

Relatório Final
Aluna Hellen Cristine Dos Santos
Orientador: Omar Teschke

Aprimoramento do guia de experimentos de



Física Experimental IV - F429

Data de término do trabalho: Dia 05/07/2005

Introdução

Os cursos experimentais de física básica vem sendo lecionados com as mesmas apostilas há muito tempo. É necessário então que essas apostilas sejam revistas e aprimoradas ou até mesmo mudar o jeito com que são feitos certos experimentos com intuito de levar ao aluno mais informações, e informações que possibilitem um aprendizado que não seja enfadonho, mas sim algo que o aluno tenha prazer em fazer, que o aluno se sinta motivado a realizar os experimentos e realmente no fim de cada experimento o aluno possa descrever com mais facilidade o que aprendeu e assim produzir um relatório de boa qualidade.

Material

O material utilizado será as notas que o Professor Omar escreveu e materiais de pesquisa listados na referência. Possivelmente no dia da apresentação demonstrarei um dos 11 experimentos que constarão na apostila.

Objetivos

Neste trabalho desenvolverei os roteiros de experimentos elaborados pelo Prof. Omar Teschke a fim de deixar estes roteiros de forma mais didática, incrementando-os com conceitos físicos dos experimentos, desenhos ilustrativos, gráficos, etc.

A introdução da apostila será feita pelo professor Omar.

Desenvolvimento

Este trabalho foi desenvolvido com base na apostila de F429 publicada em 1998. Utilizei os nomes das experiências e busquei conceitos sobre os componentes também sobre tipos de circuitos. Esta apostila tem como princípio trazer ao aluno mais informação que a antiga e isto vem através dos conceitos mais elaborados que procurei inserir a ela. Na realização deste, não tive nenhum contato com os experimentos, apenas os repeti conforme eles são descritos no site do professor Omar (<http://www.ifi.unicamp.br/~oteschke/F429/F429.htm>). Utilizei o programa CircuitMaker 6 Student, que é um programa desenvolvido para simular circuitos. A edição do trabalho foi feita no Word e foi feito tratamento em algumas figuras no Paint-Windows.

Apresentação dos Experimentos

A geração e distribuição de energia elétrica para consumo público é sempre feita em corrente alternada senoidal. Isto significa que a tensão e a corrente variam ao longo do tempo em forma de uma função senoidal e a variação por unidade de tempo, isto é, a frequência, é constante. No Brasil foi adotada a frequência padrão de 60 Hz. Alguns países usam o padrão de 50 Hz. São bastante fortes as razões para o uso da corrente alternada e não da contínua. Geradores e motores de corrente alternada são muito mais simples e eficientes. Correntes contínuas não podem ter suas tensões facilmente convertidas (aumentadas ou reduzidas). Na realidade, é preciso transformá-las em alternadas, converter com transformadores e transformar novamente em contínuas. Também podem ser usados conjuntos motores-geradores. Para as correntes alternadas basta um transformador.

Entretanto, a corrente contínua apresenta uma vantagem: as perdas na transmissão são menores. Para distâncias e potências muito altas pode ser economicamente viável a transformação em contínua na geração e o processo inverso no destino.

Além disso, por razões de eficiência, a geração é sempre feita em forma trifásica. Significa que os condutores não serão dois, mas sim três, cujas tensões ou correntes estão igualmente deslocadas entre si em relação ao tempo, desde que um período completo equivale a 360° , o deslocamento ou diferença de fases entre cada será de $360/3 = 120^\circ$.

A Figura 1 mostra uma representação gráfica da defasagem. É comum designar os condutores pelas letras r, s, t (ou L1, L2, L3). E são genericamente chamados fases.

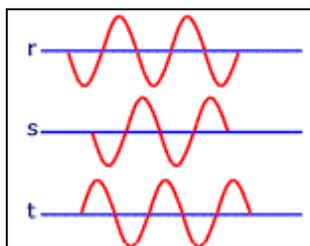


Figura 1: Defasagem dos condutores de corrente trifásica.

Tensão no circuito trifásico

A tensão entre duas fases quaisquer de uma linha trifásica é a mesma, sendo esta a sua referência de tensão (às vezes chamada **tensão de linha** ou **tensão entre fases**).

Transformadores (e outros elementos trifásicos como motores) podem ter seus enrolamentos ligados em dois arranjos distintos: **triângulo** e **estrela**. A Figura 2 mostra o esquema típico de uma ligação de um transformador para a distribuição secundária.

O primário tem seus enrolamentos ligados em triângulo e, assim, cada um recebe a tensão de 13,8 kV (poderia ser também em estrela, mas foi colocado desta forma para visualizar as diferenças). Já o secundário tem os enrolamentos ligados em estrela e o nó central é chamado de **neutro**, o que adiciona um quarto condutor ao circuito (são os 4 fios que se vê na parte intermediária dos postes). O condutor neutro é geralmente ligado a um aterramento, ficando, portanto com um potencial nulo em relação à terra. Nesta configuração, a tensão entre fases é igual a $\sqrt{3}$ vezes a tensão entre fase e neutro (às vezes chamada simplesmente **tensão de fase**). Pode-se conferir que $220 \cong 127\sqrt{3}$.

Este arranjo dá uma flexibilidade na ligação aos consumidores. Para a maioria dos consumidores de pequeno porte basta os 127 V de uma fase e o neutro, o que é chamado de **ligação monofásica**. Se o consumidor tem um número de cargas maior, pode ser interessante fornecer duas fases e o neutro (**ligação bifásica**), para um melhor equilíbrio de cargas na rede. A **ligação trifásica** deve ser usada se o número de cargas é ainda maior e/ou se existem equipamentos trifásicos como motores. Lembrar que motores trifásicos são mais simples e eficientes e apresentam menos problemas que os monofásicos.

Para consumidores de grande porte, indústrias e outros, ligados à distribuição primária e que têm, portanto, suas próprias subestações, existem padrões mais elevados de tensão para menores custos das instalações. Valores usuais são 220/380 V ou 254/440 V ou maiores.

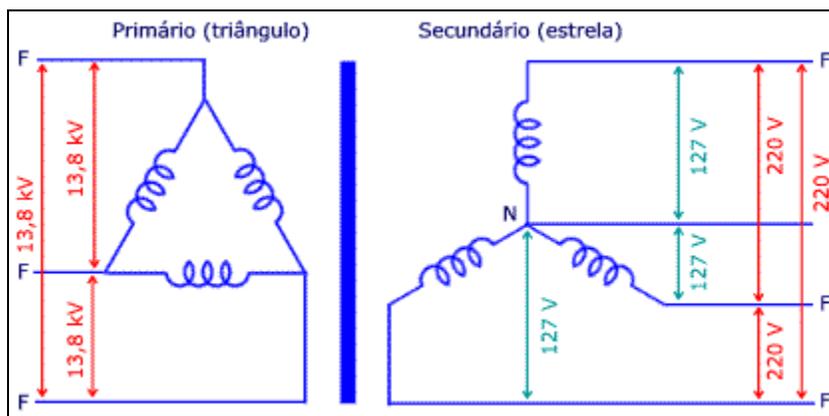


Figura 2: Esquematização do transformador para um sistema trifásico.

Tensão, corrente e potência em um circuito trifásico

Tensão de linha V : tensão entre duas fases da linha.

Corrente de linha I : corrente que circula por cada fase.

Tensão de fase V_f : tensão sobre a carga.

Corrente de fase I_f : corrente que circula pela carga.

Na configuração triângulo, a tensão de linha é igual à de fase. Assim: $V = V_f$ e, para a corrente, $I = \sqrt{3} I_f$. Na configuração estrela, a corrente de linha é igual à de fase. Assim: $I = I_f$ e, para a tensão, $V = \sqrt{3} V_f$.

Para a potência, vale em ambos os casos:

Potência aparente $P = \sqrt{3} V I$.

Potência ativa $P_A = \sqrt{3} V I \cos \phi$.

Potência reativa $P_R = \sqrt{3} V I \sin \phi$.

Onde $\cos \phi$ é o fator de potência conforme tópico anterior. Portanto, uma instalação ideal deve ter $\cos \phi = 1$. Como isto só ocorre com cargas puramente resistivas (ex: lâmpadas incandescentes, resistências de aquecimento), para as demais é sempre menor que 1.

Todas as igualdades supõem um sistema equilibrado, onde as tensões entre fases são idênticas e as cargas c também.

Agora um exemplo prático: suponhamos que $V = 220\text{ V}$ e que as cargas c sejam os enrolamentos de um motor trifásico com tensão nominal de 220 V . Assim, na configuração triângulo, o motor estará operando em condições normais, pois a tensão em cada enrolamento será 220 V . A corrente I_f dependerá da potência do motor. Entretanto, se ligado em estrela, a tensão em cada enrolamento será $V_f = 220/\sqrt{3}$. Isto significa que o motor irá operar com uma potência menor.

Logo que são ligados, os motores demandam um pico elevado de corrente da rede, pois ainda não atingiram a rotação nominal. Se a partida é dada na configuração estrela, o pico será menor devido à menor tensão em cada enrolamento. Esta técnica é bastante utilizada para reduzir os picos de partida e é chamada de **partida em estrela-triângulo**. Isto é feito por um conjunto de chaves magnéticas que ligam o motor na configuração estrela e certo tempo depois comutam para o triângulo. Essa comutação pode ser manual ou automática com temporizadores.

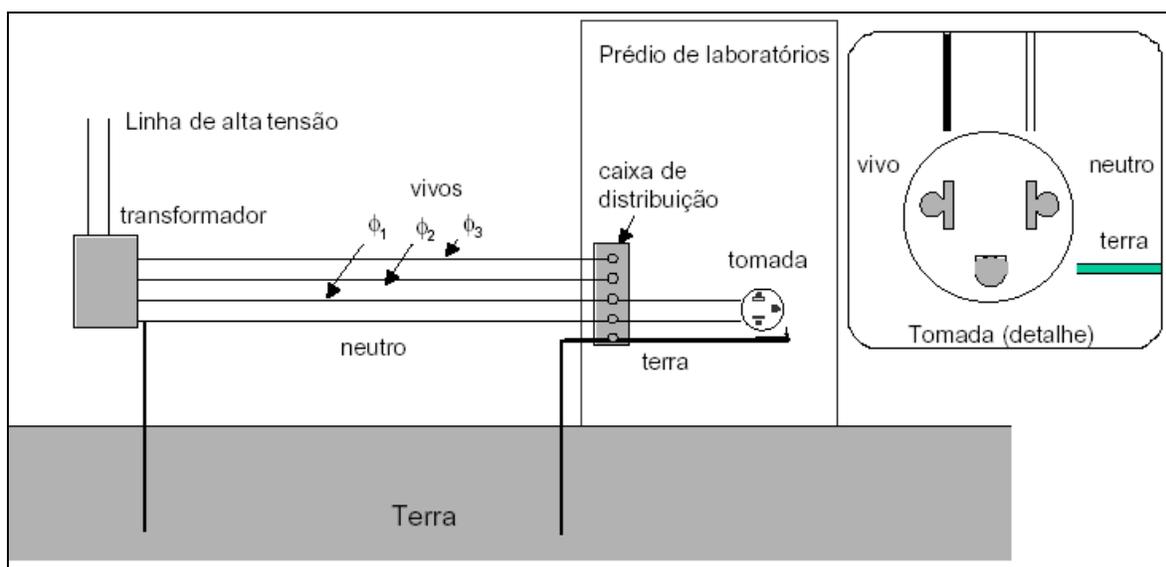


Figura 3: Esquema da linha de alimentação elétrica.

Primeira Experiência

Medidas de tensão alternada utilizando voltímetro AC

1. Introdução

Corrente Alternada

Nos experimentos que iremos desenvolver usaremos corrente alternada. Neste primeiro experimento vamos fazer medidas usando um osciloscópio e um voltímetro. Então alguns conceitos serão introduzidos.

Uma tensão alternada é a diferença de potencial $V(t)$, que varia harmonicamente com o tempo. A tensão ou a corrente alternada é mostrada na Fig. 1 e pode ser descrita matematicamente como:

$$V(t) = V_0 \cos(\omega t + \Phi_0) \quad (1)$$

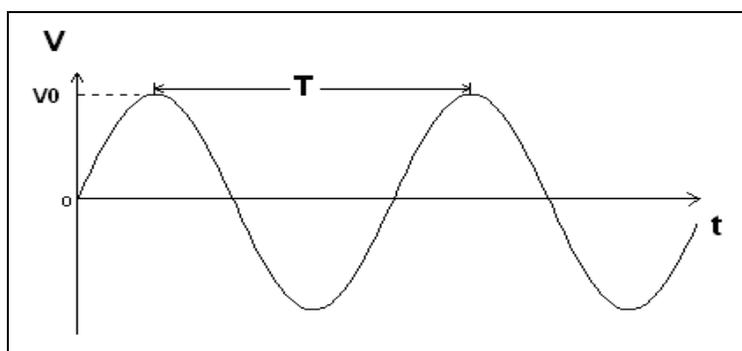


Figura 1: Comportamento de tensão alternada.

onde V_0 é o valor máximo da tensão, também chamada de *valor de pico*, t o tempo, ω e Φ_0 são respectivamente a frequência angular e a fase.

O ângulo de fase Φ_0 pode ser determinado pela equação:

$$\Phi_0 = \arcsen \left[\frac{V(0)}{V_0} \right] \quad (2)$$

onde $V(0)$ é a tensão em $t = 0$. Quando temos uma impedância (um resistor, um capacitor, um indutor, por exemplo) ligada aos terminais de um gerador de amplitude V_0 , a amplitude I_0 da corrente alternada será dado por:

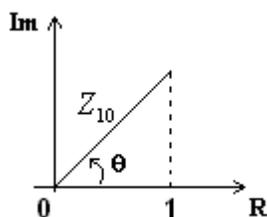
$$I_0 = \frac{V_0}{Z}, \quad i(t) = I_0 \cos(\omega t + \phi_0) \quad (3)$$

A impedância Z depende do componente em que se mede a corrente, podendo ser real ou imaginária.

Fasores

Os fasores podem ser usados para representação de quantidade que variam com tempo, como ondas senoidais, em termos de sua magnitude e posição angular (fase). O comprimento do fasor “vetor” representa a magnitude. O ângulo θ (relativo a 0°), representa a posição angular. A função seno pode ser representada pela rotação de 360° de um fasor. Os valores instantâneos da função seno em qualquer ponto é igual a distância vertical entre a ponta do fasor e o eixo horizontal. A figura abaixo mostra como o fasor “traça” a função seno. Fig. 8-34 pag. 298

Números complexos



$$Z_{10}(\theta) = |Z_{10}|e^{j\theta} = |Z_{10}|(\cos\theta + j\sin\theta)$$

$$\theta = \omega t$$

$$\omega = 2\pi f$$

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

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Representação de Corrente Alternada

$$U(z, t) = V_0 e^{j(\gamma z - \omega t)}, \quad j = \sqrt{-1}$$

$$U(\theta) = U_0 e^{j\theta}$$

O gráfico do módulo desta função é mostrado na Fig. 1.

Nesta equação

$$\theta = \gamma z$$

$$\gamma = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$v = 2\pi k$$

$$k = \frac{1}{\lambda}$$

onde λ é o comprimento de onda e k o número de onda. Então, podemos escrever a tensão como: $V(z,t) = V_0 e^{jz} e^{-j\omega t}$, $V(t) = V_0 e^{j\omega t}$ e assim introduzimos a fase na tensão e a corrente alternada será $i(t) = \frac{V(t)}{R}$.

A representação da tensão e corrente alternadas em números complexos é o que chamamos de fasores, onde Z_{10} pode ser o módulo da tensão medida entre o ponto 0 e 1 ou o módulo da corrente em um componente localizado entre 0 e 1 mostrado na Fig. 2. Onde a fase é $\theta = \omega t$.

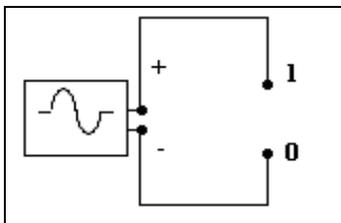


Figura 2

2. Objetivos

Fazer medidas com um voltímetro do valor eficaz da tensão.

3. Material

Gerador de sinais, voltímetro analógico de corrente alternada.

4. Procedimento Experimental

Monte o experimento conforme a Fig. 3.

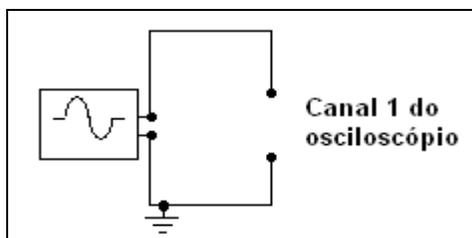


Figura 3

Ligue, conforme a figura 3, o gerador de sinais no canal 1 do gerador, selecione uma frequência qualquer e obtenha na tela do osciloscópio uma boa imagem (tensão em função do tempo), tendo a imagem, meça a amplitude V_0 da tensão e o período. Determine também a fase e a frequência angular do sinal. Reproduza fielmente em seu caderno de experiências a imagem da tela, indicando na mesma as posições em que mediu T , V_0 e $V(0)$.

1. Medir com voltímetro a tensão da rede: 117 V e 220 V.
2. Medir a tensão de saída de um gerador de áudio (~ 5 V) em função da frequência $15\text{Hz} < f < 1,5\text{MHz}$.

5. Bibliografia

- **Floyd:** Página 278 à 306
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito.
- **Pesquisar sobre: Funcionamento do voltímetro AC, Galvanômetro e Diodo Retificador, Rede elétrica e Circuito de alimentação trifásico, neutro e terra.**

Segunda Experiência

Medida usando o osciloscópio: Vertical.

1. Introdução

Vertical - CRT: Gerador de elétrons, movimento dos elétrons.

2. Material

Gerador de áudio, osciloscópio e multímetro.

3. Objetivos

Medida da tensão de saída de um gerador de áudio em função da frequência utilizando o vertical do osciloscópio. Analisar a precisão de ambos instrumentos de medida e compará-los.

4. Procedimento Experimental

Ligue ao gerador de sinais no canal 1 do osciloscópio e utilizando esta montagem (fig. 1), meça a tensão de saída do gerador de áudio com o osciloscópio e depois com um multímetro.

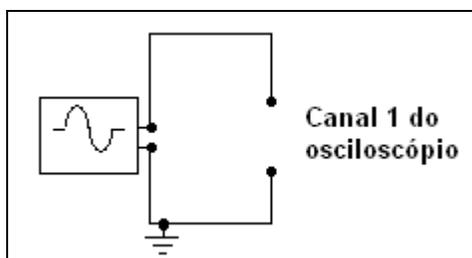


Figura 1

1. Varie a frequência: $15\text{Hz} < f < 1,5\text{MHz}$ e anote os valores correspondentes da tensão.
2. Compare os resultados com os da aula anterior e compare qual das medidas é mais precisa.

5. Bibliografia

- **2245A Operators Manual:** - Controles 2-1 à 2-20
- Familiarização 3-1 à 3-16
- **Floyd:** Página 313 à 321

1. Calibrar o gerador de áudio para as frequências 15Hz, 1kHz e 15MHz.
2. Obter no osciloscópio e registrar as curvas para as frequências: 1kHz, 10kHz e 15kHz.
3. Para realizar estas tarefas é necessário ler o manual de instruções do osciloscópio indicado na bibliografia. Utilize os comandos MODE e TRIGGER para ajustar as curvas.

5. Bibliografia

- **2245A Operators Manual:** - Controles 2-1 à 2-20
- Familiarização 3-1 à 3-16
- **Floyd:** Página 313 à 321.

Quarta Experiência

Circuito RC Série – Medida da frequência de corte

1. Introdução

Podemos mostrar a relação entre tensão e a corrente de um capacitor em um circuito AC conectando um capacitor em série com um resistor a uma fonte de tensão alternada e então observar a tensão no capacitor e no resistor com um osciloscópio. Os circuitos são mostrados a seguir:

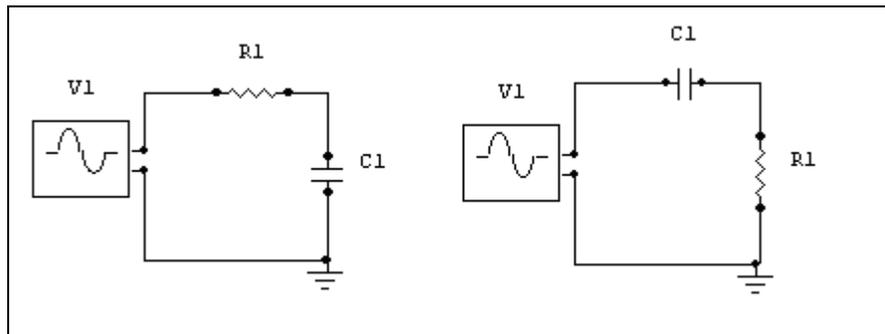


Figura 1: Circuitos que podem ser montados para analisar a relação entre as tensões no capacitor e no resistor.

Para cada medida, as posições dos componentes R e C são trocadas e um dos lados do componente tem que estar ligado ao *terra*, isto é necessário para prevenir que no circuito haja realmente um *terra*. Lembre-se de que a tensão e corrente em um resistor estão sempre em fase. Já no capacitor, elas estão defasadas e sempre de 90° , isso poderá ser observado no osciloscópio. Estas duas montagens funcionam como um filtro de frequência, os gráficos da tensão em função da frequência são mostrados nas figuras 2 e 3.

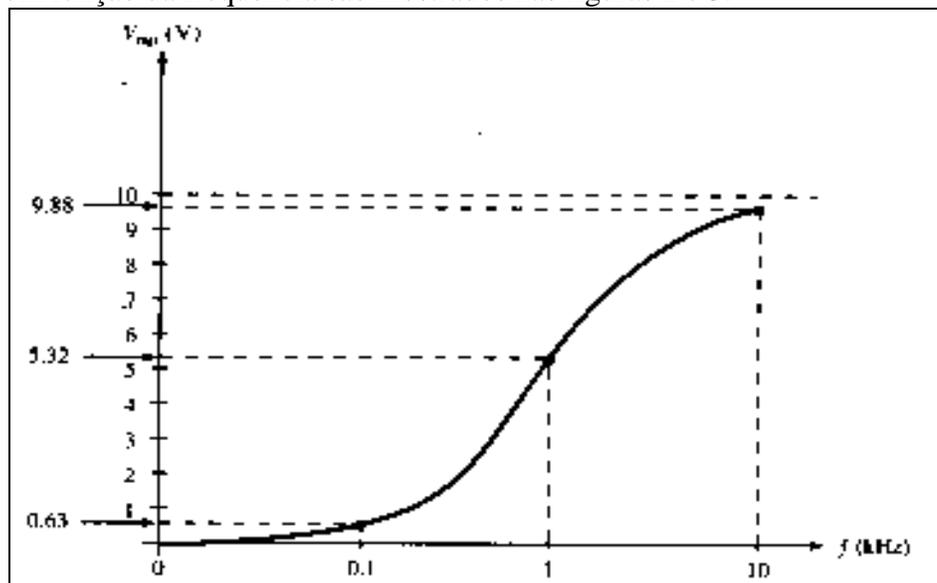


Figura 2: Filtro passa-alta, relativo a montagem Capacitor-Resistor.

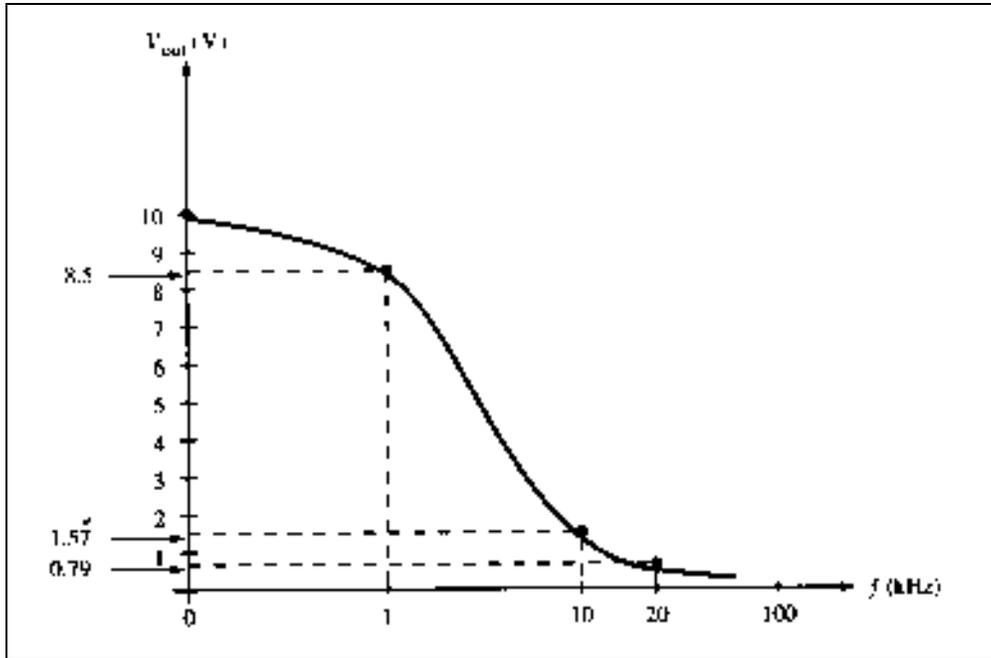


Figura 3: Filtro passa-baixa relativo a montagem Resistor-Capacitor.

A expressão que relaciona a tensão e a frequência no capacitor é dada por:

$$V_C / V_0 = \frac{1}{\left[1 + (1/2\pi fRC)^2\right]^{1/2}} \quad [1]$$

e a expressão para a tensão e a frequência no resistor é dada por:

$$V_R / V_0 = \frac{R}{\left[R^2 + (1/2\pi fC)^2\right]^{1/2}} \quad [2]$$

Reatância capacitiva, χ_c

A reatância capacitiva é oposta a corrente alternada, expressa em ohms.

$$\chi_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

A frequência na qual a reatância capacitiva se iguala à resistência no circuito RC Série é chamada de frequência de corte f_c e é dada por:

$$f_c = (2\pi RC)^{-1}$$

2. Objetivos

Calcular a resistência interna do gerador de áudio R_S utilizando a medida da frequência de corte de um circuito RC conhecido.

3. Material

Resistência, capacitor, gerador de áudio e osciloscópio.

4. Procedimento Experimental

Montar o circuito RC de acordo com a figura 1. Calcule frequência de corte e depois a varie para obter os valores de tensão correspondente.

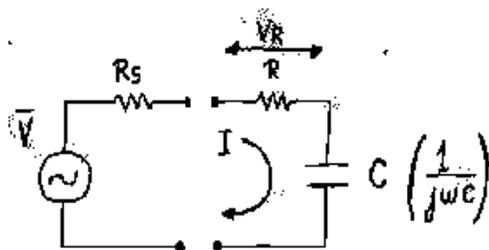
1. Escolher o valor R e C.
2. Deduza uma expressão para V_R/V em função da frequência de corte. Dica: use a Lei das malhas.
3. Medir o $|V_R/V|$ em função de ω .
4. Fazer o ajuste da curva média com a calculadora.
5. Determinar $\omega_0 = (R_T C)^{-1}$, onde $R_T = R_S + R$.
6. Varie a frequência do sinal nos dois casos, veja o que acontece e descreva qualitativamente e quantitativamente (faça um gráfico de $20\log(V_R/V)$ versus frequência do circuito - resposta de frequência).

5. Bibliografia

- **Floyd:** Página 361 à 374.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito

Anexo: Quarto Experimento.

Tensão no circuito RC: Aplicando a Lei da Malhas neste circuito temos:



$$\bar{V} = \bar{I} \left[(R + R_S) + \frac{1}{j\omega C} \right] = \bar{Z} \bar{I}$$

\bar{V} , \bar{Z} , \bar{I} são números complexos (fasores)

$\bar{Z} \rightarrow$ impedância

$\bar{I} \rightarrow$ corrente

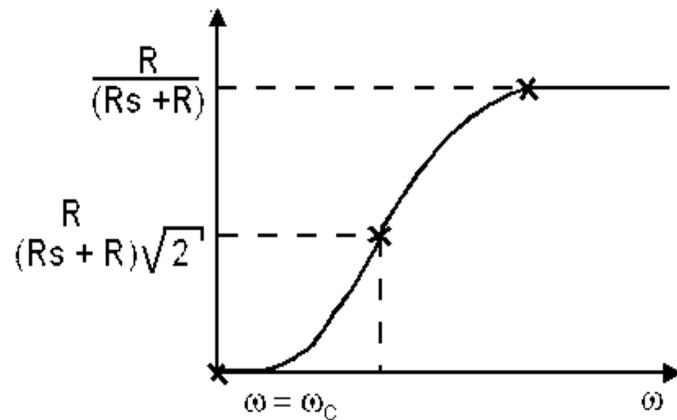
$\bar{V} \rightarrow$ tensão aplicada

$$\left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}} \right| = \frac{R}{\sqrt{(R_s + R)^2 + \left(\frac{1}{\omega C} \right)^2}}, \quad \bar{V} = R\bar{I} = \frac{R\bar{V}}{\bar{Z}}$$

$$\left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}} \right| = \frac{R}{(R_s + R) \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega C (R_s + R)} \right)^2}}$$

$$\left| \frac{\bar{V}_R}{\bar{V}} \right| = \frac{R}{(R_s + R)} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega} \right)^2}}$$

$$(\omega_0)^{-1} = (R_s + R)C$$



Quinta Experiência

Circuito RC Série – Cálculo da Constante de Tempo

1. Introdução

Capacitores

De forma simples, um capacitor é um sistema elétrico formado de duas placas condutoras separadas por um material dielétrico. São conectados fios em cada uma das placas. A figura a seguir mostra um exemplo de capacitor.

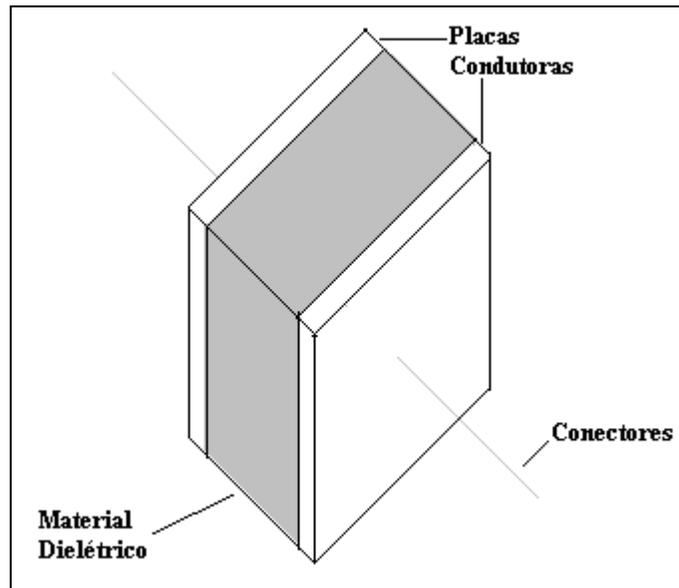


Figura 1: Capacitor de placas paralelas.

Considere um gerador de corrente contínua de força eletromotriz E_0 e resistência R_G conectado, e $t=0$, a um resistor em série com um capacitor com carga inicial $-q_0$ e voltagem $q_0C = -E_0$. A expressão geral para ambas as curvas de carga e descarga do capacitor são dadas pelas seguintes equações para a voltagem e corrente:

$$V_C(t) = V_F + (V_i - V_F) \exp(-t/RC) \quad [1]$$

$$i = I_F + (I_i - I_F) \exp(-t/RC) \quad [2]$$

Onde V_F e I_F são os valores finais e V_i e I_i são os valores iniciais mostrados na figura 2.

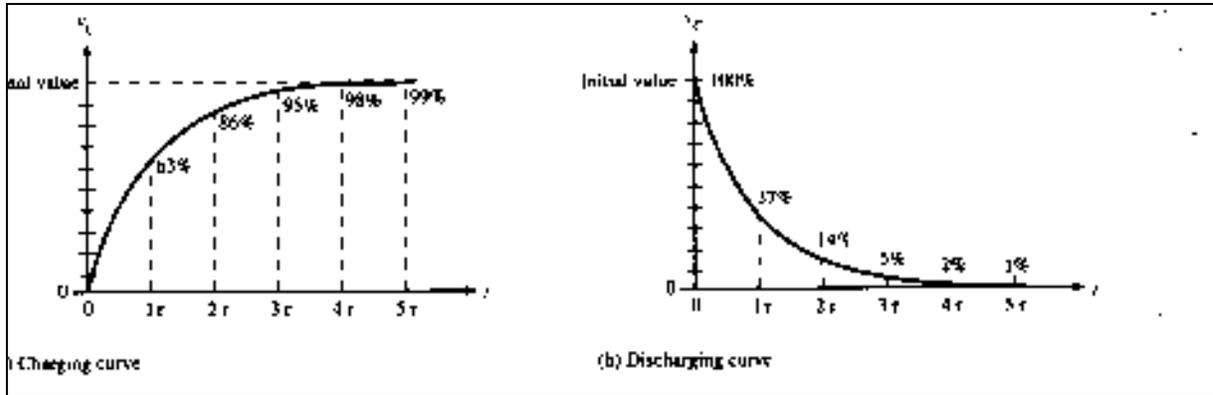


Figura 2: Curvas de carga e descarga de um capacitor.

Cada capacitor tem um tempo de descarga que denotamos de constante de tempo τ . Esta constante pode ser medida pegando dois pontos consecutivos na parte do gráfico que representa a descarga do capacitor.

$$\tau = \frac{(t_2 - t_1)}{\ln(V_{C1}/V_{C2})} \quad [3]$$

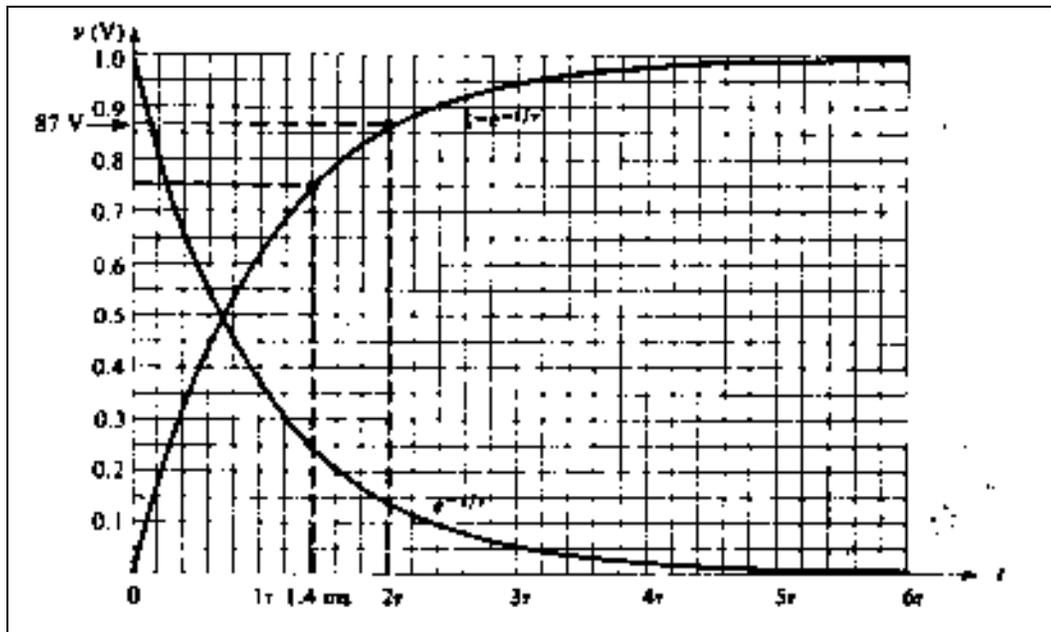


Figura 3: Gráfico da carga e descarga de um capacitor.

Em um circuito AC a resposta da tensão alternada aplicada será uma série de carga e descarga, ou seja, o capacitor carrega enquanto a tensão é positiva e descarrega quando é negativa e como a tensão é periódica a carga e descarga do capacitor também será, obedecendo as expressões (1), (2) e (2).

2. Material

Gerador de áudio, capacitor $1\mu\text{F}$, resistor 100k , osciloscópio e multímetro.

3. Objetivos

Obter o valor da resistência interna do gerador de áudio utilizando a carga e descarga do capacitor.

4. Procedimento Experimental

Monte o circuito conforme a figura 3, conecte o ao gerador de áudio, não se esqueça de ligar o terra no capacitor. Meça a tensão no o resistor no canal 1 do osciloscópio e no canal 2 a tensão no capacitor. A partir das imagens obtenha τ e depois compare com o calculado.

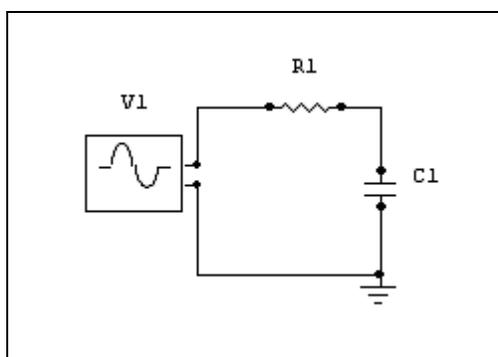


Figura 4: Circuito para a medida da constante de tempo.

1. Escolher um valor de capacitor (C).
2. Estimar a resistência interna do gerador de áudio.
3. Escolher o valor da resistência (R) a ser medida.
4. Escolher o valor da frequência de operação para se obter uma carga e descarga completa.

5. Bibliografia

- **Floyd:** Página 361 à 374.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito

Sexta Experiência

Circuito RC Série – Integração e Diferenciação

1. Introdução

Circuito Integrador RC

Quando medimos a tensão sob o capacitor em um circuito RC, cujo sinal de entrada é um pulso (onda quadrada, por exemplo) este circuito é denominado *integrador* em termos do pulso de resposta. Lembre-se que em termos da frequência de resposta, este circuito é um filtro *passa-baixo*. O termo *integrador* vem da função integral, que em certas condições a resposta deste circuito é uma aproximação desta função.

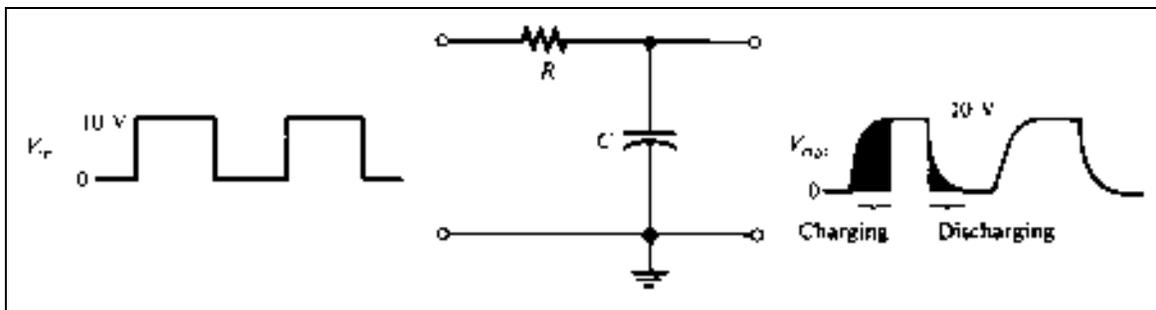


Figura 1: Circuito Integrador, na entrada um sinal de onda quadrada e na saída a integral desta função.

Carga e descarga do capacitor submetida a um sinal pulsado:

Quando um gerador de pulso é conectado à entrada do circuito, o capacitor carrega e descarrega devido a este pulso. Quando o sinal cresce do valor mínimo ao máximo o capacitor carrega, e descarrega quando o sinal decresce até o zero.

Circuito Diferenciador RC

Quando temos um filtro *passa-alta*, a tensão de saída, medido sob o resistor é chamada *diferenciador* do sinal de entrada, quando este é um pulso. O termo *diferenciador* vem da função diferencial, pois a resposta deste circuito é uma aproximação desta função.

A carga e descarga funcionam da mesma maneira que para o *integrador*.

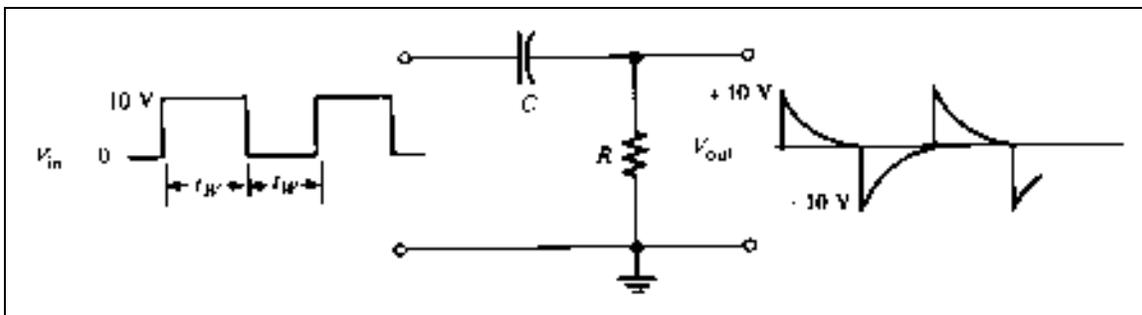


Figura 2: Circuito diferenciador, na entrada um sinal de onda quadrada e na saída a onda diferenciada.

Para um circuito RC série, alimentado por um gerador de corrente alternada senoidal de frequência angular ω , demonstra-se que as tensões através do resistor e do capacitor, respectivamente V_R e V_C são dadas pelas equações:

$$V_R(t) = RC \left(\frac{dV(t)}{dt} \right) \quad \text{para } \omega RC \ll 1 \quad [1]$$

$$V_C(t) = (1/RC) \int V(t) dt \quad \text{para } \omega RC \gg 1 \quad [2]$$

Onde $V(t) = V_0 \sin \omega t$.

3. Objetivos

Obter e registrar no osciloscópio as figuras que correspondem a integral e derivada de um potencial de função quadrada.

4. Material

Osciloscópio de dois canais, gerador de áudio, resistores de 100Ω , $1k\Omega$ e $5k\Omega$, capacitores de $0,047$ e $1\mu F$

5. Procedimentos Experimentais

Para o circuito da figura 1 use $R = 5k\Omega$ e $C = 1\mu F$, ajuste a frequência para $\omega RC \gg 1$ e obtenha a onda quadra e a integrada, na tela do osciloscópio. Faça o mesmo para o circuito da figura 2, mas agora a frequência tem que ser ajustada para $\omega RC \ll 1$ e obtenha a onda quadrada e a diferenciada, usando $R = 1k\Omega$ e $C = 0,047\mu F$.

1. Derivar as condições para a obtenção da derivada de uma onda quadrada.
2. Derivar as condições para a obtenção da integral de uma onda quadrada.
3. Medir no osciloscópio e registrar as ondas obtidas.
4. Discutir o conceito de integração e diferenciação a partir das curvas obtidas.

5. Bibliografia

- **Floyd:** Página 608 à 627.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito

Anexo: Sexto ExperimentoIntegral de $V(t)$:

$$V(t) = i(R + R_s) + \frac{1}{C} \int idt$$

$$\text{se } (R + R_s) \gg \frac{1}{\omega C}, \quad V(t) \cong iR \quad (R \gg R_s)$$

$$\text{então } V_C \cong \frac{1}{C} \int idt = \frac{1}{RC} \int V(t) dt \quad \text{Logo}$$

$$V_C \cong \frac{1}{RC} \int V(t) dt \quad \text{para } RC \gg \frac{1}{\omega} \quad \text{ou } \tau \gg T$$

Derivada de $V(t)$:

$$V(t) = i(R + R_s) + \frac{1}{C} \int idt$$

$$V(t) = \frac{1}{C} \int idt \quad \text{se } R \ll \frac{1}{\omega C} \quad (R \gg R_s)$$

$$R \frac{dV(t)}{dt} = \frac{1}{C} iR \quad \text{então}$$

$$RC \frac{dV(t)}{dt} = V_R \quad \text{para } RC \ll \frac{1}{\omega} \quad \text{ou } \tau \ll T$$

Sétima experiência

Circuito Ressonante RLC Série

1. Introdução

Impedância e fase angular de um circuito RLC Série

Um circuito RLC é mostrado na figura 1. Como sabemos, X_L (parte imaginária da impedância devido à corrente total) causa um retardo na voltagem, X_C tem efeito contrário. Então, X_L e X_C tendem a se compensarem. Quando são iguais se cancelam, e a reatância total pe nula. Em alguns casos a reatância total de um circuito RLC Série é:

$$X_T = |X_L - X_C| \quad [1]$$

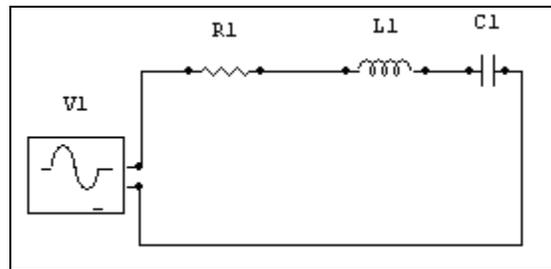


Figura 1

O termo $|X_L - X_C|$ é o módulo da diferença das duas reatâncias. Quando $X_L > X_C$ o circuito é predominantemente indutivo, e o contrário, capacitivo. A impedância total do circuito é dada por

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad [2]$$

e a fase angular é

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_T}{R}\right) \quad [3]$$

Em um circuito RLC, as tensões no capacitor e no indutor sempre estão defasadas de 180° . Por esta razão, V_C e V_L subtraem um do outro, então a tensão através do L e C combinadas é sempre menor que a maior tensão através dos componentes separadamente.

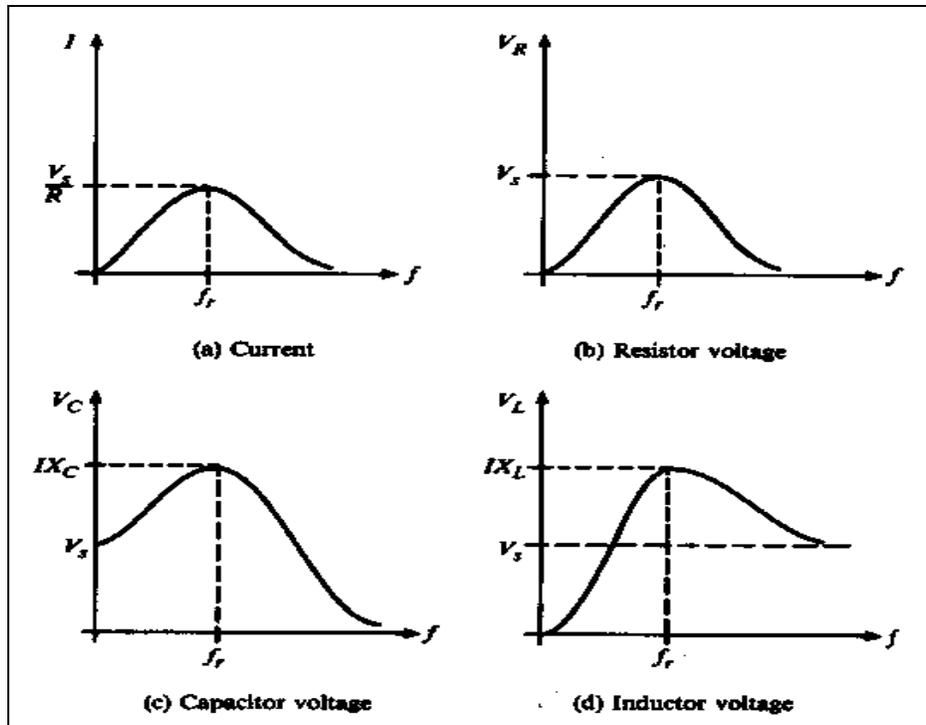


Figura 2: Comportamento da tensão em função da frequência em um resistor, capacitor e indutor, e ainda, corrente vs frequência.

Ressonância

No circuito RLC, a ressonância ocorre quando $X_L = X_C$. A frequência em que a ressonância ocorre é chamada de frequência de ressonância f_r .

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [4]$$

Na ressonância de um circuito RLC série, temos que:

- a impedância é mínima ($Z(\omega_0) = R$),
- a reatância é nula (L em série com C age como um curto-circuito) ($X(\omega_0) = 0$),
- a corrente é máxima ($I(\omega_0) = V_0/R$) e
- a potência transferida ao circuito é máxima.

Impedância nos componentes do circuito RLC:

$$\text{---}\text{Z}\text{---} \quad Z = R$$

$$\text{---}\text{Z}\text{---} \quad Z = j\omega L = \omega L e^{j\pi/2}$$

$$\text{---}\text{Z}\text{---} \quad Z = \frac{1}{j\omega C} = \frac{1}{\omega C} e^{-j\pi/2}$$

3. Material

Capacitor, indutor, resistência, gerador de áudio.

4. Objetivos

Determinar a curva I vs ω para um circuito RLC.

5. Procedimento Experimental

Determinar a curva I vs ω para um circuito RLC.

Primeiramente, escolher os componentes R, L e C adequados.

- 1- Determinar a impedância e fase do circuito RLC série.
- 2- Definir o termo *ressonância*.
- 3- Determinar a frequência com que a ressonância acontece.
- 4- Deduzia a expressão de I vs ω e mostrar que $\Delta\omega = R/L$ e $\omega_0 = 1/(LC)^{\frac{1}{2}}$.
- 5- Medir a curva I (i.e. V_R/V) em torno de ω_0 para $R_1 = 500 \Omega$, $C = 1000 \text{ pF}$ e $L = 3 \text{ mH}$.
- 6- Determinar na curva medida o valor de ω_0 e calcular o erro na medida

$$E = (\omega_{0 \text{ med}} - \omega_{0 \text{ cal}})/(\omega_{0 \text{ med}}).$$

6. Bibliografia

- **Floyd:** Página 550 à 574.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito.

Anexo da Sétima Experiência

$$\bar{Z} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}$$

A potência transferida para a resistência:

$$P = I^2 R$$

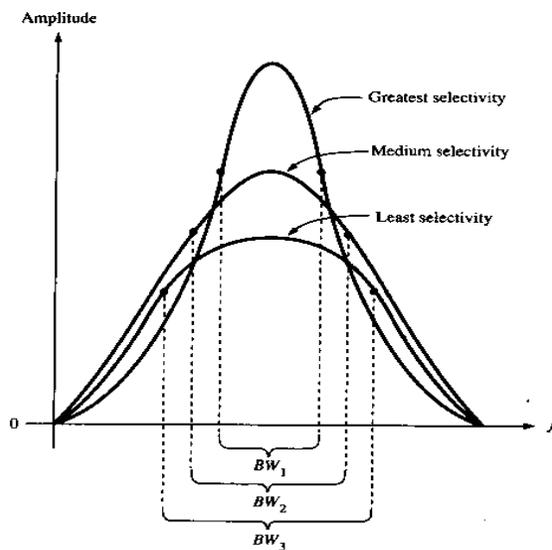


FIGURE 11.22

$$Z = \sqrt{2} R$$

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

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

$$\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = \pm R$$

$$\omega^2 LC - 1 \pm R\omega C = 0$$

$$\omega = \frac{\pm RC \pm \sqrt{R^2 C^2 + 4LC}}{2LC}$$

$$\omega = \frac{\pm RC}{2LC} \pm \sqrt{\frac{R^2 C^2 + 4LC}{4L^2 C^2}}$$

$$\omega = \frac{\pm R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} + \frac{1}{LC}}$$

como $\frac{R}{L} \ll \frac{1}{LC}$

$$\omega \cong \frac{\pm R}{2L} \pm \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

$$\Delta \omega = \frac{R}{L}$$

Oitava Experiência

Transformador

1. Introdução

Quando duas bobinas são colocadas uma perto da outra (acopladas) e uma corrente senoidal é aplicada em umas delas, o campo magnético variável produzido pela corrente alternada causa indução de tensão na outra bobina, de acordo com a Lei de Faraday. O acoplamento (Trafo de isolamento) entre as bobinas pode ser de núcleo de ar, de ferro ou de ferrite, estes são os acoplamentos mais comuns. No acoplamento as bobinas estão isoladas eletricamente.

Indução Mútua

Em um transformador, quando o sinal de entrada é senoidal, na primeira bobina (bobina primária), o fluxo magnético variável que passa pela segunda bobina (bobina secundária), gera uma tensão induzida na mesma. Se a corrente na primeira bobina é senoidal, a tensão induzida na segunda também é senoidal. O resultado da tensão induzida na segunda bobina assim como a corrente na primeira depende da *indutância mútua*, L_M , entre as duas bobinas. A *indutância mútua* é estabelecida pela indutância de cada bobina (L_1 e L_2) e pelo coeficiente de acoplamento.

Coefficiente de Acoplamento

O coeficiente de acoplamento entre as bobinas é a razão entre o fluxo gerado pela primária que passa através da secundária (ϕ_{12}) pelo fluxo total gerado pela primária (ϕ_1).

$$k = \frac{\phi_{12}}{\phi_1} \quad [1]$$

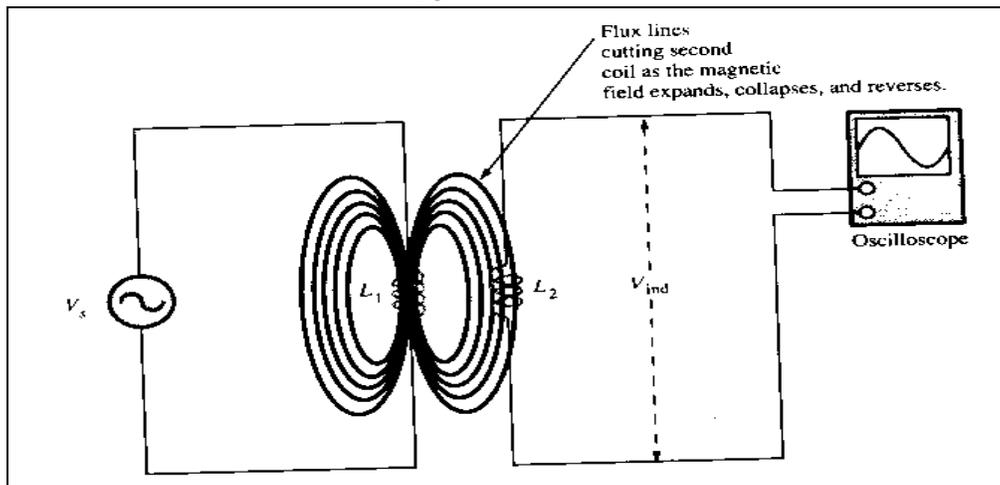


Figura 1: Fluxo magnético através da secundária que induz a corrente.

Algumas relações

O número de espiras da primária é representado por N_P e da secundária é N_S .

$$n = \frac{N_S}{N_P} \quad [2]$$

Os transformadores podem “elevar” ou “abaixar” a tensão, isso depende de n . se $N_S > N_P$ o transformador eleva a tensão, caso contrário, abaixa a tensão. As tensões se relacionam da seguinte forma:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \quad [3]$$

A potência na primária é igual a na secundária para um transformador ideal. A potência na secundária sempre é menor que a potência na primária.

$$P_P = V_P I_P \text{ e } P_S = V_S I_S \quad [4]$$

E as correntes:

$$I_S = \frac{N_P}{N_S} I_P \quad [5]$$

2. Objetivos

Obter o rendimento do circuito da figura 2.

3. Material

Osciloscópio de dois canais, ohmímetro digital, transformador variável (Variac), transformador de isolamento (duas bobinas marca MMECL de 300 espiras montadas em um núcleo de ferro), transformador Phywe com duas bobinas (400 e 600 espiras), capacitor de $1 \mu\text{F}$ e resistores de 100Ω , 500Ω , $1 \text{ k}\Omega$, $2.2 \text{ k}\Omega$ e 4.7Ω .

4. Experimental

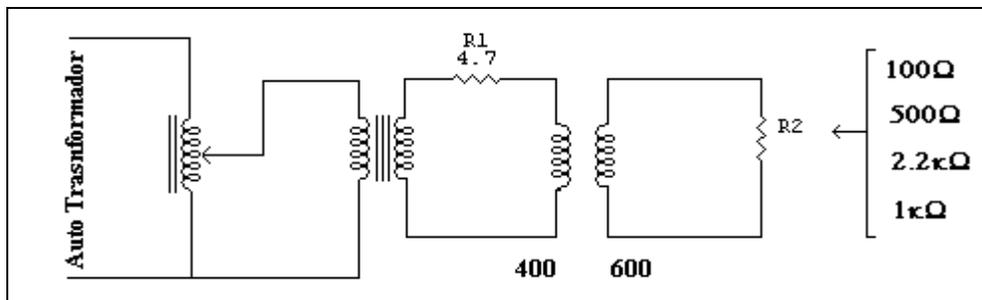


Figura 2: Circuito a ser montado para obtenção das medidas de potência.

1. Meça a tensão no primário e no secundário a fim de obter a potência no secundário e explique a variação do rendimento em relação à presença e ausência do núcleo de ferro.
2. Mostre como um transformador pode ser usado para elevar ou baixar a tensão.

5. Bibliografia

- **Floyd:** Páginas 420 à 424, 436 à 437 e 442 à 444.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito.

Nona e Décima Experiência – Artigo

Curva de Histerese do Ferro I e II

Medidas de H: intensidade de campo magnético

Medidas de B: intensidade de campo magnético

Esta experiência deve ser apresentada em forma de trabalho para publicação.

1. Introdução:

Sempre que uma ou mais espiras são percorridas por uma corrente elétrica i , é produzido um vetor indução magnética \vec{B} . A intensidade do vetor indução magnética criado depende da geometria do sistema, da permeabilidade magnética μ do meio, do número de espiras N e da corrente elétrica i . Para o caso simples de uma única espira, o valor de $|\vec{B}|$ (em Tesla) no centro da espira é dado por:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{2R} i \quad [1]$$

Pela relação acima, vemos que o fator geométrico é representado por R (raio da espira circular) e o meio pelo fator μ_0 (que é a permeabilidade magnética do vácuo). A corrente elétrica i também está explícita na relação (1). Esta relação pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} \quad [2]$$

onde o campo magnético, \vec{H} , só depende de fatores geométricos e da corrente, isto é,

$$|\vec{H}| = \frac{i}{2R} \quad [3]$$

Vê-se por esta relação que o campo magnético para uma mesma configuração geométrica é proporcional à corrente i , podendo ser tão grande quanto se queira, bastando que se consiga gerar uma corrente i suficientemente grande. No caso do meio ser o ar (ou vácuo), o vetor indução magnética será também proporcional à corrente i , já que é proporcional ao campo magnético e $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Tm/A}$ é constante. Ao colocarmos um meio material com permeabilidade μ , que em geral é muitas vezes maior do que μ_0 , a relação entre o campo magnético e a indução magnética será:

$$\vec{B} = \mu \vec{H} \quad [4]$$

onde agora a permeabilidade magnética não é mais constante, o que faz com que a indução magnética não seja proporcional ao campo magnético para qualquer valor de i .

Histerese

Quando aplicamos uma tensão alternada em um transformador, por exemplo, é produzido um campo magnético induzido pela corrente alternada, este campo também variável produz um campo elétrico que orienta os dipolos do material que constitui o núcleo do transformador, quando deixamos de aplicar esta tensão, os dipolos não voltam imediatamente a sua posição original, ou seja, mesmo sem corrente ainda há um campo no interior do material. Podemos dizer então que a histerese é produzida devido ao gasto de energia para inverter os dipolos durante uma mudança de campo elétrico. Esse tipo de comportamento é típico de materiais paramagnéticos quando submetidos a um campo elétrico variável.

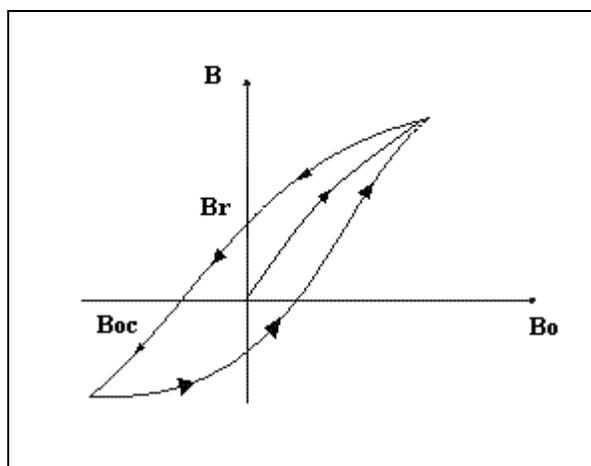


Figura 1: Dependência do campo total dentro do núcleo de ferro em função do campo produzido pela bobina.

2. Objetivos

Determinar a curva de histerese de um transformador com núcleo de ferro. Você desenvolverá uma seqüência de procedimentos experimentais com o objetivo de observar na tela de um osciloscópio um gráfico de \vec{B} versus \vec{H} .

3. Material

Osciloscópio de dois canais, ohmímetro digital, transformador variável (Variac), transformador de isolamento (duas bobinas marca MMECL de 300 espiras montadas em um núcleo de ferro), transformador Phywe com duas bobinas (400 e 600 espiras), capacitor de $1 \mu\text{F}$ e resistores de 100Ω e 4.7Ω .

4. Procedimento Experimental

Monte o circuito da figura, este circuito possibilita investigar o ciclo de histerese de um núcleo de ferro.

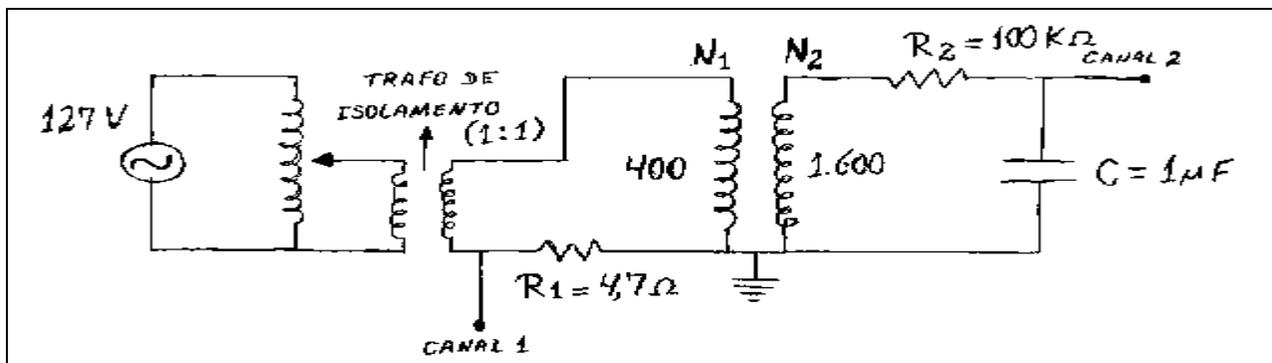
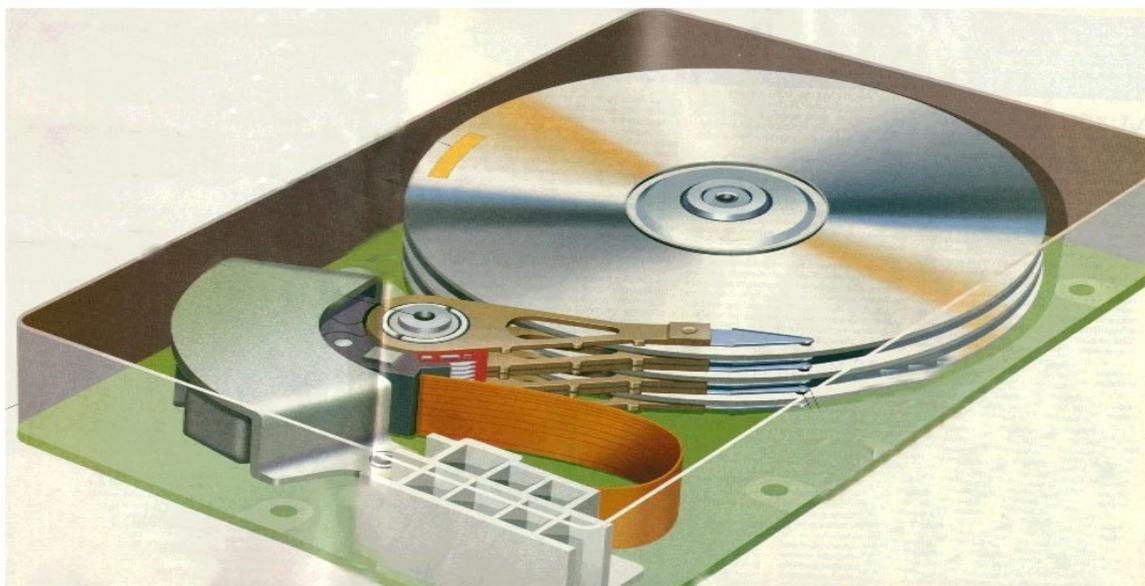
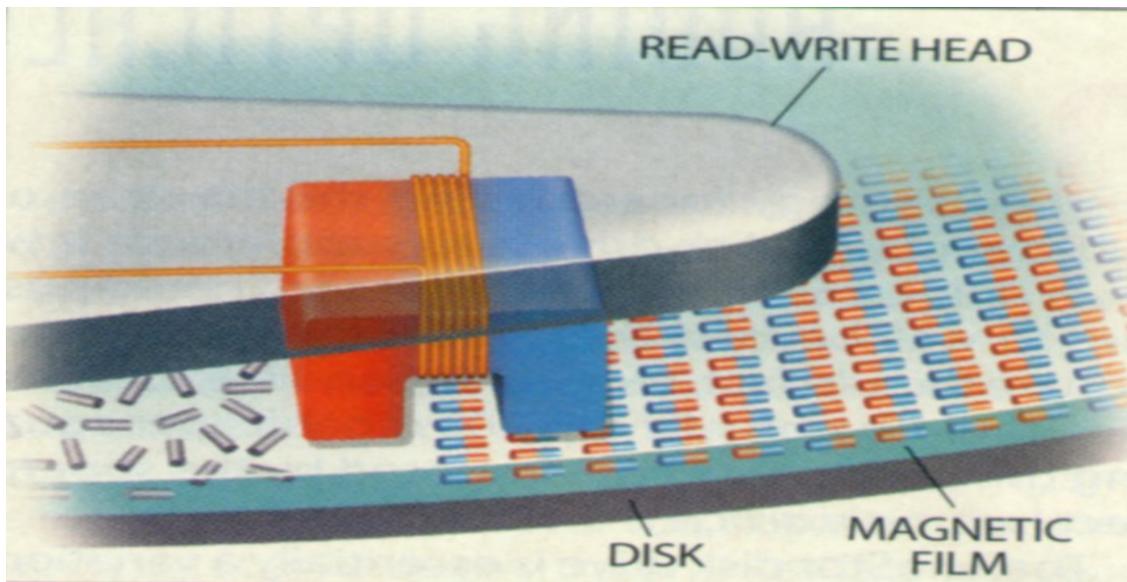


Figura 2: Circuito para estudar o comportamento da campo magnético total em função do campo magnético no interior do núcleo de ferro.

5. Discussão

1. Autotransformador (e não gerador de áudio)
2. Transformador de isolamento
3. Cálculo do vetor campo magnético
4. Circuito integrador
5. Histerese
6. Perdas em materiais magnéticos e rendimento de transformador
7. Comparar a curva obtida com as curvas publicadas na literatura
8. Funcionamento do disco rígido

Diagrama esquemático do disco rígido:



6. Bibliografia

- **Eletromagnetismo/** Hayt, Willian H., Jr.; 3ª edição – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- **Classical Electromagnetic Radiation/** Marion, Jerry B.; New York, San Francisco: Academic c1987.

Décima Primeira Experiência

Curva Característica do Diodo

1. Introdução

Os diodos são componentes eletrônicos formados por semicondutores, comumente semicondutores de germânio e silício por possibilitarem a circulação de corrente em determinadas condições de polarização. Externamente, os diodos possuem dois terminais, anodo e catodo. Um diodo ideal é um dispositivo que conduz perfeitamente a corrente elétrica em um sentido (Anodo-Catodo) e não conduz no sentido inverso. No caso de corrente direta, a resistência é nula, enquanto que para corrente reversa a resistência é infinita. A maior utilidade de um diodo consiste em permitir passagem de corrente elétrica em um único sentido. Isto é, o diodo funciona como uma válvula que se abre para um determinado sentido da corrente e se fecha quando a corrente tenta fluir em sentido oposto.

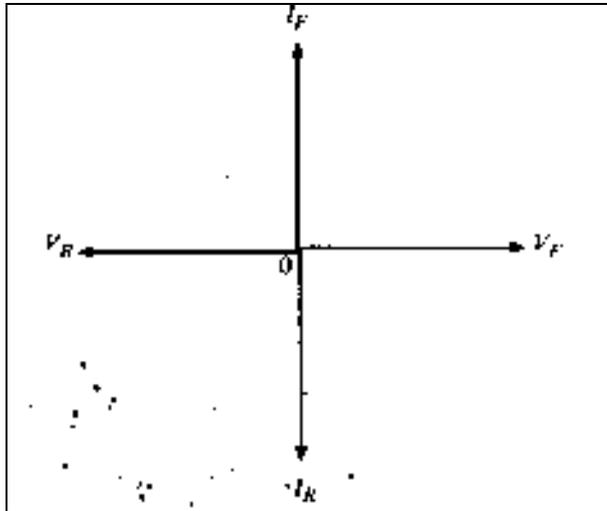


Figura 1: Curva característica de um diodo ideal.

Um diodo real apresenta várias limitações, tais com:

- Tensão direta não nula, significando resistência não nula para a corrente direta, como consequência é dissipada uma potencia $P=Vi$ no próprio diodo.
- Resistência reversa finita, significando que existe uma pequena corrente reversa.
- Existe um valor máximo para a tensão reversa, da qual o diodo conduz significativamente.

A curva de um diodo real é mostrada abaixo. Para este diodo, existe uma tensão direta de $\approx 7\text{Volt}$ quando o diodo está conduzindo uma corrente direta alta.

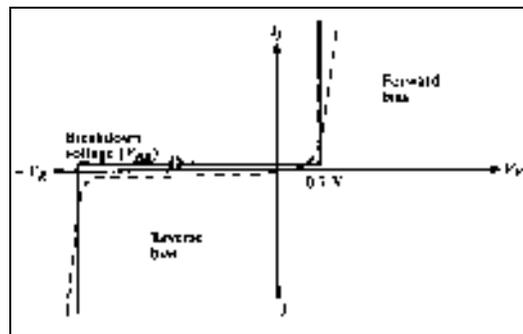


Figura 2: A curva tracejada é a curva característica de um diodo de silício e a curva cheia é a barreira potencial.

Retificação de meia-onda

Pelo fato de que o diodo conduz corrente em um único sentido, é usado em circuitos retificadores. Retificação é o processo de converter corrente alternada em contínua. Quando a tensão aplicada no circuito é senoidal, o diodo conduz corrente para o resistor enquanto a amplitude da tensão é positiva, e enquanto a tensão negativa o diodo conduz uma pequena corrente, a corrente reversa. A figura 2 mostra o resultado de uma onda senoidal aplicada a um circuito de resistor e diodo em série.

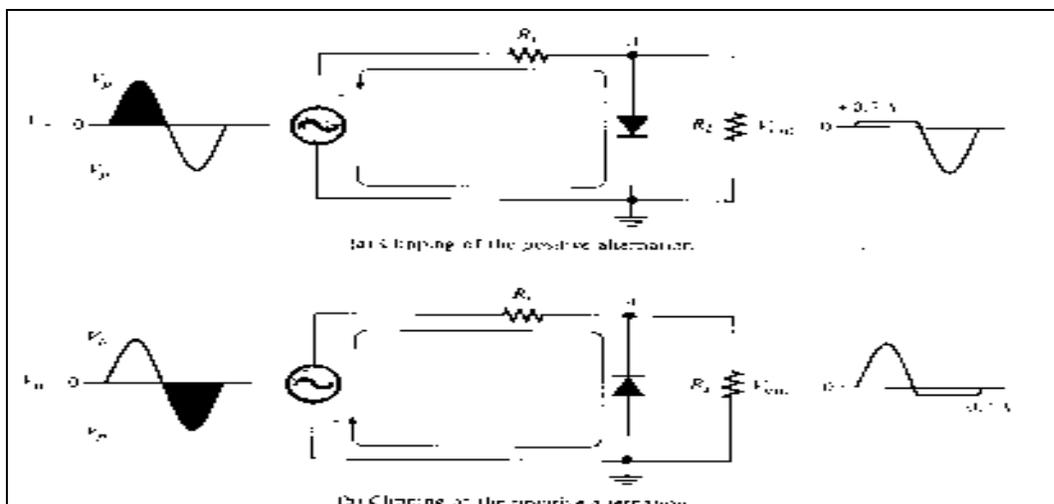


Figura 3: Retificação de meia-onda, a onda senoidal é aplicada no circuito e o resultado é mostrado na figura.

2. Objetivos

Determinar a curva I vs V de um diodo usando o osciloscópio.

3. Material

Osciloscópio de dois canais, transformador variável e transformador 110/12 V com derivação central, voltímetro analógico de corrente contínua Yokogwa, de dois diodos retificadores 1N4004 e resistor de $4,7 \Omega$, gerador de sinal.

4. Procedimento Experimental

Monte o circuito abaixo.

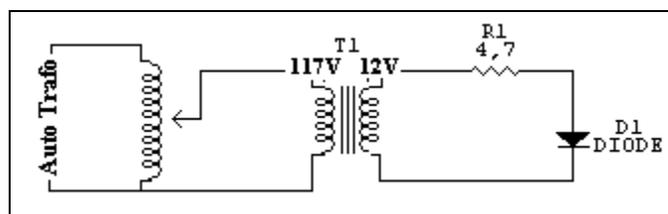


Figura 4: Circuito a ser montado para construir a curva característica do diodo utilizado.

1. Faça a curva I vs V para um diodo ideal utilizando sua definição.
2. No circuito da figura 3 observe e registre V_R (tensão no resistor) e V_D (tensão do diodo) em função do tempo.

3. Utilizando o osciloscópio obtenha a curva I vs V do diodo (Observe que o osciloscópio tem um dos seus terminais do cabo em contato com o neutro da tomada. Logo este terminal deve ser o referente para as duas).
4. Calcule a resistência do diodo para uma corrente I .

5. Bibliografia

- **Floyd**, páginas 670 à 675.

Conclusão

O trabalho foi concluído com sucesso tendo em vista que foi alcançado o objetivo inicial. Sendo assim, espero que esta apostila seja bem vida pelos alunos que vierem utilizá-la e que esta os ajudem na realização de seus experimentos e conseqüentemente na produção de seus relatórios. Mesmo que eu tenha tido dificuldades em produzir algumas melhorias na apostila que se encontra no site www.ifi.unicamp.br/~oteschke, o trabalho resultante foi satisfatório, porém ainda pode ser melhorado.

Referências

- **Electronics Fundamentals** - Thomas L. Floyd
- **F429 - Guia para as Disciplinas de Laboratório Básico**
- Site www.ifi.unicamp.br/~oteschke
- **Eletromagnetismo**/ Hayt, Willian H., Jr.; 3ª edição – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- **Circuito de corrente alternada** - [Notas de Física Experimental](#) – Prof. Hugo L. Fragnito.
- **Classical Electromagnetic Radiation**/ Marion, Jerry B.; New York, San Francisco: Academic c1987.