R^2 + V_C^2$$

Dividindo os dois lados por I^2 :

$$\left(\frac{V}{I}\right)^2 = \left(\frac{V_R}{I}\right)^2 + \left(\frac{V_C}{I}\right)^2$$

Mas,

$$\frac{V}{I} = Z; \quad \frac{V_R}{I} = R; \quad \frac{V_C}{I} = X_C$$

Portanto:

$$Z^2 = R^2 + X_C^2$$

(7)

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

Que é exatamente igual à equação 6.

O ângulo θ é a defasagem entre a tensão de entrada do circuito e a corrente do circuito e pode ser determinado através da figura 6;

$$\text{sen } \theta = \frac{V_C}{V} = \frac{X_C}{Z}$$

$$\cos \theta = \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z} \quad (8)$$

$$\tan \theta = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_C}{R}$$

CIRCUITO RL

O circuito RL em série é composto por um indutor e um resistor como mostra a figura 7a.

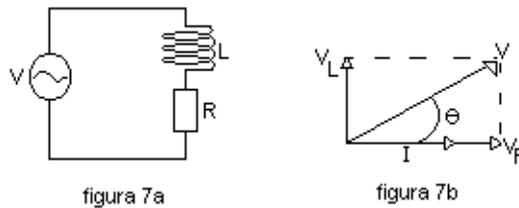


Figura 7
Mostra o circuito RL série e o diagrama vetorial

Da mesma maneira, como mostramos para o circuito RC, terá também uma equação diferencial para resolver, porém vamos mostrar diretamente o diagrama vetorial já que o resultado é igual e com o diagrama podemos visualizar melhor o circuito. Então da figura 7b temos:

$$V^2 = V_R^2 + V_L^2$$

Dividindo por I^2 ;

$$\left(\frac{V}{I}\right)^2 = \left(\frac{V_R}{I}\right)^2 + \left(\frac{V_L}{I}\right)^2$$

Onde:

$$\frac{V}{I} = Z; \quad \frac{V_R}{I} = R; \quad \frac{V_L}{I} = X_L$$

Logo:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad (9)$$

A equação 9 é semelhante a equação 7 para o circuito RC.

O ângulo θ é a defasagem entre a tensão e a corrente do circuito, da figura 7b podemos mostrar:

$$\begin{aligned}\text{sen}\theta &= \frac{V_L}{V} = \frac{X_L}{Z} \\ \text{cos}\theta &= \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z} \\ \text{tan}\theta &= \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}\end{aligned}\tag{10}$$

EXPERIMENTO

CIRCUITO RC

MATERIAL

Osciloscópio
Gerador de sinal
Capacitor 0,47 μ F
Resistor 1K Ω

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 8;



Figura 8

2- Varie a frequência do gerador de sinais de 100Hz à 1000Hz e para cada valor ajustado, meça e anote o valor da tensão de pico em cada componente do circuito. Calcule o valor da tensão eficaz de cada componente;

Obs: a cada mudança da frequência, corrija a tensão fornecida pelo gerador de sinal, de modo a mante-la constante, 3 ou 2 V_{pp} - use o botão da amplitude do gerador.

3- Monte o circuito da figura 9;

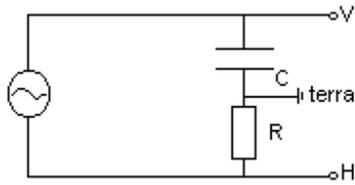


Figura 9

4- Determine a defasagem (figura de lissajous) entre a tensão no resistor e no capacitor. É o valor esperado?

5- Monte o circuito da figura 10;

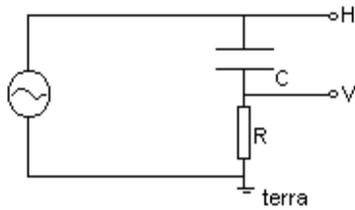


Figura 10

6- Determine o ângulo de fase entre a tensão de entrada e a tensão no resistor, para fazer determine 2a e 2b (veja figura de lissajous, apostila). Faça isto variando o gerador de sinais de 100Hz a 1 kHz;

7- Calcule os valores da fase teoricamente, veja equação 8. Compare estes valores com os obtidos no item 6.

CIRCUITO RL

MATERIAL

Osciloscópio
Gerador de sinal
Indutor de 9mH ou 2mH
Resistor de 1K Ω

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 11;

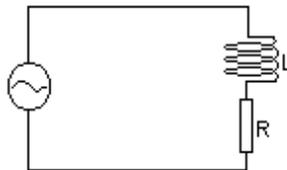


Figura 11

2- Varie a frequência do gerador de sinais de 10 kHz a 100 kHz e para cada valor ajustado, meça e anote o valor da tensão de pico em cada componente do circuito. Calcule o valor da tensão eficaz de cada componente.

Obs: a cada mudança da frequência, corrija a tensão fornecida pelo gerador de sinal, de modo a mantê-la constante, 0,5 ou 1 V_{pp} - use o botão da amplitude do gerador.

3- Monte o circuito da figura 12;

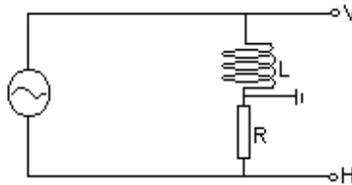


Figura 12

4- Determine a defasagem (figura de lissajous) entre a tensão no resistor e no indutor. É o valor esperado?

5- Monte o circuito da figura 13;

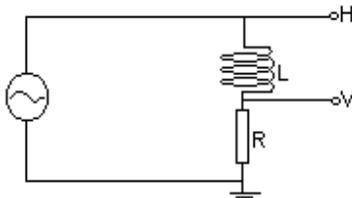


Figura 13

6- Determine o ângulo de fase entre a tensão de entrada e a tensão no resistor, para fazer determine 2a e 2b (veja figura de lissajous, apostila). Faça isto variando o gerador de sinais de 10 kHz a 100 kHz;

7- Calcule os valores da fase teoricamente, veja equação 10. Compare estes valores com os obtidos no item 6.

BIBLIOGRAFIA

- 1- F. G. Capuano; M. A. M. marino - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica - 1995.
- 2- T. J. Bonagamba - Apostila do Laboratório de Ensino - vol. 3 - Depto. Física USP São Carlos - 1994.
- 3- P. A. Tipler - Física 2 - 1990.
- 4- Sears, Zemansky e Young - Física 3 - 1986.

CIRCUITO DE CORRENTE ALTERNADA (RLC EM SÉRIE)

INTRODUÇÃO

Um circuito RLC em série alimentado por uma fonte de tensão alternada, $V(t) = V_0 \text{sen}\omega t$, está mostrado na figura 1.

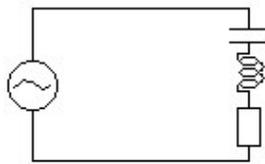


Figura 1
Circuito RLC série alimentado com fonte
de tensão alternada

Pela lei de Kirchhoff aplicada a este circuito fornece a equação diferencial:

$$V(t) = V_R(t) + V_C(t) + V_L(t) \quad (1)$$

Cuja solução nos permite escrever as seguintes expressões:

$$V_o = \sqrt{V_{R0}^2 + (V_{C0} - V_{L0})^2}$$

Abrindo a equação e isolando I temos:

$$V_o = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2} \cdot I_o \quad (2)$$

$$V_o = Z \cdot I_o$$

A equação 2 nos permite definir uma nova variável, Z , denominada impedância, na qual representa a resistência do circuito RLC em série e cuja unidade também é dada em ohms (Ω). Então a impedância do circuito é:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2} \quad (3)$$

Observando a equação 3 podemos notar que a impedância, Z , depende da frequência da corrente alternada, ω , fornecida pela fonte.

Uma situação particular ocorre neste circuito quando a frequência da tensão alternada é tal que:

$$\frac{1}{\omega.C} = \omega.L$$

Isto implica na menor impedância possível que o circuito pode oferecer, isto é:

$$Z = R$$

Ou seja, a impedância é puramente resistiva. Neste caso diz-se que o circuito é ressonante e a frequência de ressonância é dada por:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

A corrente que percorre o circuito, I_0 , é, portanto máxima já que a impedância é mínima. Caso a resistência deste circuito fosse nula, a impedância do circuito também seria e por conseqüência, a corrente que o percorreria seria infinita.

A figura 2 mostra a dependência da corrente que percorre o circuito RLC série I_0 , em função da frequência do gerador de tensão alternada, ν , para três valores diferentes de resistência.

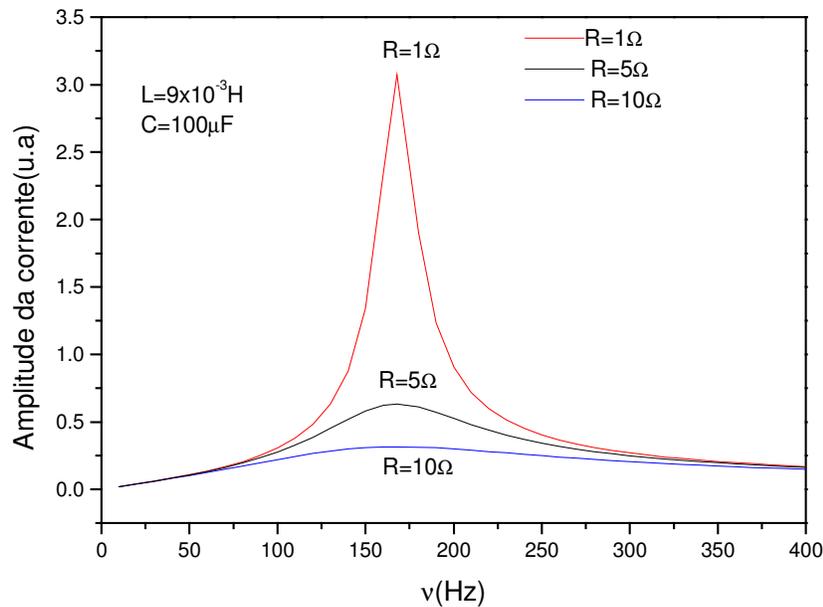


Figura 2
Circuito RLC ressonante

Todas estas equações poderiam ser mostradas, através do diagrama de fasores. No nosso caso como mostra a figura 3a. A figura 3b mostra um circuito RLC em série quando tem características indutivas e a figura 3a quando tem características capacitivas, que foi o circuito utilizado para mostrar as equações acima.

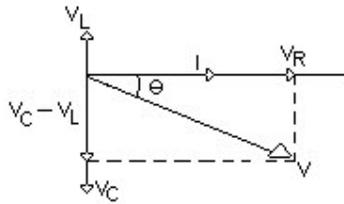


Figura 3a

Diagrama do fasor de um circuito RLC série com característica capacitiva

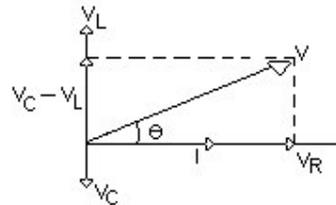


Figura 3b

Diagrama do fasor de um circuito RLC série com característica indutiva

O ângulo é a defasagem entre a tensão e a corrente no circuito observando a figura 3a temos:

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{V_C - V_L}{V} = \frac{X_C - X_L}{Z} \\ \cos \theta &= \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z} \\ \text{tg } \theta &= \frac{V_C - V_L}{V_R} = \frac{X_C - X_L}{R} \end{aligned} \quad (5)$$

Se fosse usada a figura 3b daria as mesmas equações, trocando as posições de V_L e V_C nas equações 5.

Da equação (5), $\theta = 0$ quando X_L for igual à X_C isto é, na ressonância!

EXPERIMENTO

MATERIAL

Osciloscópio
Gerador de Sinal
Indutor de 9mH, 23,5H ou 35mH
Capacitor 0,47μF
Reostato ou resistores de 2,5Ω, 12Ω

PROCEDIMENTO

1- Monte o circuito da figura 4

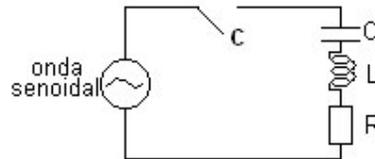


Figura 4

2- Determine a frequência de ressonância com os componentes do circuito (veja equação 4).

3- Varie lentamente a frequência (use frequências abaixo e acima da frequência de ressonância) da tensão alternada aplicada sobre o circuito RLC, meça a tensão nos terminais do resistor e determine a corrente que o percorre.

Obs: A cada mudança de frequência, corrija a tensão fornecida pelo gerador de modo a mantê-la constante! (coloque 0,5 V_{pp} ou 1,0 V_{pp} na entrada).

4- Colocando o osciloscópio para medir fase, figura de lissajous, varie a frequência do gerador de sinais até obter $2a = 0$. Anote o valor da frequência. Que frequência é esta? Observe as equações 5!

5- Faça um gráfico da corrente contra a frequência do gerador.

6- Repita o item 3 e 4 usando outro valor de resistência no circuito da figura 4.

7- No mesmo papel do item 5, faça um gráfico de $I \times f$.

8- Discuta o resultado a partir do conceito de ressonância.

BIBLIOGRAFIA

1- T. J. Bonagamba – Apostila de Laboratório de Ensino –Vol. 3 – USP, São Carlos – 1994.

2- F. G. Capuano e M.A.M. Marino - Laboratório de Eletricidade e Eletrônica – 1995.

3- J. A. Tipler – Física 2b –1990.

4- D. Halliday e R. Resnick – Física 4 –1984.

FILTROS: PASSA – BAIXA E PASSA – ALTA (EM CIRCUITOS RC SÉRIE)

INTRODUÇÃO

Do circuito da figura 1, onde temos onda senoidal de amplitude V_e . Se esta onda variar em baixas freqüências, a reatância capacitiva assume valores altos em comparação com o valor da resistência, dessa maneira, a tensão de saída, V_s , será praticamente igual à tensão de entrada. Se a entrada for de altas freqüências, a reatância capacitiva assume valores baixos em comparação com o valor da resistência, atenuando a tensão de saída para um valor praticamente nulo. Assim teremos passagem de sinal de baixas freqüências, sendo por isto denominado de filtro passa – baixa.

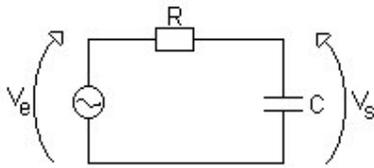


Figura 1
Filtro passa – baixa

Para uma determinada freqüência, quando a reatância capacitiva for igual à resistiva, teremos a tensão de saída igual à tensão no resistor que somadas vetorialmente resulta na tensão de entrada. Então:

$$V_e = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

sabendo que: $V_R = V_C = V_s$

Fazendo a substituição temos:

$$V_s = \frac{V_e}{\sqrt{2}} \quad (1)$$

Igualando o valor da reatância capacitiva com a resistência:

$$X_C = R$$

Então:

$$f_c = \frac{1}{2\pi.RC} \quad (2)$$

A freqüência f_c é denominada freqüência de corte.

A característica da tensão de saída em função da freqüência de um filtro passa – baixa é mostrado na figura 2.

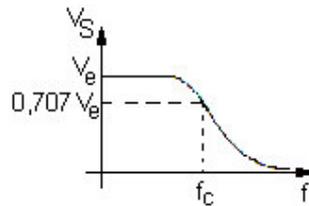


Figura 2

Curva Característica da tensão de saída de um filtro passa-baixo

Agora no circuito da figura 3, onde a tensão colocada é uma onda senoidal. Se esta onda variar em freqüências altas, a reatância capacitiva assume valores baixos em comparação com o valor da resistência, dessa maneira a tensão de saída será praticamente igual à tensão de entrada. Para freqüências baixas, a reatância assume valores altos em comparação com o valor da resistência, atenuando a tensão de saída para um valor praticamente nulo. Assim teremos passagem de freqüências altas, sendo por isto denominada de filtro passa – alta.

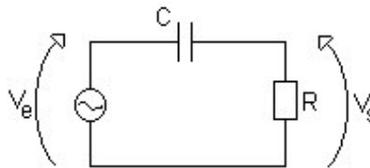


Figura 3

Circuito filtro passa - alta

Da mesma forma que no filtro passa – baixa, a freqüência de corte, onde $X_C = R$, a tensão de saída será dada por:

$$V_s = \frac{V_e}{\sqrt{2}}$$

$$e \quad f_c = \frac{1}{2\pi.RC}$$

A característica da tensão de saída em função da freqüência de um filtro passa – alta é mostrada na figura 4.

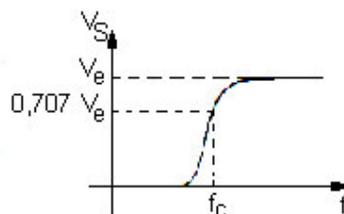


Figura 4

Curva característica da tensão de saída do filtro passa – alta

EXPERIMENTO

MATERIAL

Osciloscópio
Gerador de Sinal
Capacitor de $0.47\mu\text{F}$
Resistor de 1500Ω ou 120Ω

PROCEDIMENTO

1-Monte o circuito da figura 5. Determine a frequência de corte.

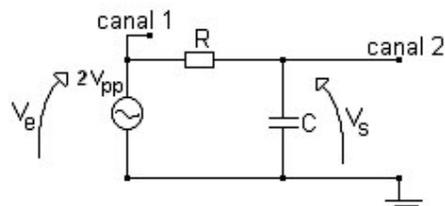


Figura 5

2- Varie a frequência do gerador, de 60 Hz à 3kHz, fazendo doze medidas, meça e anote a tensão de saída para cada frequência. Calcule o valor eficaz das tensões de saída.

Obs: a cada mudança de frequência, corrija a tensão fornecida pelo gerador de sinal, de modo a mantê-la constante, $2 V_{pp}$ ou menos – use o botão da amplitude do gerador.

3- Monte o circuito da figura 6.

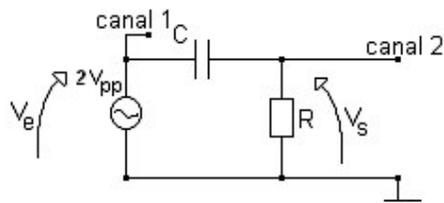


Figura 6

4- Repita o item 2.

5- Construa o gráfico de tensão de saída pela frequência para os itens 2 e 4.

6- Compare os gráficos com as figuras 2 e 4 da introdução.

BIBLIOGRAFIA

- 1- F. G. Capuano e M.A.M. Marino –Laboratório de Eletricidade e Eletrônica – 1995.
- 2- R. Feynman y R. B. Leighton – Física II – Electromagnetismo y Matéria – 1987.

DEMONSTRAÇÕES SOBRE ELETROMAGNETISMO

INTRODUÇÃO

1- FONTES DE CAMPO MAGNÉTICO

Condutor percorrido por uma corrente elétrica – Lei de Ampère

Quando um fio condutor é percorrido por uma corrente elétrica, surge em torno dele um campo magnético. A figura 1 mostra o efeito do campo magnético produzido na agulha de uma bússola quando pelo fio condutor passa uma corrente elétrica.

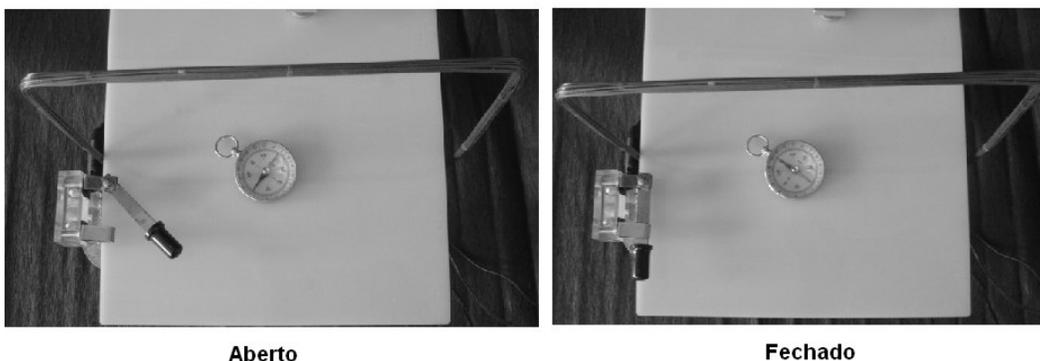


Figura 1

Corrente elétrica passando por fio condutor. Circuito aberto a esquerda e fechado a direita mostrando a mudança da posição do ponteiro da bússola.

A lei de Ampère estabelece que a integral de linha do campo magnético ao longo de qualquer trajetória fechada C veja figura 2, é proporcional à somatória das correntes que atravessam a mesma:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \sum i \quad (1)$$

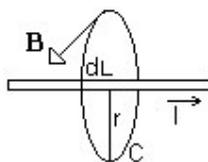


Figura 2

Linha do campo magnético ao longo de uma trajetória fechada

Utilizando a equação 1 podemos determinar as expressões dos campos magnéticos que surgem na figura 1.

Imãs Permanentes – Lei de Ampère

De forma similar ao caso anterior, onde elétrons percorrendo um fio condutor produzem um campo magnético, elétrons circulando em orbitais atômicos também podem produzi-lo, seguindo a mesma lei. Neste caso, os orbitais atômicos fazem a função do fio condutor.

Apesar destes movimentos serem muito complicados, podemos admitir neste modelo simples, que são equivalentes aos movimentos de elétrons em microespiras fechadas no interior de um imã permanente, como mostra a figura 3:

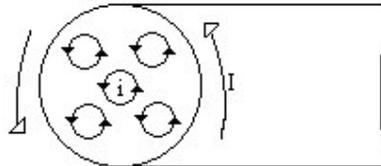


Figura 3
Modelo das correntes atômicas

Suponhamos que todas as microespiras, que aparecem na figura 3, são paralelas e percorridas por correntes de mesmo sentido de I . Quando o material é homogêneo, a corrente líquida no interior do material é nula, pois há o anulamento entre as correntes de microespiras vizinhas. No entanto, uma vez que não ocorre o mesmo na superfície do corpo, o resultado é que as microespiras externas produzem uma corrente superficial denominada corrente de Ampère, I . Esta corrente resultante, que percorre o cilindro no mesmo sentido das correntes existentes em cada microespira, faz com que este pedaço de imã permanente se comporte como o solenóide descrito no item anterior, veja figura 4:

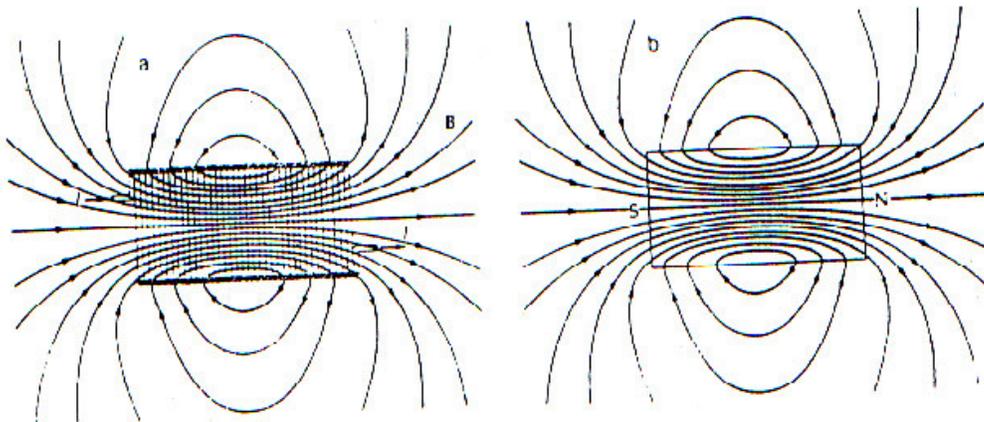


Figura 4
a) linhas de campo magnético de um solenóide; b) linhas de campo de uma barra de imã.

Tanto o solenóide quanto à barra imantada apresentam uma estrutura comum: a presença de dois pólos magnéticos norte e sul, os quais não surgem separadamente na natureza, por esta razão denominados dipolos magnéticos.

Logicamente, na presença de um campo magnético uniforme, todos os dipolos magnéticos sofrem um torque e se orientam ao longo do mesmo, de forma similar a agulha na presença do campo magnético terrestre (veja experimento da determinação do campo magnético terrestre). A figura 5 mostra as linhas de campo real de um ímã permanente em forma de U usando limalha de ferro, a foto é vista de cima com o ímã em pé!

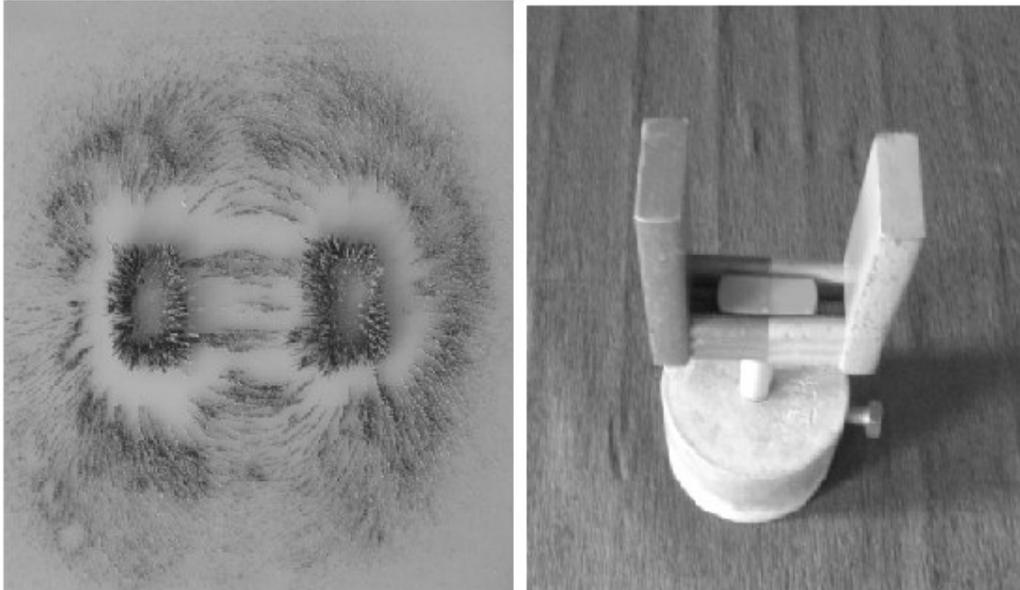


Figura 5
Linhas de campo **B** de um ímã permanente na forma de U (vista de cima).

2- LEI DE FARADAY

Fluxo Magnético

Para que possamos entender a lei descoberta por Faraday, devemos inicialmente conhecer o conceito de fluxo magnético. Consideremos uma superfície plana imaginária, de área A , colocada dentro de um campo magnético uniforme **B**. Traçando-se uma normal N à superfície, designemos θ o ângulo formado por esta normal com o vetor **B**, veja figura 6:

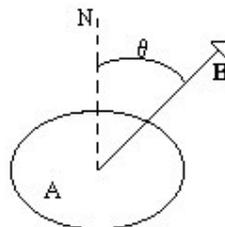


Figura 6
Fluxo do campo **B**.

O fluxo magnético que percorre através desta superfície é representado pela letra grega ϕ e definido pela seguinte expressão:

$$\phi = BA \cos \theta \quad (2)$$

O conceito de fluxo magnético através de uma superfície pode ser interpretado em termos do número de linhas de indução que atravessam esta superfície. Quanto maior o número de linhas de indução que atravessam a superfície, maior será o valor do fluxo magnético.

Lei de Faraday

Se, ao invés de termos uma superfície plana imaginária submersa em um campo magnético, tivermos uma espira plana qualquer, constituída de um fio condutor de área A, dois fatos poderão ocorrer:

- 1) Se o fluxo magnético não se altera no tempo nada ocorrerá;
- 2) Se o fluxo magnético se altera no tempo, por um motivo qualquer, surgirá uma tensão elétrica na espira, denominada força eletromotriz induzida (fem), V, cuja intensidade é dada por:

$$V = -\frac{d\phi}{dt} \quad (3)$$

A figura 7 mostra a variação da fem quando o fluxo magnético varia no tempo.

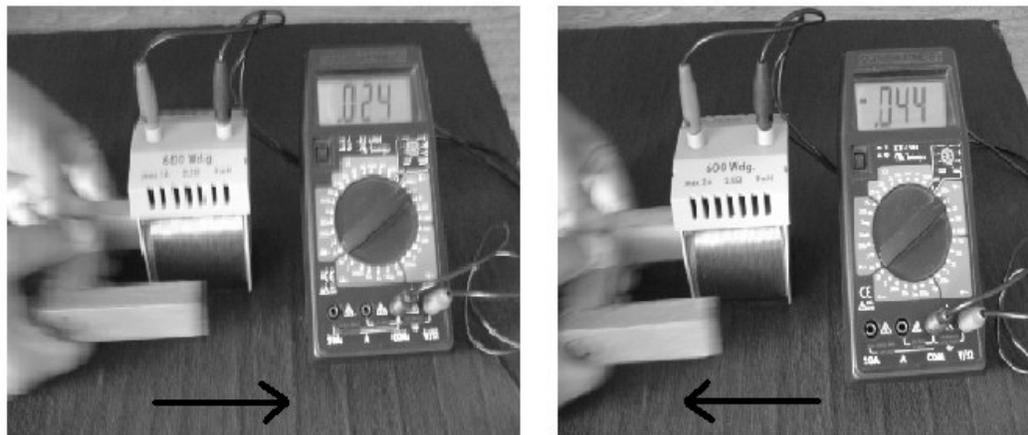


Figura 7
Variação do fluxo **B** no tempo em uma bobina.

Geralmente, a fem é observada através da corrente que percorre o circuito.

O sentido da corrente elétrica induzida pela variação temporal do fluxo magnético é tal que, por seus efeitos produzidos, ele se opõe à causa que lhe deu origem.

3- INFLUÊNCIA DO MEIO NO VALOR DO CAMPO MAGNÉTICO

Nos itens anteriores, analisamos os campos magnéticos criados por condutores percorridos por correntes elétricas sem, entretanto, nos referirmos ao meio no qual eles se encontravam. Verifica-se experimentalmente, que o valor do campo magnético em torno de um fio percorrido por uma corrente elétrica é diferente daquela que existiria caso o mesmo se encontrasse no ar (rigorosamente falando no vácuo, porém a diferença entre as duas situações é insignificante). Portanto, a presença de um meio material provoca alterações na intensidade do campo. A seguir faremos uma análise destas modificações, procurando entender como e por que elas ocorrem.

Imantação de um Material

Quando um campo magnético atua em um meio material qualquer, este meio sofre uma modificação e dizemos que ele se imanta (ou se magnetiza). Para entendermos em que consiste esta imantação, devemos nos lembrar de que existem, no interior de qualquer substância, correntes elétricas elementares, geradas pelos movimentos dos elétrons nos átomos constituintes da matéria. Estas correntes elementares criam pequenos campos magnéticos, de modo que cada átomo pode ser considerado como um pequeno imã, ou seja, um imã elementar como mostra a figura 8, (discutido no item 1):

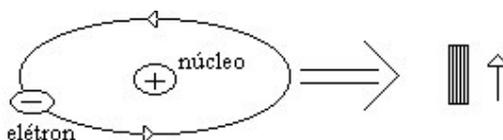


Figura 8
Considerando um átomo como um pequeno ímã.

No interior de um material no seu estado normal (não magnetizado), estes ímãs elementares encontram-se orientados inteiramente ao acaso, como mostra a figura 9a, de modo que os campos magnéticos criados pelos átomos da substância tendem a se anular, sendo nulo o campo magnético resultante estabelecido pela totalidade destes ímãs elementares.

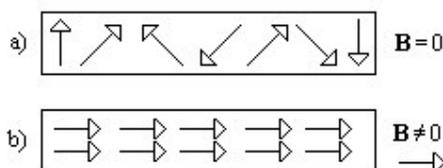
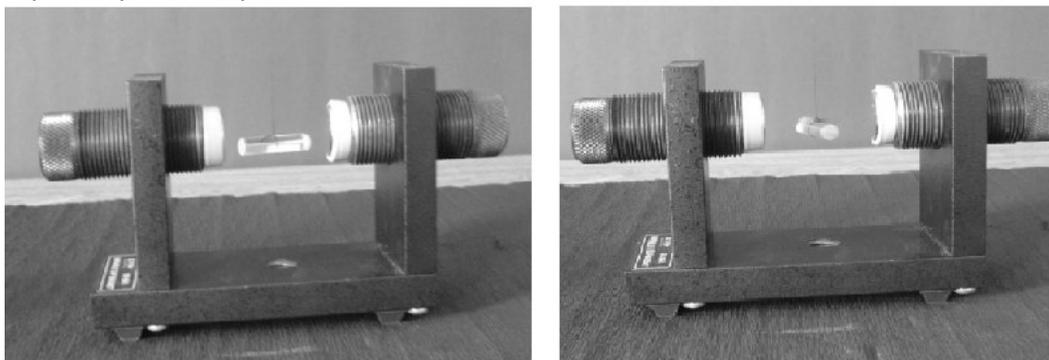


Figura 9
a) barra não imantada e b) barra imantada

Entretanto, se este material for submetido a um campo magnético B , este campo atuará sobre os ímãs elementares tendendo a orientá-los como mostra a figura 9b. Em virtude desta orientação, os campos magnéticos elementares dos átomos se reforçam e o material passa a apresentar efeitos magnéticos apreciáveis. Nestas condições, dizemos que a substância está imantada ou magnetizada, ou seja, o material passa a se comportar como um ímã.

De acordo com as relações das substâncias à presença de um campo, elas podem ser divididas em três grupos distintos:

1- Substâncias diamagnéticas: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, tem seus ímãs elementares orientados em sentido contrário ao campo aplicado, implicando em um campo magnético resultante um pouco menor que o inicial. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância também desaparece, indicando que a amostra desmagnetizou-se. Ex: vidro, bismuto, cobre, água, chumbo, etc. A figura 10 mostra um material diamagnético quando submetido a um campo B , veja que o vidro é repelido pelo campo B !



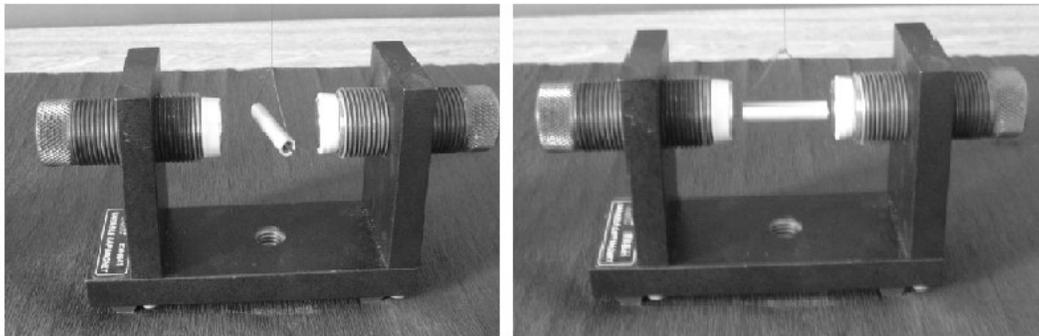
Antes

Depois

Figura 10

Vidro na presença de campo magnético forte $\approx 0,8T$.

2- Substâncias paramagnéticas: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, se imantam de maneira a provocar um pequeno aumento no valor do campo magnético. Nestas substâncias, os ímãs elementares tendem a se orientar no mesmo sentido do campo magnético estabelecido por eles e terá o mesmo sentido do campo aplicado, fazendo com que o campo resultante tenha um valor um pouco maior do que o inicial. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância também desaparece, indicando que a amostra desmagnetizou-se. Ex: alumínio, ar, cromo, estanho, platina, etc. A figura 11 mostra um material paramagnético quando submetido a um campo B , veja que o alumínio é atraído pelo campo B !



Antes

Depois

Figura 11

Alumínio na presença de campo magnético forte $\approx 0,8T$.

3- Substâncias ferromagnéticas: são aquelas que, ao serem colocadas em um campo magnético, se imantam fortemente, de modo que o campo magnético que eles estabelecem está ao longo do mesmo sentido do campo aplicado e possui uma intensidade muito maior que a dele. O campo magnético resultante pode se tornar centenas e até milhares de vezes maiores do que o campo inicialmente aplicado. Quando o campo aplicado é desligado, o campo produzido pela substância não desaparece, indicando que a amostra se manteve magnetizada. Para destruir as propriedades ferromagnéticas adquiridas por certas substâncias, devemos aquece-las acima de uma certa temperatura, denominada temperatura de Curie. Ex: ferro, cobalto, níquel, gadolínio, disprósio e ligas especiais ($X\%Fe$, $Y\%C$), permalói ($55\%Fe$, $45\%Ni$), etc.

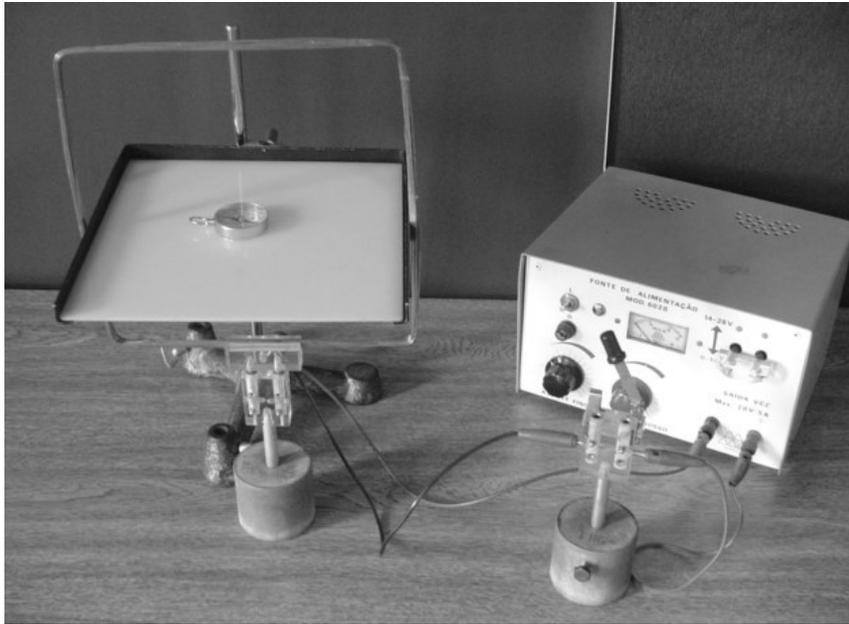
EXPERIMENTOS

MATERIAL

Gerador DC, Imã; Bússola; Multímetro; Fios, Suportes; pedaços de vidro e alumínio.

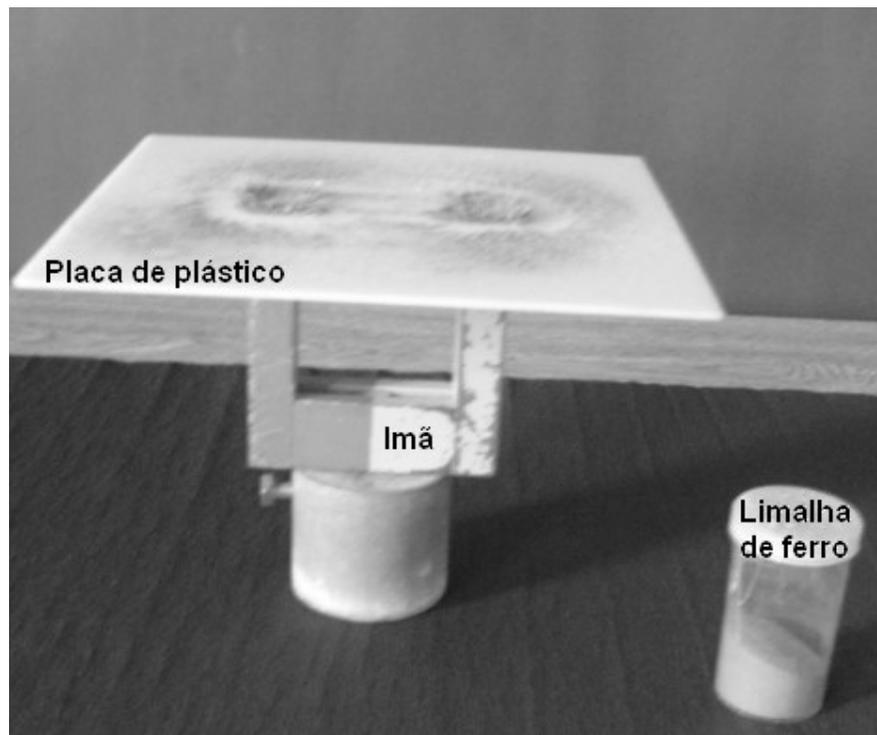
PROCEDIMENTO

- 1- Monte o experimento abaixo.



2 – Ligue e desligue a chave e observe a bússola (atenção use 1 V no circuito!). Explique!

3 - Monte o experimento abaixo e explica a sua observação!

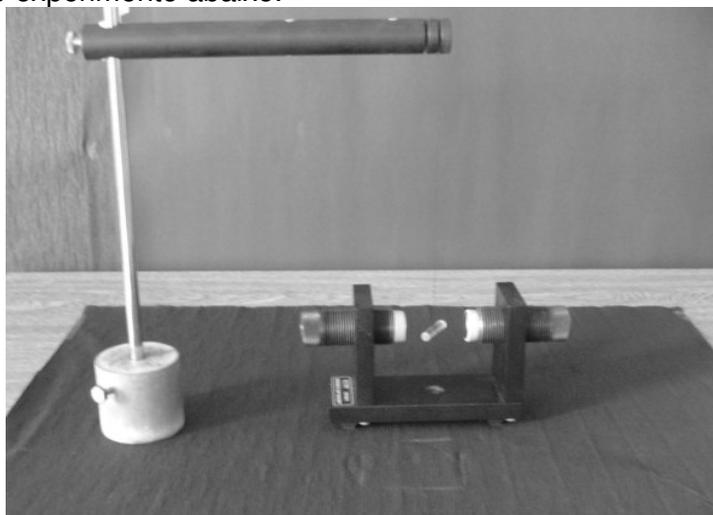


4 – Monte o experimento abaixo e explica a sua observação!



5- Faça variar o fluxo de \mathbf{B} como mostra a figura 7! Explique em detalhes a sua observação!

6 - Monte o experimento abaixo.



7 – Faça o experimento acima com vidro e alumínio e explica a sua observação!

BIBLIOGRAFIA

- 1- T.J.Bonagamba – Apostila do laboratório de Ensino – vol.3 –Depto. Física USP São Carlos – 1994.
- 2- Tipler – Física 2a- 1990.
- 3- Sears, Zemansky, Young – Física 3 –1986.
- 4- Ramalho et. Al. – Os fundamentos da Física 3 –Eletricidade – 1984.
- 5- Alvarenga et. Al. - Curso de Física 3 –1987.

DETERMINAÇÃO DO CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA (COMPONENTE HORIZONTAL)

INTRODUÇÃO

Sabemos que a terra possui um campo magnético ao seu redor, e para determiná-lo é preciso saber a sua inclinação magnética e sua declinação magnética. A primeira é medida através da bússola vertical, que possui um eixo de rotação na horizontal e a declinação magnética é medida através da bússola que possui um eixo de rotação na vertical (é a bússola comum que os navegadores usam). Neste experimento iremos medir a declinação magnética local.

Normalmente, uma bússola indica a direção N-S do meridiano local, ou seja, a direção e sentido da componente horizontal do campo magnético terrestre local, B_H . Quando, além deste campo, um outro campo, gerado por fios percorridos por corrente elétricas ou ímãs, estiver presente, a bússola indicará a direção e sentido magnético resultante.

Se a direção do campo gerado por aquela segunda fonte for bem conhecida, poder-se-á determinar sua magnitude, B , a partir do conhecimento de B_H e da direção e sentido do campo resultante, B_R . Como mostra a figura 1;

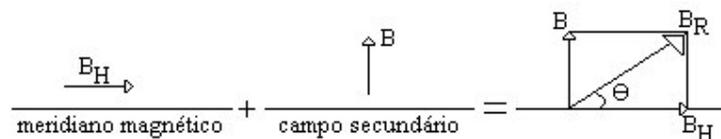


Figura 1

Determinação da intensidade de um campo, B , quando o mesmo possui direção perpendicular a B_H

$$B = B_H \cdot \operatorname{tg}\theta \quad (1)$$

Deste modo, para o conhecimento de B é suficiente ter-se o valor de B_H e medir-se o ângulo θ .

Este resultado é válido desde que nenhuma outra fonte atue simultaneamente com aquela em estudo. Tais fontes indesejáveis poderiam ser ferragens sobre ou sob a mesa de trabalho, transformadores das fontes de corrente, ímãs permanentes, fios percorridos por corrente, etc...

A determinação da componente horizontal do campo magnético terrestre, B_H , poderá ser feita pelo processo inverso ao descrito acima.

Para este fim, um campo magnético (magnitude), B , ortogonal ao campo da terra será criado por um par de bobinas de Helmholtz. Este aparato está mostrado na figura 2, que consiste de duas bobinas circulares coaxiais percorridas por correntes de mesmo sentido, cujos planos estão separados por uma distância igual ao raio das bobinas, r .

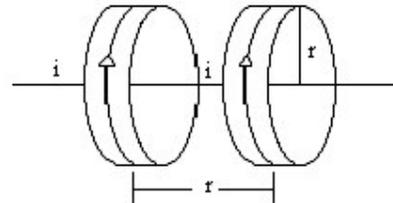


Figura 2
Bobinas de Helmholtz

Cada bobina poderá constituir-se de um enrolamento compacto de N espiras. Este particular sistema é útil porque fornece um campo bastante uniforme em um volume relativamente grande na região central do par de bobinas, e cujo valor, no centro do mesmo, é dado pela expressão;

$$B = \frac{8\mu_0 N.i}{(5)^{\frac{3}{2}}.r} \quad (2)$$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ (constante de permeabilidade)

Uma vez conhecido o valor de B , utilizando-se a equação 2, a magnitude da componente horizontal do campo magnético terrestre local, B_H , será facilmente determinada a partir da equação 1.

EXPERIMENTO

MATERIAL

Bobinas de Helmholtz
Bússola
Amperímetro
Uma bateria (pilha) de 1,5V ou fonte DC

PROCEDIMENTO

1-Monte as bobinas de Helmholtz, como mostra a figura 3;

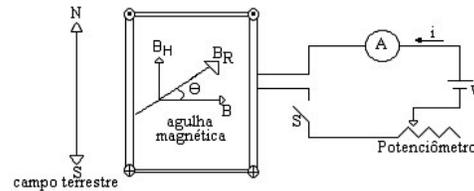
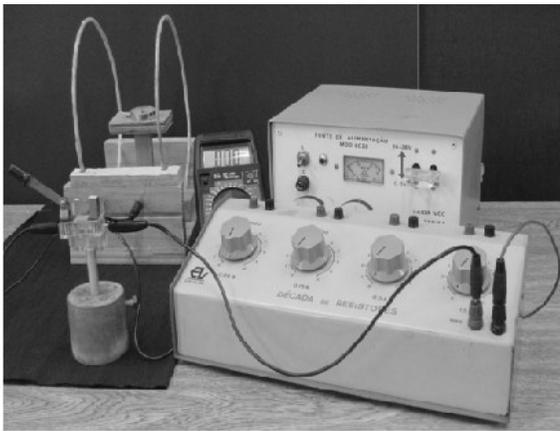


Figura 3

Montagem experimental para determinar o campo B_H da terra

- 2- O par de bobinas de Helmholtz deve ser posicionado de tal modo que o meridiano magnético local (N-S) seja ortogonal ao eixo das mesmas;
- 3- Antes de ligar a chave S, gire a bússola até sua leitura angular seja $\theta = 0^\circ$;
- 4- Ligue a chave S, ajuste a corrente i_1 de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja $\theta = 45^\circ$. Anote o valor de i_1 ;
- 5- Inverta o sentido da corrente que circula pelas bobinas, ajustando-a novamente de tal modo que o valor do ângulo indicado pela bússola seja $\theta = 45^\circ$ e faça a leitura da corrente i_2 ;
- 6- Repita os procedimentos 4 e 5 para 2 outros ângulos (10° , 30°).
- 7- Adote o valor médio da corrente $i = (i_1 + i_2)/2$ para o valor da corrente, anote o valor do raio das bobinas de Helmholtz, r , e o número de espiras que elas contêm, N ;
- 8- Encontre o valor da componente horizontal do campo magnético local, B_H , utilizando as equações 1 e 2.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Halliday e Resnick – Física 3 – 4ª edição – 1984.
- 2- F. K. Miguel – Eletricidade Estática e Magnetismo – IBESS-UNESCO – Edusp-1963.
- 3- T. J. Bonagamba – Laboratório de Ensino – Vol. 3 – USP São Carlos – 1994.
- 4- Reitz, Milford e Christy – Fundamentos da teoria Eletromagnética – 3ª edição – 1982.

CORRENTES DE FOUCAULT

INTRODUÇÃO

Quando uma espira retangular movimenta-se através de um campo magnético, se houver variação do fluxo magnético através desta espira, surge uma f.e.m. induzida (demonstrado em sala de aula em experimentos anteriores) segunda a lei de Faraday como mostra a figura 1:

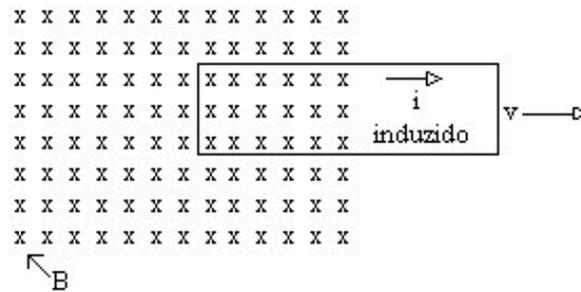


Figura 1
Espira em um campo magnético B .

Este fenômeno, contudo, pode aparecer também em condutores maciços, como é o caso de uma chapa metálica, conforme mostra a figura 2. Devido o fato de que um condutor maciço possui resistência elétrica pequena, estas correntes induzidas que nestes casos recebem o nome de correntes de Foucault, podem atingir valores consideráveis. Portanto, podem conseqüentemente aquecer o condutor. De um modo geral, estas correntes não são desejáveis como no caso de transformadores, motores, etc... Faz-se a substituição dos blocos metálicos maciços constituídos por lâminas isoladas uma da outra. Por vezes, as correntes de Foucault podem ser desejáveis, como acontece em certos fornos elétricos chamados de fornos de indução.

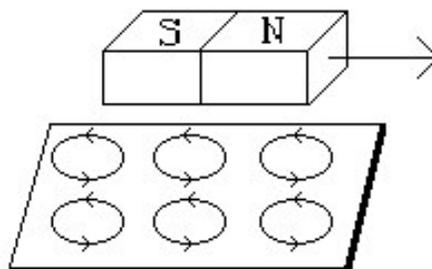


Figura 2
Correntes de Foucault.

EXPERIMENTO

MATERIAL

Imã
Chapa de alumínio ou cobre
Suporte
Fio

PROCEDIMENTO

1 – Monte o aparato da figura 3.

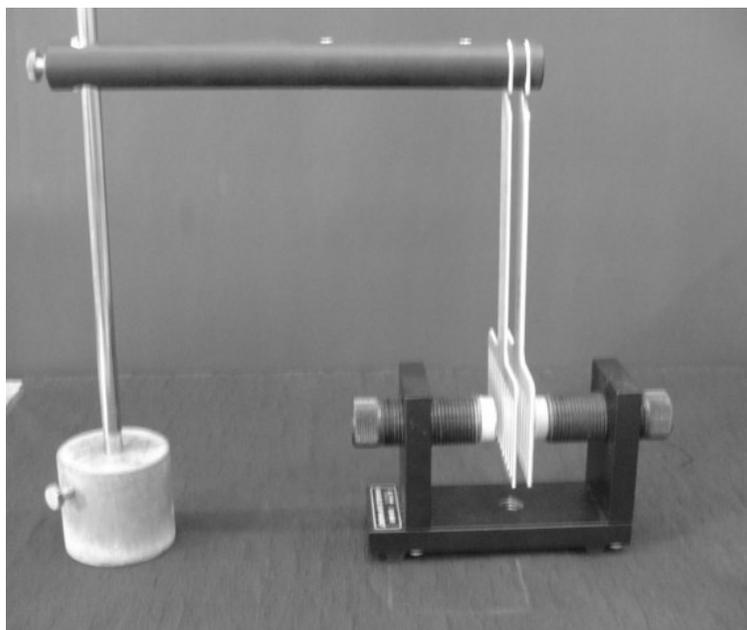


Figura 3

Montagem da demonstração das correntes de Foucault.

2 – Faça as garras balançarem como pêndulos e discuta as observações!

3 -Faça a montagem do experimento como mostra a figura 4.

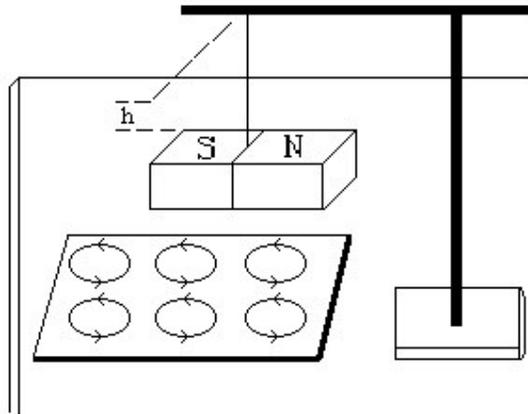


Figura 4
Montagem experimental para correntes de Foucault.

2-Eleve o pêndulo (ímã) a uma certa altura pré-fixada “h”, solte-o e marque o tempo que gastará até parar completamente de oscilar. Repita por três vezes. Determine o valor médio.

3-Repita o procedimento retirando a chapa metálica. Repita a medição dos tempos. Determine o valor médio.

4-Compare os tempos médios, referentes às duas situações.

5-Dê uma explicação para o que está observando.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Milton Zaro, Ildon Borchardt e Jorge Moraes. - Experimentos de Física Básica: eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo. - Ed. Sagra. 1982.
- 2- Dalton Gonçalves - Física do científico e do vestibular - Livro Técnico, Vol.5. 1974.

TRANSFORMADORES

INTRODUÇÃO

O transformador é um dispositivo constituído por duas bobinas, eletricamente isoladas, enroladas em torno de um mesmo núcleo de ferro doce (ferro quase puro) como mostra a figura 1.

Imagine que você precisa de 15V (alternada) para fazer funcionar um determinado equipamento; você poderia conseguir esta voltagem de diversos modos. Um deles é através do transformador. O princípio de funcionamento do transformador está baseado na lei de Faraday.

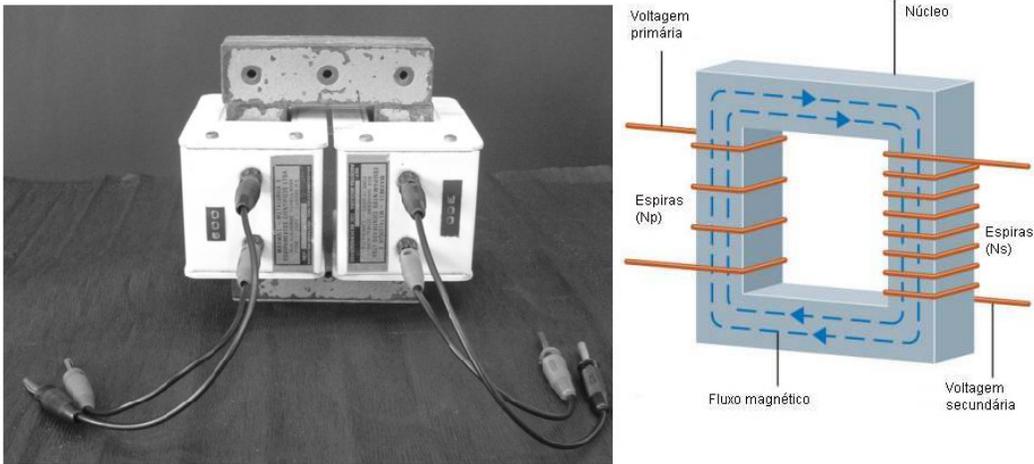


Figura 1
O transformador

Observando a figura 1 no momento em que fazemos circular uma corrente alternada no enrolamento do primário (com número de espiras igual a N_1) ou uma corrente contínua pulsante, será estabelecido um campo magnético no núcleo de ferro; como a corrente varia no tempo, o campo magnético varia também ocasionando conseqüentemente uma variação de fluxo magnético. Deste modo, pela variação de fluxo magnético no secundário, teremos o surgimento de uma f.e.m. induzida também variável com o tempo. A tensão que aparece no secundário pode ser maior, menor ou igual que a do primário, isto está relacionado com o número de espiras dos enrolamentos. Para fios de mesmo diâmetro e mesmo material, pode-se relacionar:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Onde: N_1 , N_2 são números de espiras no primário e no secundário respectivamente. V_1 e V_2 são as tensões no primário e no secundário respectivamente.

Admitindo o caso ideal de não haver perdas, a potência fornecida ao primário deve ser igual à fornecida pelo secundário então chegamos facilmente a seguinte relação:

$$P_1 = P_2$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{i_2}{i_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Onde i_1 e i_2 são as correntes no primário e no secundário respectivamente.

Observe que quando maior for o número de espiras do secundário maior será a tensão que ele fornece, porém menor será a corrente. Por esta razão a transmissão de energia elétrica se faz a tensões elevadas!

EXPERIMENTO

MATERIAL

Bobinas com números de espiras diferentes

Núcleo de ferro

Voltímetro ; Cabos

Fonte de tensão alternada

PROCEDIMENTO

1-Monte o seguinte circuito da figura 2 usando uma fonte de CA. Use no primário uma bobina de 300 espiras e no secundário uma bobina de 600 espiras e meça o valor da voltagem entre os terminais do secundário.

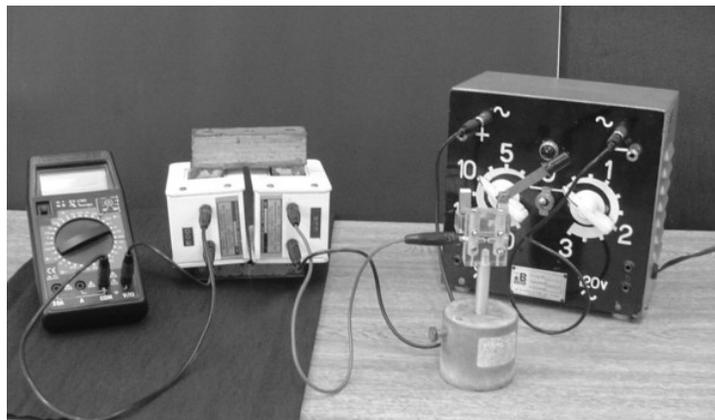


Figura 2

Montagem experimental para medição de tensão no transformador.

2-Era o que se espera?

3-Faça agora o mesmo circuito mudando uma voltagem de 120V no primário e use uma bobina de 5 ou 6 espiras no secundário. Meça o valor da voltagem, o que acontece com a corrente? Explique!

4-Com uma voltagem de 10V no primário, use o mesmo número de espiras (600) tanto no primário quanto no secundário e meça o valor da voltagem nos pontos A e B.

5-Use uma fonte de corrente contínua de 10V no primário o que acontecerá com a voltagem no secundário? Porque?

6- Houve perdas de potência no secundário? Porque?

BIBLIOGRAFIA

1- Milton Zaro, Ildon Borchardt e Jorge Moraes. Experimentos de Física Básica – eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo. Ed. Sagra, 1982.

2- Dalton Gonçalves. Física do Científico e do Vestibular. Livro Técnico, Vol. 5, 1974.

ONDAS

INTRODUÇÃO

Neste tópico iremos realizar experimentos ondulatórios envolvendo ressonância e batimento. Estes fenômenos são observados no dia a dia tanto nas ondas sonoras quanto em ondas eletromagnéticas. O batimento pode ser encontrado quando duas notas musicas tocadas de forma que uma seja a frequência um pouco diferente da outra por exemplo, a nota lá de 440 Hz por uma e a outra em uma nota lá um pouco diferente em 430Hz. Assim poderemos ouvir um som que aumenta e some periodicamente formando assim o fenômeno de batimento! O fenômeno de ressonância ocorre desde um simples balançar em parque de diversão até ressonância magnética nuclear.

RESSONÂNCIA

Em geral, sempre que sobre um sistema capaz de oscilar, atuar uma série de impulsos periódicos cuja frequência seja igual à frequência natural do sistema, este último começa também a oscilar com amplitude relativamente grande. Tal fenômeno chama-se ressonância; diz-se que o sistema ressoa com o impulso aplicado.

Um exemplo de ressonância consiste no modo com que empurramos um balanço. Os empurrões sucessivos devem ser dados exatamente no ritmo em que o balanço oscila, para que este aumente (ou mantenha) a sua amplitude de oscilação. Empurrar o balanço quando este ainda vem chegando equivale a absorver uma parte de energia deste, prejudicando o movimento. Este exemplo vale para dois diapasões com suas caixas de ressonância (um de frente para o outro), quando um é excitado o outro entrará em vibração e se tornará audível. Esta experiência só funciona com diapasões de frequências iguais ou quase iguais.

BATIMENTOS

Quando duas ondas sonoras de freqüências ligeiramente diferentes atravessam simultaneamente a mesma região do espaço elas dão origem ao fenômeno de batimento. Se as duas ondas possuem amplitudes iguais a representação gráfica da onda resultante é semelhante ao da figura 1.

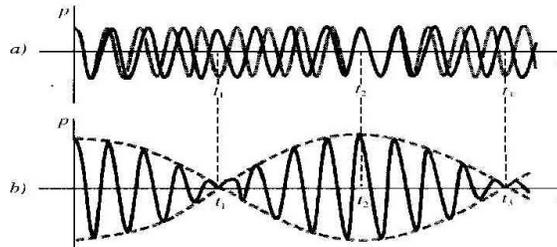


Figura 1

Fenômeno de batimento

A freqüência de batimento é igual à diferença entre as freqüências das duas ondas:

$$f_{bat} = \Delta f = f_2 - f_1$$

TUBO DE KUNDT

Na figura 2 representamos, esquematicamente, um tubo de Kundt na qual a direita da figura há um alto falante vibrando em uma certa freqüência conhecida. Um pistão é mantido fixo, a onda que parte do alto falante reflete no pistão e dá origem a uma onda estacionária.

No interior do tubo há um pó muito tênue (pó de cortiça). Este pó acumula-se nos pontos nodais, como mostra a figura 2,

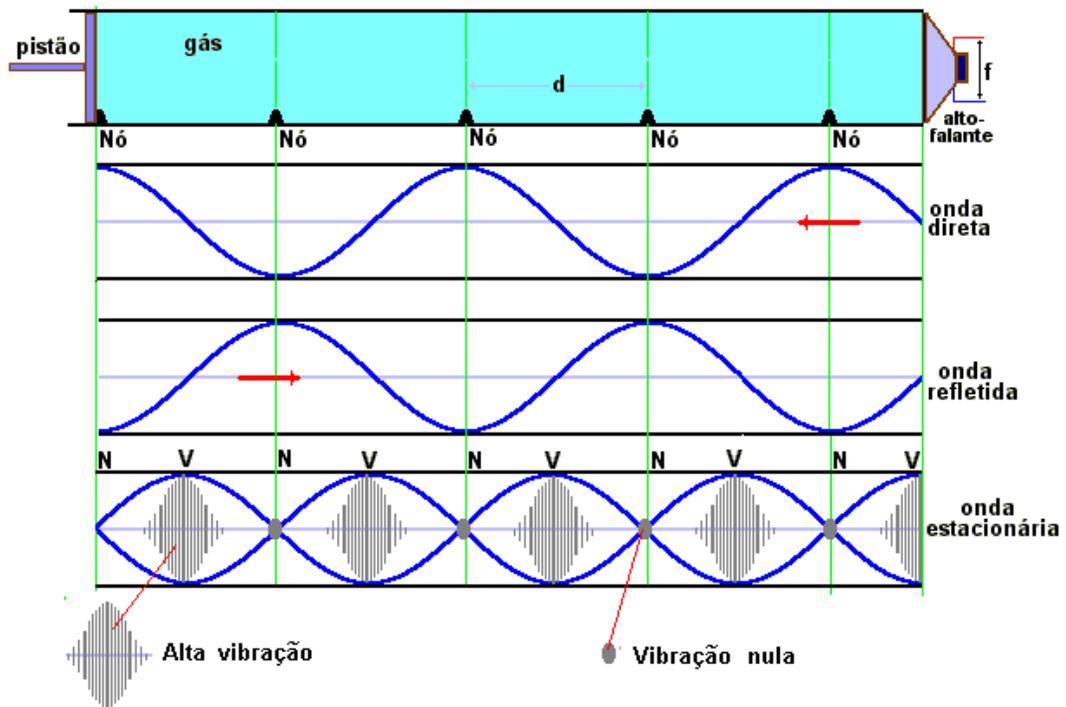


Figura 2
Tubo de Kundt

Como a distância d entre dois nós consecutivos é de meio comprimento de onda, temos:

$$d = \frac{\lambda}{2}$$

como $\lambda = \frac{v}{f}$

Logo: $v = 2df$

Se conhecermos a frequência e a distância entre nodos podemos então determinar o valor da velocidade do som no ar ou em qualquer gás contido dentro do tubo de Kundt.

EXPERIMENTOS

RESSONÂNCIA E BATIMENTOS

MATERIAL

Diapasões (de mesma frequência e de frequências próximas) com caixas de ressonância

2 geradores de sinais

1 microfone

1 osciloscópio

2 martelos de borracha para diapasão

Cabos de conexão

PROCEDIMENTO

- 1- Coloque os diapasões em suas caixas de ressonância. Coloque as duas caixas com as aberturas frente a frente.



Figura 3

Montagem experimental do fenômeno de ressonância

- 2- Bata com o martelo em um dos diapasões e abafe-o logo em seguida. O outro diapasão vibra? Observe através do osciloscópio usando o microfone!
- 3- Faça o item 2, agora usando o microfone acoplado ao osciloscópio e nas caixas de ressonância. Observe a figura na tela do osciloscópio. Faça um desenho esquemático da onda obtida, explicando-o.
- 4- Tome dois diapasões de frequências próximas, ou pegue um dos diapasões e, coloque em uma das hastes um dispositivo munido de parafuso. Assim o diapasão ficará desafinado em relação ao outro diapasão.
- 5- Bata firmemente em um dos diapasões e após bata no outro sem abafar nenhum deles.
- 6- O que ocorre com o som simultâneo dos diapasões?
- 7- Faça o item 5 usando agora o microfone acoplado ao osciloscópio e observe a onda resultante na tela. Desenhe a onda obtida explicando-a!
- 8- Monte o esquema da figura 4,

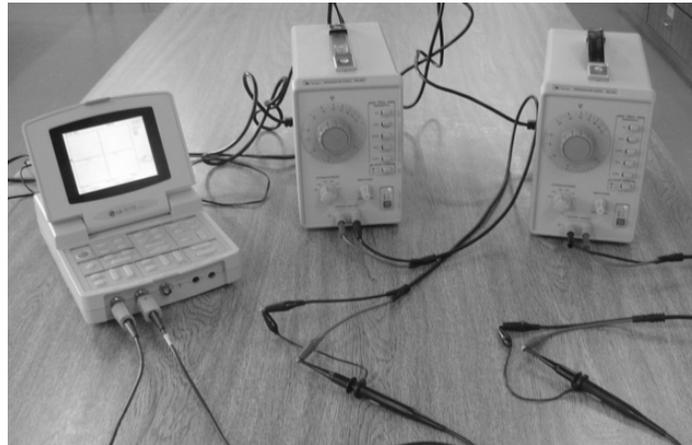


Figura 4

Montagem experimental osciloscópio e geradores.

- 9- Varie levemente a frequência de um dos geradores. Há batimentos? Acompanhe estes experimentos no osciloscópio. Seria possível estimar a diferença entre as frequências através da onda visualizada no osciloscópio?

DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DO SOM NO AR

MATERIAL

Tubo de Kundt

Pó de cortiça

Gerador de áudio

PROCEDIMENTO

- 1- Coloque um pouco de pó de cortiça na extensão do tubo inteiro. Para isto distribua o pó na cantoneira e depois que introduzi-lo no tubo, vire a cantoneira.
- 2- Monte a figura 5. Veja se o pó pula em uns lugares e noutros não. Varie a frequência no gerador de áudio até encontrar a figura da onda estacionária. O que está acontecendo? Explique.

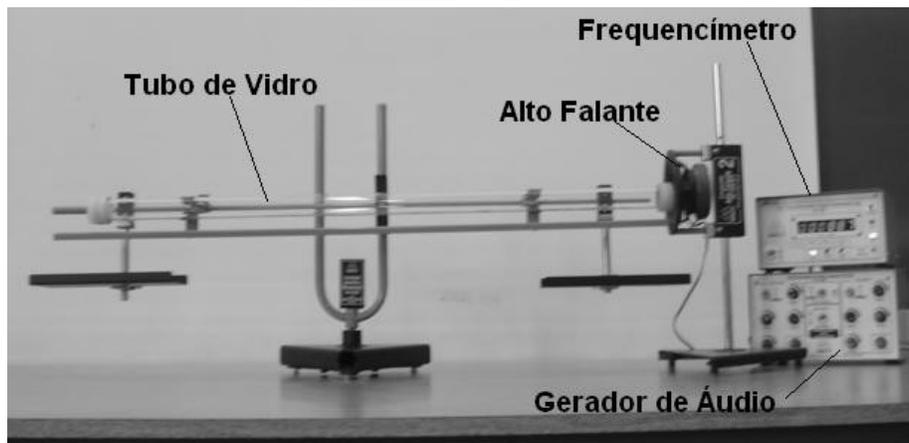


Figura 5

Montagem experimental para determinação da velocidade do som

- 3- Faça várias medidas com frequências diferentes, montando uma tabela.
- 4- Determine a velocidade do som no ar. Compare com o valor tabelado de 340m/s.

BIBLIOGRAFIA

- 1- R. Resnick e D. Halliday – Física vol. 2 – quarta edição. 1986
- 2- D. Gonçalves – Física 3 – quinta edição.
- 3- Manual de experimentos da Bender (acústica).
- 4- Francisco Catelli – Física Experimental 4 – Caderno da Universidade de Caxias do Sul.
- 5- P. Tipler – Física – Gravitação, ondas e termodinâmica- terceira edição, 1991.
- 6- http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_T02.asp.

CORDAS VIBRANTES

INTRODUÇÃO

Consideremos uma corda fixa em ambas as extremidades, um trem contínuo de ondas senoidais é refletido e rerefletido. Como a corda é presa nas extremidades, essas devem ser nodos. Como os nodos estão separados entre si de $\frac{1}{2}$ comprimento de onda, o comprimento da corda deve ser $\frac{\lambda}{2}; 2\frac{\lambda}{2}; 3\frac{\lambda}{2}$, ou em geral qualquer múltiplo inteiro de meios comprimentos de onda. Em outras palavras se considera uma corda particular de comprimento L , ondas estacionárias podem ser nela originadas por vibrações de várias freqüências diferentes, ou seja, aquelas que originam ondas de comprimento de onda:

$$2L, 2\frac{L}{2}, 2\frac{L}{3}, \dots$$

Da relação $f = \frac{v}{\lambda}$ e do fato de v ser o mesmo para todas as freqüências. As possíveis freqüências são:

$$\frac{v}{2L}, 2\frac{v}{2L}, 3\frac{v}{2L}, \dots$$

A freqüência mais baixa, $\frac{v}{2L}$, é chamada de fundamental, f_1 , e as outras de sobretons. Essas últimas são assim, $2f_1$, $3f_1$, $4f_1$ etc. Sobretons cujas freqüências são múltiplos inteiros da fundamental formando a chamada série Harmônica. A fundamental é o primeiro harmônico. A freqüência $2f_1$ é o primeiro sobreton ou segundo harmônico; $3f_1$, é o segundo sobreton ou terceiro harmônico e assim por diante.

Sabendo que:

$$L = n \cdot \frac{\lambda}{2}; \quad \lambda = \frac{v}{f}; \quad v = \sqrt{\frac{P}{\mu}}$$

Então:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{P}{\mu}} \quad (1)$$

$$\text{mas, } \mu = \frac{m}{l} = \frac{\pi R^2 l d}{l} = \pi R^2 d$$

portanto

$$f = \frac{n}{2RL} \sqrt{\frac{P}{\pi d}} = \frac{n}{DL} \sqrt{\frac{P}{\pi d}} \quad (2)$$

Onde: f - frequência da corda; d - massa específica da corda; D - diâmetro da corda; n - número de ventres; L - comprimento da corda; P - força tensora na corda; μ densidade linear da corda

EXPERIMENTO

MATERIAL

Alto falante

Gerador de Áudio

Fios de Nylon

Massas aferidas

PROCEDIMENTO

1-Meça o comprimento do fio de nylon (aproximadamente 1m);

2-Meça a massa do fio e o diâmetro do mesmo;

3-Monte o experimento como mostra a figura 1 (use uma massa de 20 gramas);

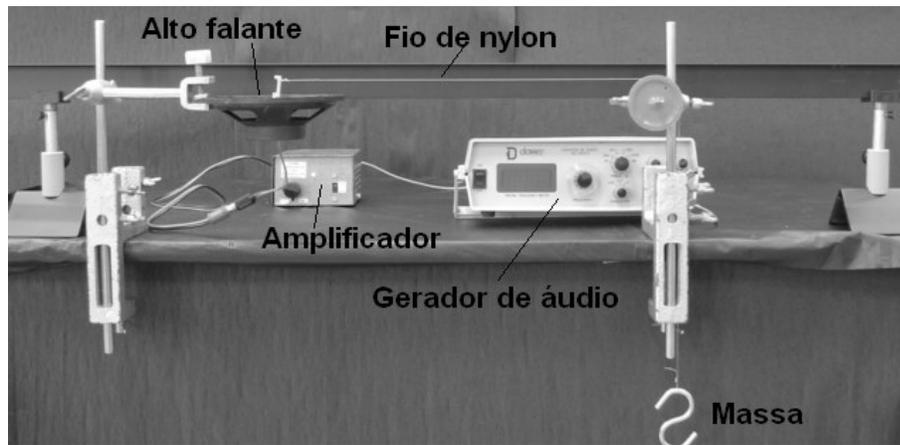


Figura 1

Montagem experimental da corda vibrante

4 – Com o comprimento do fio (~70cm) determine a frequência fundamental e seus harmônicos (use a equação 1).

5-Ligue o gerador de áudio varie (de vagar) a frequência até encontrar uma onda estacionária.

6-Conte o número de ventres;

7-Continue variando a frequência (até encontrar outra onda estacionária) e conte o número de ventres. Faça uma tabela de frequência e número de ventres ($f \times n$);

8-Para o mesmo comprimento de fio fixe o número de ventres (por exemplo, 3) e varie o peso e frequência;

9-Faça uma tabela de frequência e peso ($f \times P$). (use pelo menos 4 medidas);

10-Fixe agora a densidade linear da corda, o peso e o número de ventre (por exemplo 3 ventres), variando a frequência e o comprimento do fio. Faça uma tabela $f \times L$

11-Faça os gráficos do item 7, 9 e 10 em papel milimetrado ou utilize um editor gráfico no computador. Aplique \ln na equação 1 (itens 9 e 10) para linearizar os gráficos!.

12-Com os gráficos obtidos compare com a de Lagrange (equação 1), os resultados comprovam esta equação?

BIBLIOGRAFIA

- 1- Resnick, Halliday, Física 2 – Livros Técnicos e Científicos, 4ª edição – 1986.
- 2- Sears e Zemansky – Física – Volume 2.

Ótica Geométrica

Introdução

Reflexão e Refração da Luz

Muitos fenômenos óticos já conhecidos envolvem um comportamento de uma onda que atinge uma interface entre dois materiais óticos, como ar e vidro, ou água e vidro. Quando a interface é lisa, isto é, quando suas irregularidades são pequenas em comparação com o comprimento de onda, a onda em geral é parcialmente refletida e parcialmente transmitida para o segundo meio, como mostra a figura 1:

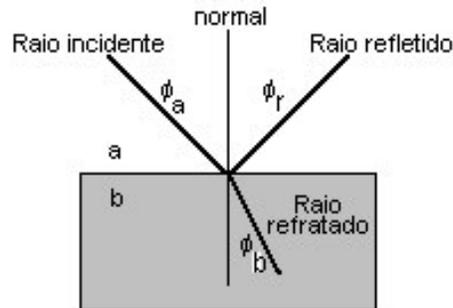


figura 1

Reflexão e Refração da Luz

A ótica geométrica envolve fenômenos óticos que podem ser entendidos com base em raios de luz, sem que seja necessário recorrer à natureza ondulatória da luz. A ótica geométrica tem suas limitações que existem fenômenos óticos (difração, interferência) que requer um modelo mais detalhado, envolvendo as propriedades ondulatórias da luz para serem compreendidas.

As direções dos raios de luz incidente, refletido e refratado, são especificados dos ângulos que formam com a normal à superfície no ponto de incidência. Observando a figura 1 temos:

1- Os raios incidente, refletido, refratado e a normal à superfície situam-se no mesmo plano.

2- O ângulo de reflexão ϕ_r , é igual ao de incidência, ϕ_a , para todas as cores e qualquer par de substâncias,

$$\phi_r = \phi_a \quad (1)$$

Esta identidade é conhecida como lei da reflexão.

3- No caso de luz monocromática e de duas substâncias a e b, o quociente entre o seno do ângulo ϕ_a e o seno do ângulo ϕ_b é uma constante.

$$\frac{\text{sen } \phi_a}{\text{sen } \phi_b} = \frac{n_b}{n_a} = n_{ba} \quad (2)$$

Onde n_{ba} é o índice de refração do meio b em relação ao meio a.

A equação 2 é chamada de lei de refração de Snell.

Tabela 1 apresenta os valores do índice de refração para vários materiais.

Tabela1- Alguns índice de refração para comprimento de onda $\lambda=589\text{nm}$.

Substância (meio)	Índice de refração (n)
Ar (1 atm e 20 °C)	1,0003
Gelo	1,31
Água	1,33
Álcool etílico	1,36
Glicerina	1,47
Vidro	1,50
Quartzo	1,54
Sal de cozinha	1,54
Zircônio	1,92
Diamante	2,42
Rutilo	2,80

A figura 2 mostra vários raios divergindo de uma fonte puntiforme S, em um meio a, cujo índice de refração é n_a e atingindo a superfície de um segundo meio b de índice de refração n_b , onde $n_b < n_a$. Logo pela lei de Snell,

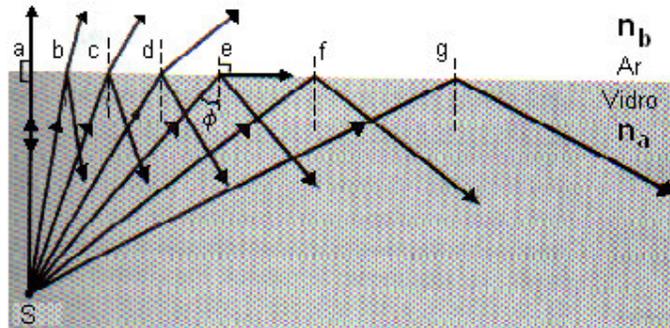


figura 2

Reflexão interna Total

$$\text{sen } \phi_b = \frac{n_a}{n_b} \text{sen } \phi_a$$

Mas para ϕ_b igual a 90° temos:

$$\text{sen } \phi_c = \frac{n_b}{n_a} \quad (3)$$

Onde ϕ_c é o ângulo crítico ou ângulo limite.

Este fenômeno é chamado de reflexão total da luz.

A figura 3 mostra a variação do índice de refração de um vidro em função do comprimento de onda. O índice de refração diminui (ligeiramente) quando o comprimento de onda aumenta, indicando que a velocidade da luz no vidro depende do comprimento de onda.

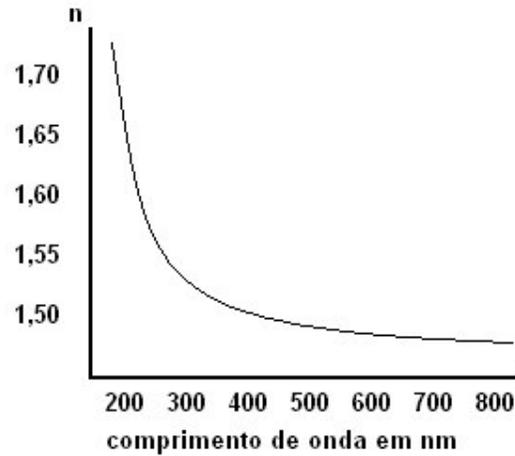


Figura 3

Curva característica de dispersão da luz em um vidro

Espelhos Esféricos

A figura 4 mostra um espelho esférico côncavo onde o é a distância entre o vértice do espelho ao objeto (vela); C é o centro de curvatura do espelho; i é a distância entre a imagem do objeto até ao vértice do espelho; f é a distância focal do espelho.

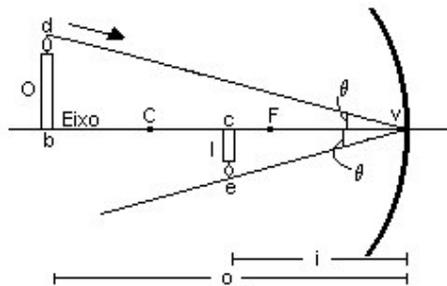


figura 4

Mostra a reflexão em um espelho côncavo

A relação entre essas grandezas é dada pela equação dos pontos conjugados,

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Esta relação é válida também para espelhos convexos, desde que leva em consideração o sinal de \underline{i} de \underline{o} e de \underline{f} . Veja maiores informações na bibliografia.

Lentes Esféricas

A figura 5 mostra uma lente convergente. Onde \underline{o} é à distância entre o vértice da lente e o objeto (vela); \underline{i} é à distância entre o vértice da lente e a imagem produzida pela lente e \underline{f} é distância focal da lente.

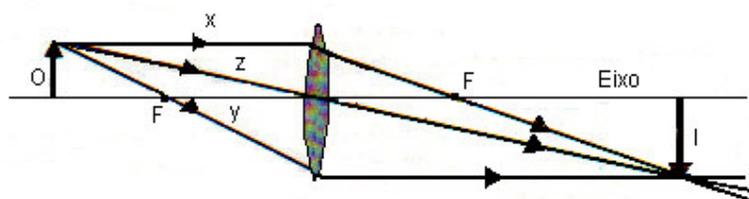


figura 5

Mostra a refração da luz em uma lente convergente

A equação que rege estas grandezas é:

$$\frac{1}{o} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f} \quad (5)$$

Esta relação é válida também para lentes divergentes, desde que leva em consideração o sinal de \underline{i} de \underline{o} e de \underline{f} . Veja maiores informações na bibliografia!

Experimentos

Reflexão e Refração da Luz

MATERIAL

Lanternas

Suporte para diafragma

Cavaleiro magnético

Dióptros de acrílico

PROCEDIMENTO

1- Fixe o dióptro de acrílico em forma de meio círculo conforme a figura 6;

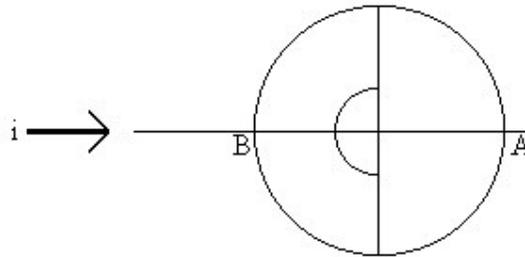


figura 6

Montagem para reflexão da luz

2- Gire o disco 180°. O que acontece com os raios (incidente e refratado)?

3- Gire o disco no sentido horário, de modo que o ângulo entre o raio incidente e a reta normal (reta que passa por A e B, figura 6) varie lentamente de zero a 45°. O que ocorre com os raios refratados. E com os refletidos. Comente usando as considerações das leis de reflexões e refrações (Introdução da apostila).

4- Reconhecendo (i) como ângulo de incidência e (r) como ângulo de refração, complete a tabela abaixo.

i	sen i	r	sen r	sen(i)/sen(r)

5- O que acontece com a razão $\text{sen}(i)/\text{sen}(r)$. Esta constante é conhecida como índice de refração relativo do meio 2 (acrílico) em relação ao meio 1(ar). Compare com a equação 2 da introdução.

6- Determine o índice de refração relativo do acrílico em relação ao ar.

7- Considerando a velocidade da luz no ar igual a sua velocidade no vácuo, $\approx 300.000\text{km/s}$, determine a velocidade que a luz se propaga no acrílico.

8- Encontre o ângulo limite para o semicírculo (este é o ângulo de reflexão interna total dentro do semicírculo). Se ultrapassar este ângulo limite o que acontece com o raio incidente?

9- Considerando o semicírculo como mais denso você diria que a refração que ocorre, ao passar a luz de um meio mais denso para outro menos denso, independe do ângulo de incidência? Justifique sua resposta.

10- Com o resultado encontrado para o índice de refração do acrílico (item 6), e usando a equação 2 determine o ângulo limite de refração para o material utilizado. Compare com o encontrado no item 7.

Prisma

MATERIAL

Banco ótico

Prisma de 90°

Prisma de 60°

PROCEDIMENTO

1- Fixe o prisma de 90° como mostra a figura 7,

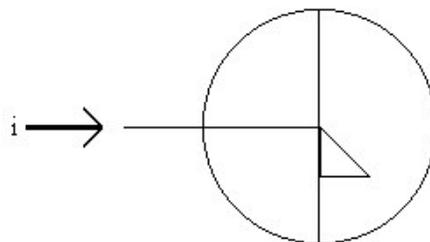


Figura 7

Montagem de um prisma de 90°

2- Comente a trajetória dos raios refratados.

3- Gire o disco de modo que o raio incidente incida perpendicularmente a hipotenusa do prisma. Trace o percurso do feixe refratado. Aplique a lei de Snell da reflexão em cada face interna do prisma e comente o observado.

4- Troque o prisma de 90° por um de 60° como mostra a figura 8,

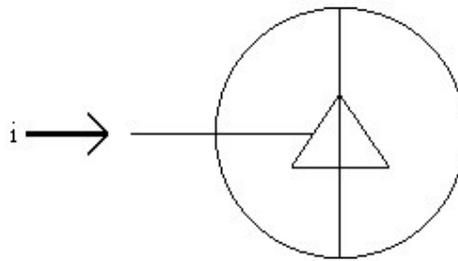


figura 8

Montagem de um prisma de 60°

5- Gire o disco lentamente, 5° no sentido anti-horário.

6- Descreva o observado no quarto quadrante do disco.

7- Qual a cor do espectro que sofreu maior refração? E a menor? Justifique sua resposta.

Espelhos Esféricos

MATERIAL

Espelho côncavo

Espelho convexo

Vela, suporte para vela

Tela quadrada

Tripé, Trena

PROCEDIMENTO

1- Com o espelho côncavo monte a figura 9.

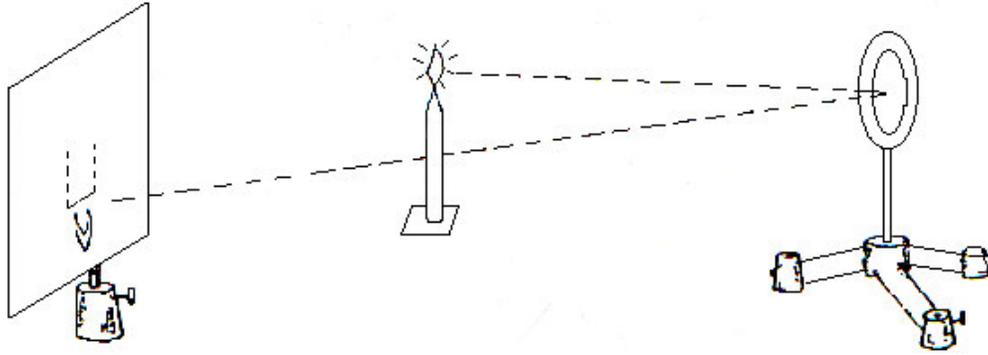


Figura 9

Montagem para determinar o raio do espelho côncavo

- 2- Com a vela acesa diante do espelho, procure com a tela quadrada a imagem da vela. Procure uma imagem nítida da vela.
- 3- Encontre o raio de curvatura do espelho, através da equação dos pontos conjugados para espelhos. Veja equação 5 (sabendo que $f = \frac{1}{2} r$, onde r é o raio de curvatura do espelho).
- 4- Determine agora, no experimento o raio do espelho. Posicionando o objeto (vela) ao lado do anteparo e procure com o espelho a melhor imagem. Meça a distância do espelho a imagem. É a mesma calculada no item anterior?
- 5- Sabendo o raio (o centro do espelho) e a distância focal, faça várias medidas do objeto. O que acontece com a imagem quando:
 - a. O objeto está no infinito (3 a 4 metros);
 - b. O objeto antes de C;
 - c. O objeto em C;
 - d. O objeto entre C e F;
 - e. O objeto em F;
 - f. O objeto entre F e o espelho.
- 6- Com o espelho convexo faça todos os itens do procedimento 5. O que acontece?

Demonstrações – espelhos parabólicos e esféricos.

MATERIAL

Lamina plana flexível de metal

Lanterna

PROCEDIMENTO

- 1- Usando a lamina flexível monte a figura 10

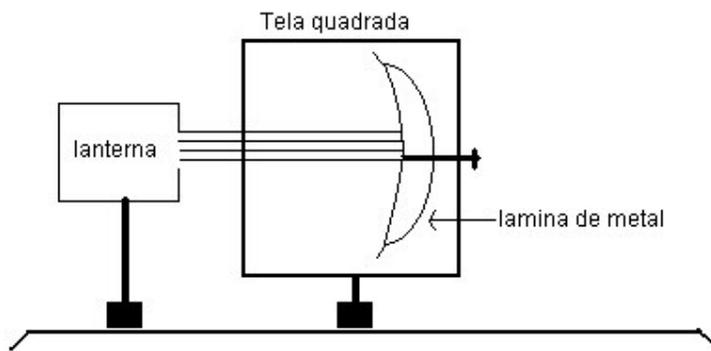


figura 10

Montagem demonstração espelho parabólico

- 2 – Varie a lamina (puxando-a) e observe o que acontece com o feixe refletido. Puxando o centro da lamina para trás, encontraremos uma posição na qual os raios incidentes voltam para um único ponto. Nesta posição o espelho forma uma parábola!!
- 3 – Puxando o centro da lamina até encostar no semicírculo que serve de suporte, e prendendo-a, obteremos um espelho esférico!
- 4 – Faça uma tabela x e y para três posições do espelho em relação a origem. E faça o gráfico de x,y. (faça três tabelas em três posições distintas, sendo uma para espelho parabólico, outra esférico e outra intermediária)

Demonstrações de Lentes Convergentes e Divergentes

Material

Banco Ótico e Dióptricos

Procedimento

- 1- Coloque a lente convergente plano convexa no disco óptico de modo que o raio central passe pelo seu centro ótico, como mostra a figura 11.

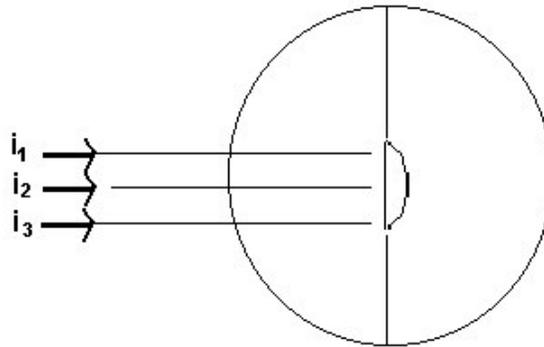


Figura 11

Montagem experimental raios paralelos em lente convergente

- 2- Identifique o foco F_1 desta lente plano convexa e determine a sua distância focal f_1 .
- 3- Gire de 180° o disco com a lente, identifique o segundo foco F_2 e determine a distância f_2 .
- 4- Faça os item 2 e 3 para uma lente convergente biconvexa.
- 5- Como se comporta um raio incidente que passa pelo foco F de uma lente convergente?
- 6- Faça a montagem agora da figura 11 com uma lente divergente plano côncava.
- 7- O raio central sofre desvio? Porque? O que acontece com os outros dois raios?
- 8- Identifique o foco virtual F_1 desta lente e determine sua distância focal f_1 .
- 9- Troque a lente por uma lente divergente bicôncava.
- 10- O que acontece com os raios refratados ?
- 11- Assinale levemente sobre o disco óptico o foco virtual F desta lente.

Lentes

MATERIAL

Lentes convergentes e divergentes

Vela, suporte para vela

Tripés

Anteparo

Hastes, trena

PROCEDIMENTO

1- Monte a figura 12:

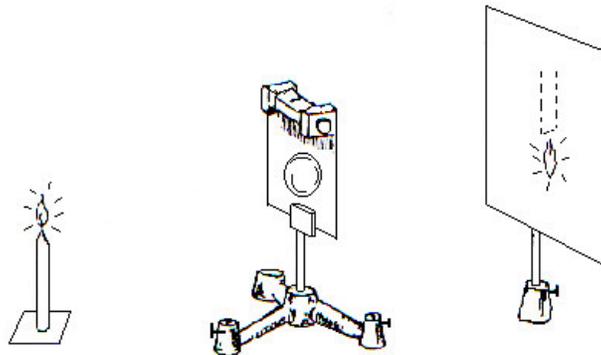


Figura 12

Montagem para determinar a distância focal da lente convergente

2- Encontre a distância focal da lente convergente da seguinte maneira:

Desloca-se a tela e a lente, conservando sempre a imagem nítida, até encontrar uma distância entre o objeto-lente e imagem-lente iguais isto é $o = i$.

Logo a equação dos pontos conjugados ficará:

$$\frac{1}{i} + \frac{1}{i} = \frac{1}{f}$$

então: $f = \frac{i}{2}$

2.1- Outra maneira de encontrar a distância focal. Monte a figura 13.

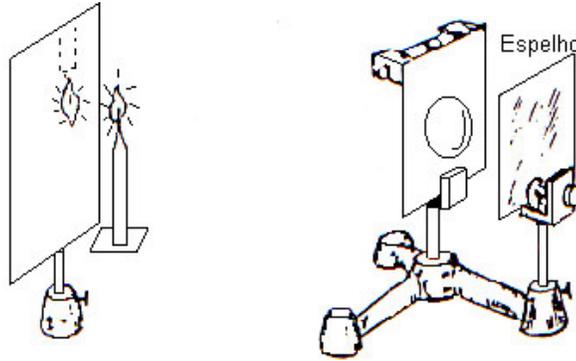


Figura 13

Outra montagem para determinar f da lente convergente

À vela e a tela estão lado a lado e o espelho plano está atrás da lente, como mostra a figura 13. Desloque a lente até conseguir uma imagem nítida do lado do objeto e do mesmo tamanho. À distância entre o objeto e a lente é a sua distância focal! Por que?

3- Monte a figura 12. Observe o que acontece, em cada caso abaixo, com a imagem e meça os valores de i e o :

- Objeto no infinito;
- Objeto além de $2F$;
- Objeto em $2F$;
- Objeto entre $2F$ e F ;
- Objeto em F ;
- Objeto entre F e o vértice da lente.

4- Verifique agora a equação dos pontos conjugados (ver bibliografia 1):

$$\frac{1}{i} + \frac{1}{o} = \frac{1}{f} \quad (6)$$

5- Faça o gráfico distância da Imagem (i) x distância do Objeto(o). Como interpreta este gráfico.

6 – Faça agora um gráfico de (oi) x $(o+i)$. Determine então a distância focal da lente e compara com o obtido no item 2.

7 - Monte a figura 12 usando uma lente divergente. O que acontece com a imagem?

Ampliação da imagem

Material Banco ótico , lentes e espelhos esféricos.

Procedimento

- 1-Colocar o anteparo sobre o foco F, isto é, na distância focal. (ver F na lente plano-convexa).
- 2 – Através de um dispositivo posicionando na parte traseira da lanterna, ajustar a lâmpada interna de forma que os raios saiam paralelamente, e após atingir a lente, os mesmos acabem convergindo para o foco, se tornando um ponto de luz no anteparo.
- 3 –Colocar o objeto no trilho entre a lanterna e a lente e o anteparo após a lente conforme a figura 14.

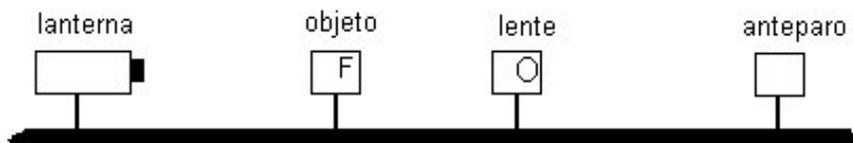


figura 14

Montagem do banco ótico para medir a ampliação da imagem

- 4 – Variar a distância entre objeto/lente e anteparo/lente até obter uma imagem nítida no anteparo.
- 5 –Medir a distância entre o objeto/lente (o) e o anteparo/lente (i).
- 6 –Determine a ampliação da imagem $m = -\frac{i}{o}$ (o sinal negativo é devido a imagem ser invertida).
- 7 – Pode-se determinar a ampliação medindo-se o tamanho da imagem no anteparo com escala e o tamanho do objeto, através da relação $m = \frac{I}{O}$ onde I é o tamanho da Imagem e O é o tamanho do objeto.

8 – Repita o item 4 novamente, construindo uma tabela com os resultados obtidos.

9 – Faça o mesmo procedimento para um espelho côncavo.

Instrumentos Óticos – Lunetas

O telescópio astronômico, ou lunetas astronômicas, é usado para observar objetos que estão muito distantes. O objetivo do telescópio (ou luneta) é o de formar uma imagem real no primeiro ponto focal da ocular. Em virtude de o objeto estar a uma grande distancia da luneta, a imagem está no ponto focal da objetiva. A imagem real da objetiva constitui um objeto real para a ocular e a ocular funciona como uma lupa, conjugando a esse objeto uma imagem maior, invertida em relação ao objeto inicial e maior que este.

MATERIAL

Lentes e tubos (Kit da Bender)

PROCEDIMENTO

1-Monte uma luneta usando os experimentos anteriormente estudados.

2- Observação astronômica!!! (Se puder) observar manchas solares (cuidado, projeta as imagens!) ou as crateras da Lua!! (converse com o professor!)

BIBLIOGRAFIA

1- Física 4 – D. Halliday e R. Resnick – quarta edição.

2- Física 4 – Sears, Zemansky e Young – segunda edição.

3- Conjuntos Bender – ótica.

4 –Maheswaranathan, P. Revisiting “Visualizing the thin-lens formula”. Physics Teacher, Vol 39, Number 8, pg. 452. 2001.

DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA DA LUZ

INTRODUÇÃO

DIFRAÇÃO

Denomina-se difração o desvio sofrido pela luz ao passar por um obstáculo, (sendo a abertura deste obstáculo da ordem do comprimento de onda da luz), tal como as bordas de uma fenda em um anteparo.

Observando a figura 1, difração de Fraunhofer, podemos determinar os mínimos de intensidade do espectro de difração.

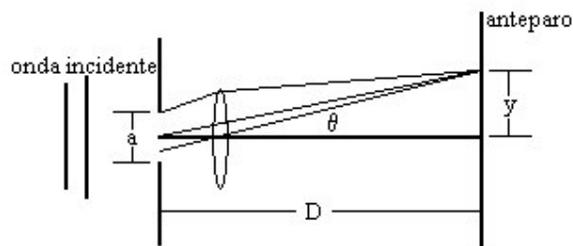


Figura 1
Difração da luz

$$a \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

Onde a é a abertura da fenda e λ é o comprimento de onda da luz.

A intensidade relativa para fenda única é:

$$I_{\theta} = I_m \left(\frac{\operatorname{sen} \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (2a)$$

Onde

$$\alpha = \frac{1}{2} \phi = \pi \frac{a \operatorname{sen} \theta}{\lambda} \quad (2b)$$

ϕ é a diferença de fase.

Se $\alpha = m\pi$, (mínimos) então das equações 2a e 2b temos:

$$a \operatorname{sen} \theta = m\lambda$$

Igual a equação acima para mínimos de difração.

A intensidade para máximos de difração de Fraunhofer de fenda única situa-se aproximadamente a meia distância entre os mínimos e podem ser obtidos fazendo:

$$\alpha = \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi$$

Então da equação 2a temos:

$$I_{\theta} = I_m \left[\frac{\operatorname{sen} \left(m + \frac{1}{2}\right)\pi}{m + \frac{1}{2}} \right]^2 \quad (3)$$

Logo a intensidade relativa será:

$$\frac{I_{\theta}}{I_m} = \frac{1}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2 \pi^2}$$

Da figura 1 podemos encontrar a seguinte relação linear entre o máximo central e o primeiro mínimo,

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{y}{D} \quad (4)$$

Onde y é a distância entre o máximo central e o primeiro mínimo de difração e D é a distância da fenda até o anteparo.

INTERFERÊNCIA

Quando duas ondas de mesma frequência se propagam aproximadamente na mesma direção, com uma diferença de fase constante em relação ao tempo, elas podem combinar-se de forma que a energia resultante não se distribui uniformemente através do espaço, sendo máximas em certos pontos e mínimas em outras. Este fenômeno é chamado de interferência.

Da figura 2 podemos mostrar:

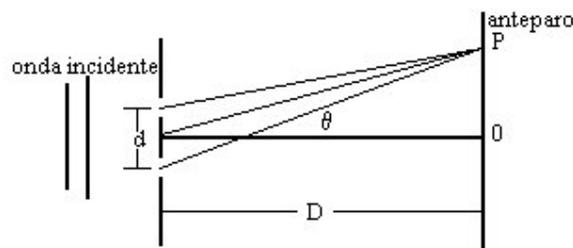


Figura 2
Interferência da luz

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad (5)$$

Onde d é a distância entre as fendas e $m = 0, 1, 2, 3, \dots$ para máximos de interferência e:

$$d \operatorname{sen} \theta = \left(m + \frac{1}{2} \right) \lambda \quad (6)$$

Para mínimos de interferência.

A intensidade de interferência será:

$$I_{\theta} = I_m \cos^2 \beta \quad (7a)$$

Onde:

$$\beta = \frac{1}{2} \phi = \frac{d\pi}{\lambda} \sin \theta \quad (7b)$$

INTERFERÊNCIA E DIFRAÇÃO (FENDA DUPLA)

A figura 3 mostra a difração de fenda dupla. Observando-a podemos ter:

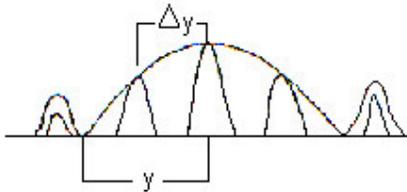


Figura 3

Curva de interferência e difração da luz

$$\Delta y = \frac{\lambda D}{d} \quad (8)$$

Onde Δy é a separação linear entre dois máximos adjacentes de interferência, d é à distância entre as fendas e D é à distância das fendas ao anteparo.

O efeito combinado da intensidade da figura de difração e interferência é:

$$I_{\theta} = I_m (\cos \beta)^2 \left(\frac{\sin \alpha}{\alpha} \right)^2 \quad (9)$$

EXPERIMENTO

DIFRAÇÃO E INTERFERÊNCIA DA LUZ

MATERIAL

Laser 660-680nm

Fendas (conjunto de fendas simples e duplas – Pasco)

Paquímetro

Trena

PROCEDIMENTO

- 1- Monte um sistema com o laser e a fenda simples (ou paquímetro), como mostra a figura 4 para obter a figura de difração na parede. Meça os valores de y e D (figura 1) usando as equações 1 e 4, encontre o valor de a da fenda. Compare com o valor lido diretamente na fenda (ou paquímetro). Faça isto para $m=1$ e $m=2$!

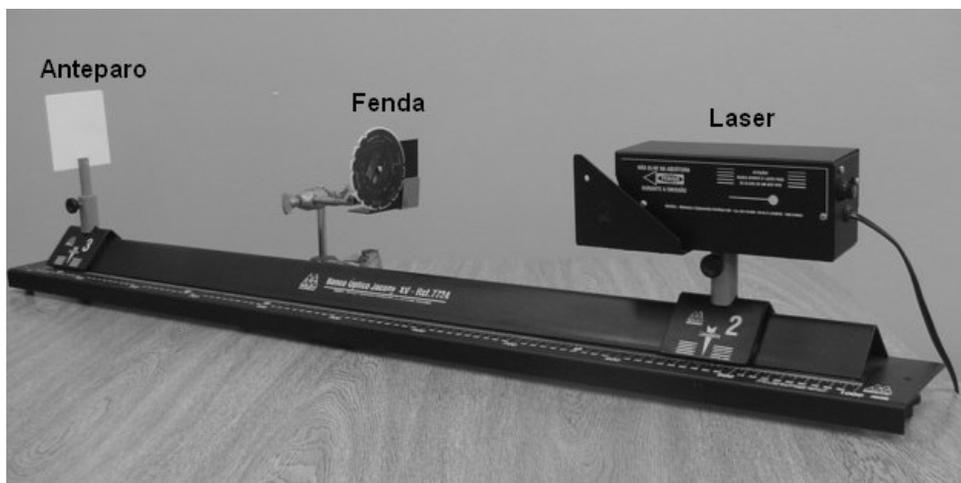


Figura 4

Montagem experimental da difração e interferência da luz

- 2- Varie a abertura da fenda e veja o que esta acontecendo com a figura de difração. A distância entre os mínimos de difração aumenta ou diminui quando o comprimento da fenda aumenta?

- 3- Coloque a fenda dupla (use primeiro a fenda 0,08/0,25 isto é $a=0,08\text{mm}$ e $d=0,25\text{ mm}$) acoplada ao laser. Observe a figura de interferência. Encontre o valor de d , usando as equações 5 e 8. Faça para $m=1$ e $m=2$!

- 4- Mude a fenda com o mesma $a = 0,08$ mas com diferente separação d por exemplo 0,50mm, o que acontece com a figura de interferência?

- 5- Coloque a fenda $a = 0,04\text{mm}$ e $d = 0,125$ a 0,75mm e verifique o que ocorre com a figura de interferência.

BIBLIOGRAFIA

- 1- D. Halliday, R. Resnick – Física 4 – Quarta Edição. 1986
- 2- Sears, Zemansky, Young – Física 4 – Segunda Edição.
- 3- Pasco scientific – Instruction manual and experiment guide for pasco scientific model OS-8529. 1997.

MEDIDA DO COMPRIMENTO DE ONDA (REDE DE DIFRAÇÃO)

INTRODUÇÃO

Quando as ondas de luz incidem no anteparo com dois ou mais orifícios, ou fendas (como no caso de uma rede de difração), no ponto central haverá um máximo, devido ao fato das distâncias de cada fenda até o ponto serem iguais. Observa, através da figura 1 que no ponto P a onda originária do orifício inferior percorre um caminho mais longo.

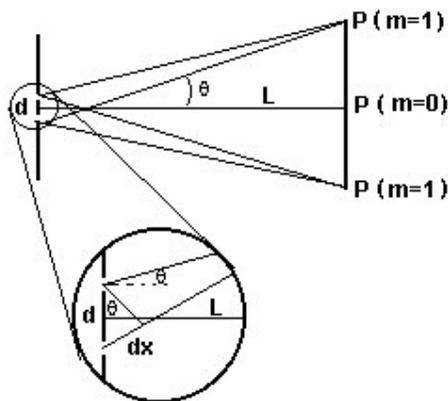


Figura 1

Rede de difração

Este atraso é igual a $d \sin\theta$, onde d é a distância entre duas fendas e θ é o ângulo entre a direção p e a horizontal. No caso deste atraso for igual 0, 1, 2, 3,... ou m comprimentos de onda λ , a interferência será construtiva no ponto p , então:

$$m\lambda = d \sin\theta$$

$$m = 0, 1, 2, 3, \dots$$

EXPERIMENTO

MATERIAL - Laser diodo – 660 a 680 nm; Banco ótico - Lanterna

PROCEDIMENTO

1- Monte o banco ótico para o experimento com rede de difração (figura 2).

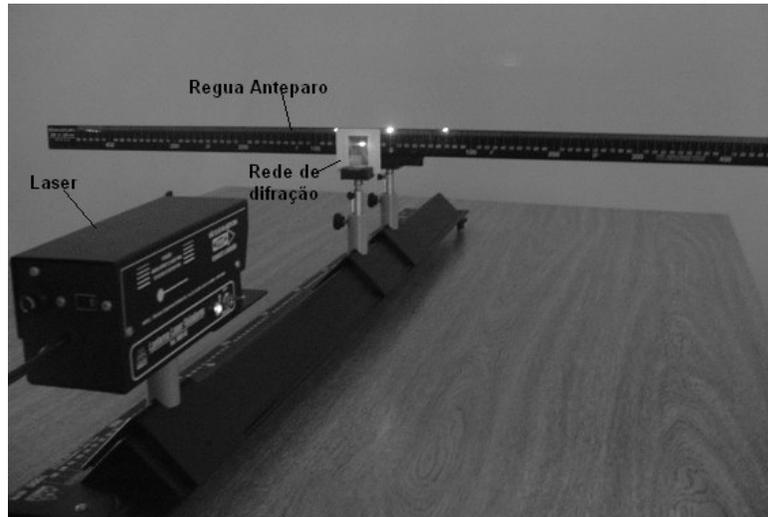


Figura 2

Montagem experimental para medida do comprimento de onda da luz

- 2- Ligue o laser e observe a série de pontos luminosos que aparecem sobre a régua horizontal, devido à existência da rede de difração em seu percurso.
- 3- Determine a distância entre o máximo central e qualquer um dos máximos existentes (1° máximo à esquerda ou 1° máximo à direita).
- 4- Meça a distância L que separa a rede de difração da régua horizontal.
- 5- Determine o valor do ângulo θ .
- 6- Sabendo que a rede de difração utilizada neste experimento possui 750 fendas por mm, determine o valor de d em nanômetro ($1\text{nm}= 10^{-9}\text{m}$).
- 7- Repita os itens 3 a 7 por mais duas vezes em posições diferentes da rede de difração. Determine o valor do comprimento de onda do laser.
- 8- Monte o banco ótico com uma lanterna e determine o comprimento de onda médio para cada radiação componente (vermelho, alaranjado, amarelo, verde, azul, anil, violeta).
- 9 – Faça três medidas para cada cor e determine o desvio para cada uma.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Ramos, L. A.M. Catelli, F. Física Experimental, Aplicando laser didático para banco ótico – Cachoeirinha – RS.
- 2- Resnick, R. Halliday, D. Física 4 – Livros Técnicos e Científicos, 4^a edição 1986.
- 3- Sears e Zemansky – Física – Vol. 4. 1986.

POLARIZAÇÃO DA LUZ

INTRODUÇÃO

POLARIZAÇÃO

Um dos métodos correntes para a polarização da luz é a absorção desta, numa folha de um material conhecido comercialmente como polaróide. Este material contém longas cadeias de hidrocarbonetos esticadas em uma dada direção, durante o processo de manufatura. Tais cadeias ficam condutoras nas freqüências ópticas quando a folha é mergulhada em uma solução de iodo. Quando a luz incide sobre uma destas placas com o vetor campo elétrico paralelo as fibras, formam-se correntes ao longo destas, com uma conseqüência absorção da luz. Para o vetor campo elétrico perpendicular às fibras, não há formação de correntes e praticamente toda luz é transmitida. Esta particular orientação do polaróide é chamada de eixo de transmissão do polaróide. Veja figura 1:

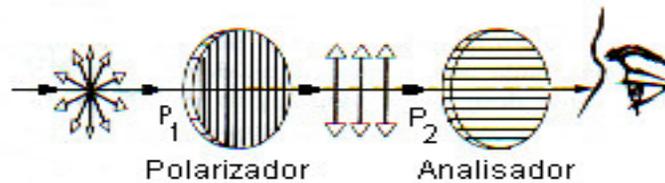


Figura 1

Dois polaróides com os eixos de transmissão formando um ângulo

POLARIZAÇÃO POR REFLEXÃO

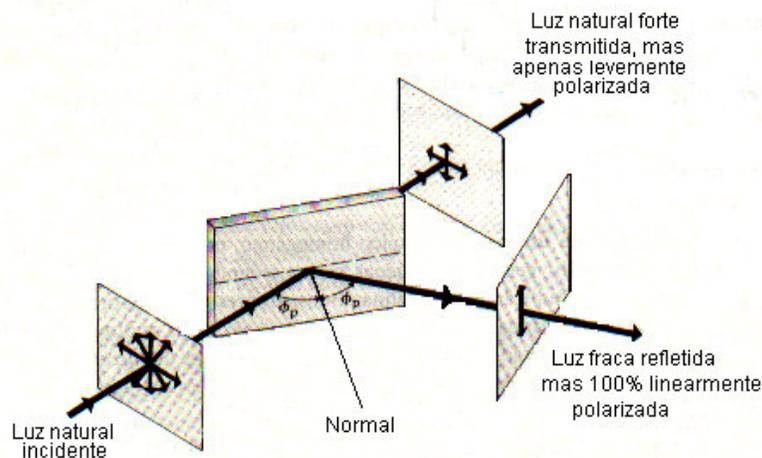


Figura 2

Quando a luz incide no ângulo de polarização, o feixe refletido, é linearmente polarizado.

Quando a luz natural atinge uma superfície refletora, verifica-se que existe uma reflexão preferencial para as ondas em que o vetor campo elétrico vibra perpendicularmente ao plano de incidência (plano de incidência é o que contém o raio incidente e a normal à superfície). A incidência normal é uma exceção, pois todas as direções de polarização são igualmente refletidas. Para um certo ângulo particular de incidência, conhecido como ângulo de polarização, ϕ_p , nenhuma luz é refletida, exceto aquela para a qual o vetor campo elétrico é perpendicular ao plano de incidência, como mostra a figura 2.

Quando o ângulo se torna igual a ϕ_p , os raios refletido e refratado são perpendiculares entre si, veja figura 3. Quando isso ocorre o ângulo de refração, ϕ_r , torna-se o complemento de ϕ_p , de modo que:

$$n_p \text{ sen } \phi_p = n_r \text{ sen } \phi_r \quad (\text{lei de Snell})$$

Também temos:

$$n_p \sin \phi_p = n_r \cos \phi_p$$

Logo:

$$\operatorname{tg} \phi_p = \frac{n_r}{n_p} \quad (1)$$

Esta relação é conhecida como lei de Brewster.

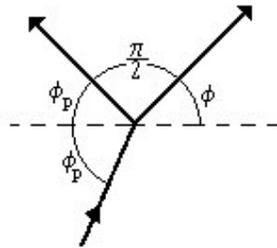


Figura 3

No ângulo de polarização, os raios refletido e transmitido são perpendiculares entre si.

LEI DE MALUS

Em experiências quantitativas, a intensidade da luz transmitida pode ser medida através de uma fotocélula conectada a um amperímetro. Na figura 4, a luz polarizada incide sobre um polarizador cujo eixo é representado pela linha tracejada. Quando se gira o polarizador em torno de um eixo paralelo ao raio incidente, a intensidade não varia. O polarizador transmite as componentes das ondas incidentes, nas quais o vetor **E** é paralelo à direção de transmissão do polarizador e por simetria, as componentes são iguais para todos os azimutes.

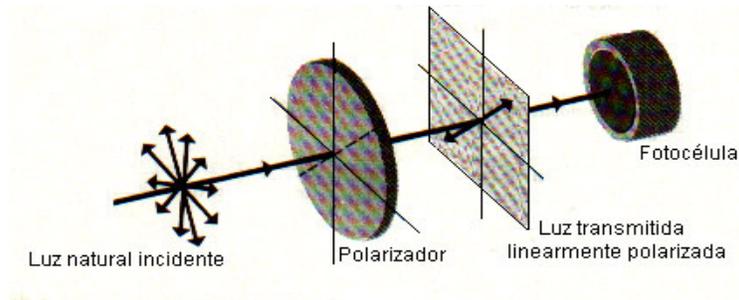


Figura 4

A intensidade da luz linearmente polarizada transmitida.

Observa-se que a intensidade transmitida é exatamente a metade da incidência já que a luz incidente pode ser sempre decomposta em uma componente polarizada paralelamente ao eixo do polarizador e uma perpendicular a ele. Como a luz incidente é uma mistura aleatória de todos os estados de polarização, estas duas componentes são, em média, iguais. Assim (no polarizador ideal), metade da luz incidente, a correspondente à componente paralela ao eixo do polarizador, é transmitida.

Suponha agora que se inseriu um segundo polarizador, entre o primeiro e a fotocélula, como na figura 5. Suponha que a direção de transmissão desse segundo polarizador chamado analisador seja vertical e que a do primeiro polarizador faça um ângulo θ com a vertical. Apenas a componente paralela de amplitude $E \cos \theta$, será transmitida pelo analisador. Como a quantidade de energia é proporcional ao quadrado da amplitude, logo:

$$I = I_{m\acute{a}x} \cos^2 \theta \quad (2)$$

Onde $I_{m\acute{a}x}$ é a máxima quantidade de luz transmitida e I é a quantidade de luz transmitida sob o ângulo θ . A equação 2 é chamada de lei de Malus.

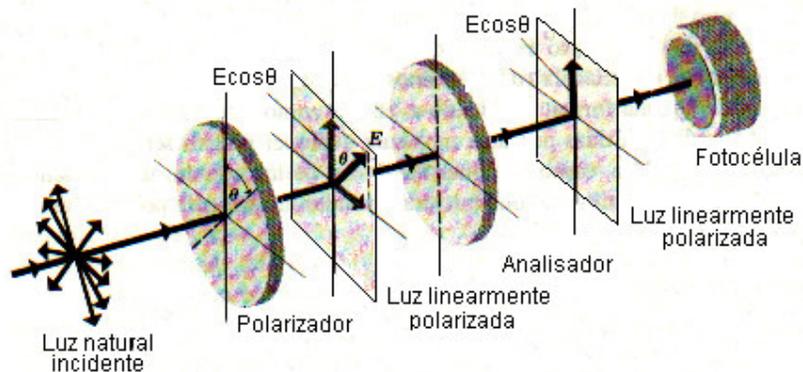


Figura 5

O analisador apenas transmite a componente da luz linear paralela à sua direção de transmissão.

EXPERIMENTOS

POLARIZAÇÃO POR REFLEXÃO

MATERIAL

Laser

Material transparente (vidro)

Polaróides

Goniômetro (disco graduado)

PROCEDIMENTO

- 1- Monte um aparato experimental para medir o ângulo de polarização por reflexão em material transparente como mostra a figura 6. Use lanterna e o Laser.

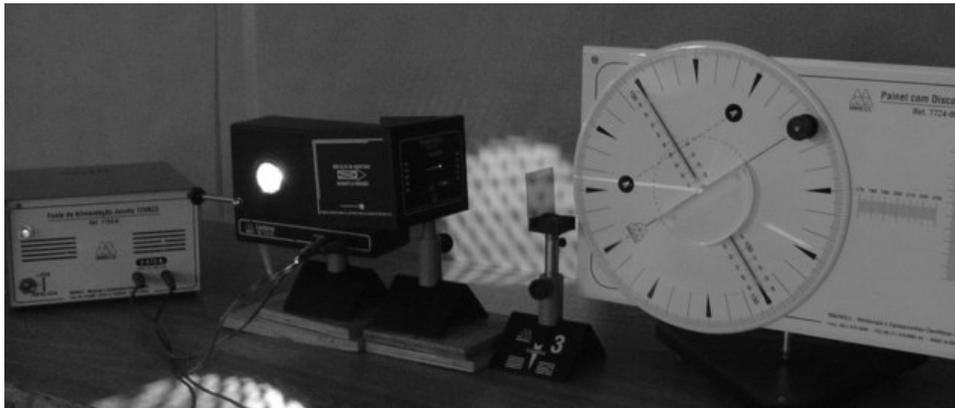


Figura 6

- 2- Determine o ângulo quando a luz refletida é totalmente polarizada. Discute o resultado.
- 3- Coloque o polarizador na saída da luz da lanterna e observe (com o ângulo acima encontrado) se a reflexão ocorre ou não, porque?
- 4- Gire o polarizador de 90° o que ocorre com a reflexão? Explique o resultado.

COMPROVAÇÃO DA LEI DE MALUS

MATERIAL

Laser e /ou lanterna
Polaróides
Amperímetro
LDR

PROCEDIMENTO

1- Monte um aparato experimental semelhante à figura 7.

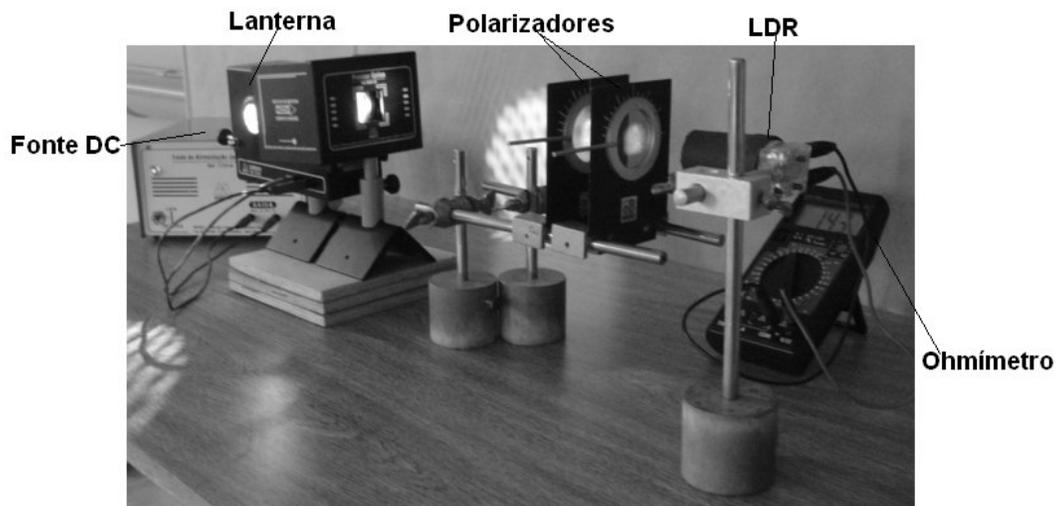


Figura 7

- 2- Meça a resistência, R , no multímetro para cada ângulo θ .
- 3- Faça um gráfico de intensidade ($1/R$) por θ .
- 4- Faça o gráfico de intensidade ($1/R$) contra $\cos^2\theta$.
- 5- Estes gráficos comprovam a lei de Malus? Por quê?

BIBLIOGRAFIA

- 1- Sears, Zemansky e Young - Física 4 – 2ª edição.
- 2- Francisco Catelli - Física Experimental 4 – Cadernos da Universidade de Caxias do Sul –.