

Escola de Engenharia de São Carlos

Departamento de Engenharia Elétrica

Eletricidade e Magnetismo

José Marcos Alves

Theorema de Thevenin - Circuitos DC.

**Medida de Impedância Capacitivas, Indutivas e
Total - Circuitos RLC em Série**

Xxxxxx N°USP xxxxxx E-mail : xxxxxx

Xxxxxx N°USP xxxxxx E-mail : xxxxxx

São Carlos, 01 de Julho de 2013

Sumário

I.Introdução:	5
1.1. Tensão:.....	5
1.2 Correntes:.....	5
1.3 Resistências:.....	5
1.4. Tipos mais comuns de Resistores:.....	6
1.4.1 Resistores fixos:.....	6
1.4.2 Código de cores para resistores fixos.....	8
3.4.3. Resistores variáveis.....	9
1.5.Multímetro:.....	10
1.6.Circuito de Thevenin:.....	11
II.Material e Métodos:	11
2.1.Material:.....	12
2.2.Método:.....	12
III.Resultados:	13
3.1.Medidas de corrente e tensão:.....	13
IV. Discussão e Conclusão:	14
V. Resumo:	14
VI.Referências Bibliográficas:	17

Índice de Figuras:

Fig. 1: Resistores fixos típicos.....	6
Fig.2: a) Resistor de composição de carbono e b) resistor tipo chip.	7
Fig. 3: Vista interna de resistores de valor fixo típicos a) filme de carbono, b) filme metálico, e c) rede resistiva.	7
Fig. 4: Redes resistivas (Philipis).....	8
Fig. 5: Potenciômetro e reostato.....	9
Fig. 6: Exemplos típicos de potenciômetros comerciais. Os quatro potenciômetros na parte inferior são conhecidos como potenciômetros trimmer (ou apenas trimmer).	10
Fig. 7: Multímetro	10
Fig. 8: Circuito para montar na protoboard	12
Fig. 9: Circuito equivalente Thevenin	13

Índice de Tabelas:

Tabela I: Código de cores para resistores.....	8
--	---

Teorema de Thévenin

I.Introdução:

Antes de serem apresentados os métodos utilizados, é fundamental que seja entendido os conceitos de tensão, corrente, resistor e do que se trata o Teorema de Thevenin. Além disso, serão apresentados os princípios de funcionamento dos equipamentos utilizados.

1.1. Tensão:

Também conhecida como diferença de potencial (DDP), é a diferença de potencial elétrico entre dois pontos ou a diferença em energia elétrica potencial por unidade de carga elétrica entre dois pontos. Sua unidade de medida é o volt - em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta - ou em Joules por Coulomb. A diferença de potencial é igual ao trabalho que deve ser feito, por unidade de carga contra um campo elétrico para se movimentar uma carga qualquer. Uma diferença de potencial pode representar tanto uma fonte de energia (força eletromotriz), quanto pode representar energia "perdida" ou armazenada (queda de tensão). Um voltímetro pode ser utilizado para se medir a DDP entre dois pontos em um sistema, sendo que usualmente um ponto referencial comum é a terra. A tensão elétrica pode ser causada por campos elétricos estáticos, por uma corrente elétrica sob a ação de um campo magnético, por campo magnético variante ou uma combinação de todos os três.

1.2 Correntes:

É o fluxo ordenado de partículas portadoras de carga elétrica, ou também, é o deslocamento de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as extremidades. Tal deslocamento procura restabelecer o equilíbrio desfeito pela ação de um campo elétrico ou outros meios (reação química, atrito, luz, etc.). Sua unidade é o **Ampère**.

1.3 Resistências:

Quando uma corrente flui em um material, os elétrons livres movem-se através deste material e ocasionalmente colidem com átomos. Esta colisão faz com que os elétrons percam parte de sua energia cinética. Quanto maior o número de colisões, maior é a perda, que varia em função do material utilizado. A propriedade do material em dissipar a energia cinética de elétrons é chamada de **Resistência**, e sua unidade é o Ohm.

1.4. Tipos mais comuns de Resistores:

1.4.1 Resistores fixos:

Estes resistores são disponíveis em um grande número de valores que são definidos durante sua fabricação e que não podem mais ser modificados. Configurações típicas são mostradas na Fig. 1.

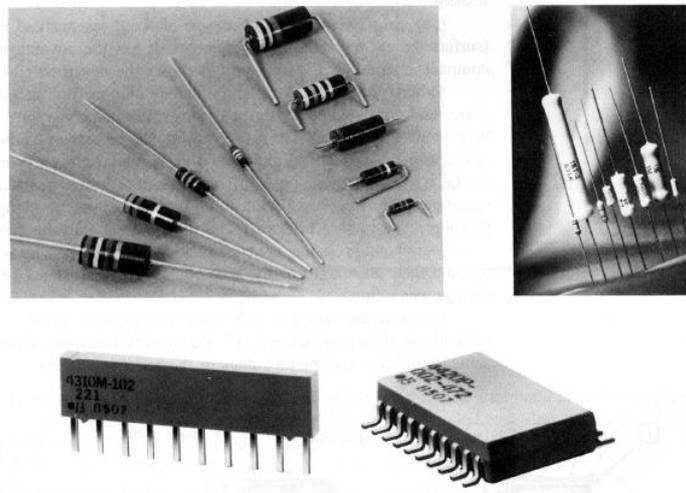


Fig. 1: Resistores fixos típicos

Um tipo comum de resistor fixo é o do tipo carbono, o qual é fabricado com uma mistura de grãos finos de carbono, material isolante e resina, como mostra a Fig. 2 a. A proporção de carbono em relação ao material isolante determina o valor da resistência.

O resistor tipo chip é outro tipo de resistor fixo, e está na categoria de componentes SMT (surface mounting technology), Fig 2b. Apresenta a grande vantagem do tamanho reduzido, para montagens compactas.

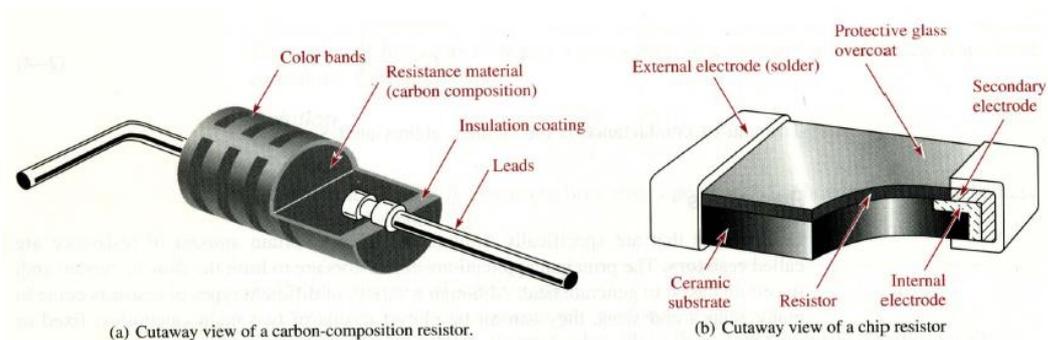


Fig.2: a) Resistor de composição de carbono e b) resistor tipo chip.

Outros tipos de resistores incluem o de filme de carbono, óxido metálico, vidro metálico, filme metálico, e fios metálicos. Em resistores de filmes, um material resistivo é depositado igualmente sobre um bastão puro de cerâmica. O material resistivo pode ser carbono (filme de carbono), níquel-cromo (filme metálico), mistura de metais e vidro, ou metal e óxido isolante (óxido metálico). Resistores de fios metálicos são construídos com fios resistivos enrolados em um bastão e, então, selados. Resistores de fios metálicos são utilizados quando potências relativamente altas são necessárias.

A Fig. 3 mostra a vista interna de resistores de filme de valor fixo e de uma rede resistiva, este utilizado para se atingir valores diferentes de resistência.

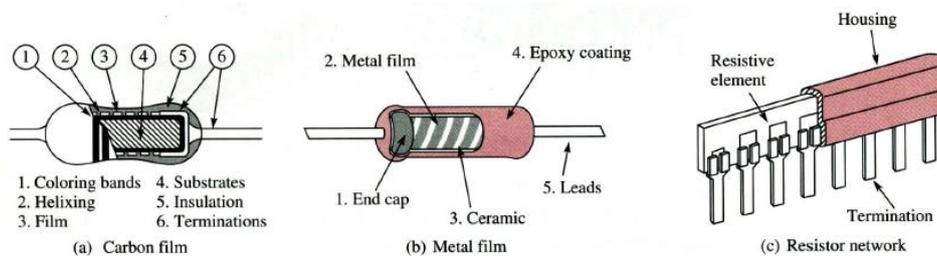


Fig. 3: Vista interna de resistores de valor fixo típicos a) filme de carbono, b) filme metálico, e c) rede resistiva.

A Fig. 4 mostra outra configuração de rede resistiva disponível no mercado. Estas, fabricadas pela Philips, são produzidas com substrato de alumina de alta pureza e revestimento de epoxi, podendo ser encontradas em 4 até 14 pinos.

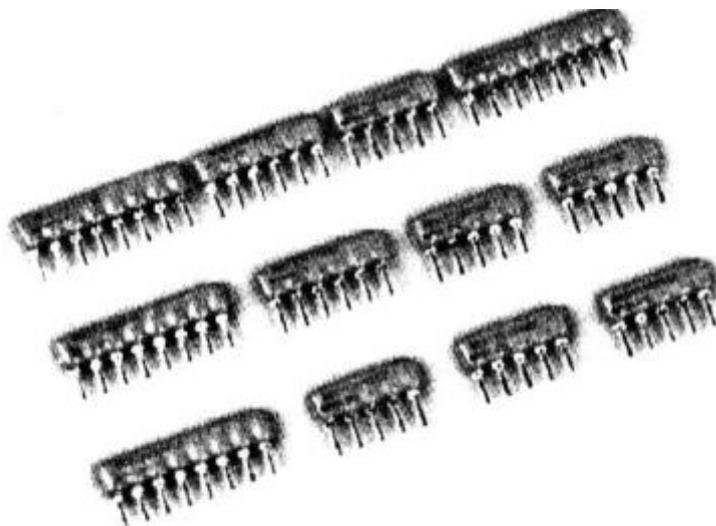


Fig. 4: Redes resistivas (Philipis)

1.4.2 Código de cores para resistores fixos

Resistores fixos com valores de tolerância de 5%, 10%, ou 20% apresentam quatro faixas coloridas para indicar o valor da resistência e a tolerância. O código de cores é listado na Tabela I.

Tabela I: Código de cores para resistores

	Dígito	Cor
O valor da Resistência é lido a partir das três primeiras faixas: 1ª faixa: 1º dígito 2ª faixa: 2º dígito 3ª faixa: número de zeros	0	Preto
	1	Marrom
	2	Vermelho
	3	Laranja
	4	Amarelo
	5	Verde
	6	Azul
	7	Violeta
	8	Cinza
	9	Branco
	$\times 10^{-1}$	Ouro Apenas na 3a. faixa
$\times 10^{-2}$	Prata Apenas na 3a. faixa	
4ª faixa: Tolerância	5%	Ouro
	10%	Prata
	20%	Sem faixa

O código de cores é lido da seguinte forma:

- 1- Posicione a primeira faixa de modo que as faixas de tolerância estejam do lado direito do resistor. A primeira faixa irá fornecer o primeiro dígito do valor da resistência.
- 2- A Segunda faixa fornecerá o segundo dígito do valor da resistência.
- 3- A Terceira faixa irá fornecer o multiplicador (potência de dez), ou seja, o número de zeros após os dois primeiros dígitos.
- 4- A Quarta faixa indica a tolerância, ou precisão, do valor lido.

1.4.3. Resistores variáveis

São projetados de modo que seus valores de resistência podem ser variados facilmente com um ajuste manual ou automático. Dois exemplos práticos deste tipo de resistores são o potenciômetro e o reostato.

O potenciômetro é um dispositivo de três terminais como indicado na Fig. 5a. Os terminais 1 e 2 possuem valor de resistência fixo entre eles, e determina o valor máximo da resistência. O terminal 3 é o contato móvel. Isto permite que a resistência entre os terminais 3 e 1 ou 3 e 2 possa ser ajustada. O reostato, por sua vez, é um resistor variável de dois terminais. A Fig. 5c mostra um potenciômetro conectado como um reostato. A Fig. 5d mostra sua construção básica. Exemplos típicos de potenciômetros comerciais são mostrados na Fig. 6.

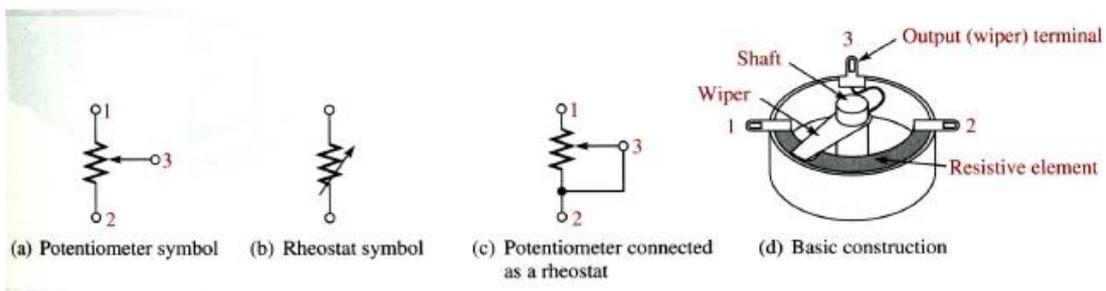


Fig. 5: Potenciômetro e reostato

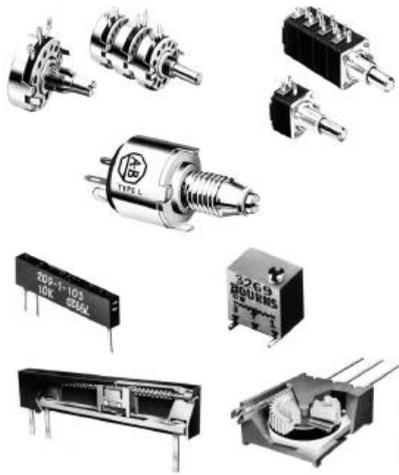


Fig. 6: Exemplos típicos de potenciômetros comerciais. Os quatro potenciômetros na parte inferior são conhecidos como potenciômetros trimmer (ou apenas trimmer).

1.5.Multímetro:

Um **multímetro** é um aparelho destinado a medir e avaliar grandezas elétricas. Existem modelos com mostrador analógico (de ponteiro) e modelos com mostrador digital.



Fig. 7: Multímetro Digital CAT IV 1000V

O modelo com mostrador digital funciona convertendo a corrente elétrica em sinais digitais através de circuitos denominados conversores analógico-digitais. Esses circuitos comparam a corrente a medir com uma corrente interna gerada em incrementos fixos que vão sendo contados digitalmente até que se igualem, quando o resultado então é mostrado em números ou transferidos para um computador pessoal. Várias escalas divisoras de tensão, corrente, resistência e outras são possíveis.

O mostrador analógico funciona com base no galvanômetro, instrumento composto basicamente por uma bobina elétrica montada em um anel em volta de um ímã. O anel munido de eixo e ponteiro pode rotacionar sobre o ímã. Uma pequena mola espiral - como as dos relógios - mantém o ponteiro no zero da escala. Uma corrente elétrica passando pela bobina, cria um campo magnético oposto ao do ímã promovendo o giro do conjunto. O ponteiro desloca-se sobre uma escala calibrada em tensão, corrente, resistência etc. Uma pequena faixa espelhada ao longo da escala curva do mostrador, ajuda a evitar o erro de paralaxe.

Nos dois modelos, um sistema de chave mecânica ou eletrônica divide o sinal de entrada de maneira a adequar a escala e o tipo de medição.

Utilizado na bancada de trabalho (laboratório) ou em serviços de campo, incorpora diversos instrumentos de medidas elétricas num único aparelho como voltímetro, amperímetro e ohmímetro por padrão e capacitímetro, frequencímetro, termômetro entre outros, como opcionais conforme o fabricante do instrumento disponibilizar.

Tem ampla utilização entre os técnicos em eletrônica e eletrotécnica, pois são os instrumentos mais usados na pesquisa de defeitos em aparelhos eletro-eletrônicos devido a sua simplicidade de uso e, normalmente, portabilidade.

1.6.Circuito de Thevenin:

O teorema de Thévenin estabelece que qualquer circuito linear visto de um ponto pode ser representado por uma fonte de tensão (igual à tensão do ponto em circuito aberto) em série com uma impedância (igual à impedância do circuito vista deste ponto).

A esta configuração chamamos de Equivalente de Thévenin em homenagem a Léon Charles Thévenin, e é muito útil para reduzirmos circuitos maiores a um circuito equivalente com apenas dois elementos a partir de um determinado ponto, onde se deseja, por exemplo, saber as grandezas elétricas como tensão, corrente ou potência.

O cálculo do Equivalente de Thévenin baseia-se no Teorema da superposição quando o circuito a ser reduzido é separado do circuito a ser estudado e as análises de circuito aberto e em curto-circuito são aplicadas para se conseguir as relações que permitam a redução desejada.

O Equivalente de Thévenin pode ser construído a partir de duas etapas:

1. Determinar a resistência ou impedância de Thévenin, também chamada de resistência ou impedância equivalente. Esta resistência (ou impedância) é aquela vista do ponto onde se deseja reduzir o circuito, e neste caso, com as fontes de tensão curto-circuitadas e as fontes de corrente abertas.
2. Determinar a tensão de circuito aberto no ponto onde se deseja reduzir o circuito.

II.Material e Métodos:

2.1.Material:

1 fonte Corrente Contínua

1 multímetro

2 resistores de $6K8\Omega$

1 resistor 100Ω , $1K8k\Omega$, $12K\Omega$, $3K3\Omega$, $3K9\Omega$

1 protoboard

Cabos com garra jacaré, fios

2.2.Método:

1°- Implementar no protoboard o seguinte circuito.

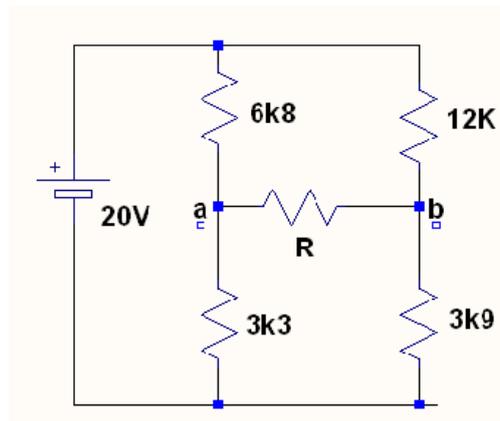


Fig 8: Circuito para montar na protoboard

2°- Medir com um multímetro a corrente no resistor R para os seguintes valores de R: 100Ω , $1k8\Omega$ e $6k8\Omega$.

3°- Determinar experimentalmente o circuito equivalente de Thevenin entre os pontos a e b do circuito medindo os valores de E_{th} e R_{th} .

4°- Comparar os valores teóricos e experimentais de E_{th} e R_{th} .

5°- Implementar em um protoboard o circuito equivalente de Thevenin do circuito anterior, conforme mostrado abaixo.

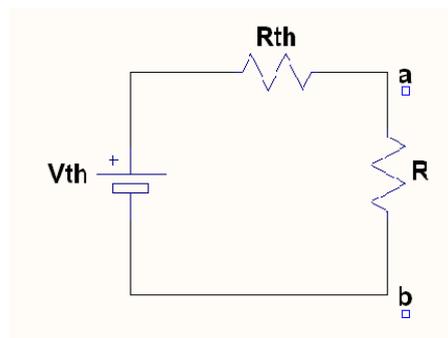


Fig 9: Circuito equivalente Thevenin

6°- No circuito equivalente de Thevenin medir com um multímetro a corrente no resistor R para os seguintes valores de R: 100Ω , $1k8\Omega$ e $6k8\Omega$.

7°- Comparar os valores de corrente medidos no resistor R nos dois circuitos anteriores.

III.Resultados:

3.1.Medidas de correntes e tensão:

$R_a=100\text{ ohms}$; $R_b=1800\text{ ohms}$; $R_c=6800\text{ ohms}$

$$I_a = 0,298 \text{ mA}$$

$$I_b = 0,238 \text{ mA}$$

$$I_c = 0,133 \text{ mA}$$

Medindo a ddp no equivalente de Thevenin, obtemos:

$$E_{th} = 1,613 \text{ V}$$

Medindo a corrente no ponto requerido:

$$I_{th} = 0,309 \text{ mA}$$

Com isso, obtemos pela primeira lei de ohm a resistência equivalente:

$$E_{th} = I_{th} \times R_{th} \Rightarrow 1,613 \text{ V} = 0,309 \text{ mA} \times R_{th}$$

$$R_{th} = 5220 \text{ ohms}$$

Comparando com os cálculos teóricos, obtivemos valores práticos bem próximos da teoria, sendo os seguintes valores teóricos:

$$E_{th}' = 1,629 \text{ V}$$

$$I_{th}' = 0,315 \text{ mA}$$

$$R_{th}' = 5171 \text{ ohms}$$

Ao montar o circuito do equivalente Thevenin e implantarmos os resultados obtidos, temos os seguintes valores de corrente para os resistores usados.

$$I_a' = 0,303 \text{ mA}$$

$$I_b' = 0,229 \text{ mA}$$

$$I_c' = 0,134 \text{ mA}$$

IV. Discussão e Conclusão:

Ao comparar os resultados obtidos na teoria e na prática, percebe-se que existe uma pequena diferença entre os valores calculados e medidos. Pode-se concluir que isso ocorre devido ao material utilizado não ser ideal, ou seja, os fios não possuem resistência nula, os valores dos resistores não são exatamente os mesmos da teoria, já que existe uma precisão devido ao processo de manufatura dos mesmos, além do

multímetro não possuir resistência infinito quando medindo tensão, e nem resistência nula quando medido a corrente. Apesar da diferença de valores, os resultados obtidos são satisfatórios e mostram que a teoria vale adequadamente na prática. Com isso, conclui-se que o circuito de Thevenin é muito útil para ser aplicado na prática, já que ele simplifica em muito os circuitos a serem montados em bancada.

V. Resumo:

Nesse experimento foi aplicado o teorema de Thevenin na prática. Usou-se um protoboard para montar um determinado circuito, e com um multímetro, mediu-se as tensões e as correntes a fim de descobrir a tensão equivalente de thevenin e a resistência equivalente de thevenin. Notou-se uma pequena diferença entre a teoria e prática devido a imprecisão de alguns instrumentos, porém todos muito próximos da teoria, com diferenças de até 5% nos valores reais e teóricos.

Medida de Impedância Capacitivas, Indutivas e Total - Circuitos RLC em Série

Resumo

A prática irá demonstrar o comportamento de um circuito RLC em funcionamento e a sua relação com a frequência.

Introdução

Um circuito RLC é um circuito elétrico constituído por um resistor (R), um indutor (L) e um capacitor (C).

Para se determinar o comportamento dos circuitos são utilizados dois parâmetros, o fator de carga e a frequência de ressonância. Para efeito do experimento, somente a frequência de ressonância será estudada.

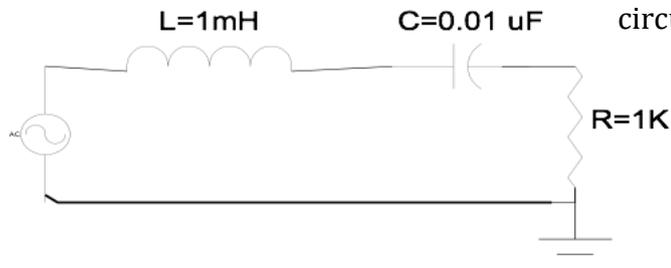
A frequência de ressonância ou natural é dada pela equação:

$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ (Hz)}$$

Tal frequência ocorre quando a parte complexa de Zt (Impedância Total) é zero.

As equações do circuito RLC são:

$$E(t) = E^{\max} \text{sen}\omega t$$



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

$$X_L = 2\pi fL$$

$$Z_T = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \theta = \tan^{-1} \frac{X_L - X_C}{R}$$

Sendo Xc impedância capacitiva, Xl a impedância Indutiva.

Material e Método

Os materiais utilizados foram:

Osciloscópio digital.

Resistor de 1kΩ.

Capacitor de 0,01μF.

Indutor de 1mH.

Multímetro.

O Procedimento adotado foi:

Gerar um sinal senoidal com frequência variável.

Implementar o circuito para Emax = 10

Calcular a frequência de ressonância para esse circuito.

Variar a frequência do sinal para obter: E_{max} , Tensão Máxima V_{Rmax} em R, Tensão máxima V_{Cmax} em C, Tensão máxima V_{Lmax} em L.

Calcular I_{max} para cada frequência.

Calcular X_C e X_L para cada frequência e comparar com os valores teórico.

Calcular Z_t para cada frequência e comparar com o valor teórico.

Observar a defasagem para 30kHz.

Observar a defasagem para 50kHz.

Observar a defasagem para 100kHz.

Para todas as medidas foi utilizado o multímetro ligado aos terminais do elemento a ser estudado, e atentando-se para posicionar tal elemento sempre próximo ao terra para evitar qualquer interferência de medida.

Resultados

Os valores dos elementos medidos foram:

Resistor: 988Ω

Capacitor: $9,8nF$

Indutor: $0,993mH$

A tabela a seguir mostra os resultados obtidos durante o experimento:

f (kHz)	E_{max} (V)	V_R^{max} (V)	$I_{Rmax} = \frac{V_R^{max}}{R}$ (mA)	V_C^{max} (V)	V_L^{max} (V)	$X_C = \frac{V_C^{max}}{I_{Rmax}}$ (Ω)	$X_L = \frac{V_L^{max}}{I_{Rmax}}$ (Ω)	$Z_T = \frac{E_{max}}{I_{Rmax}}$ (Ω)
20	10	8,56	8,66	6,82	1,03	787	118	1154
30	10	9,54	9,65	3,94	1,67	511	172	1035
40	10	9,93	10,0	3,98	2,38	395	236	994
50	10	9,99	10,1	3,12	3,03	308	299	988
100	10	9,12	9,23	1,38	5,43	149	588	1083

A frequência de ressonância, como pode ser visto, está em torno de 50kHz, e calculada teóricamente obtemos $f_s=51,019kHz$.

As defasagens observadas foram:

Para 30kHz: -0,33

Para 50kHz: -0,009

Para 100kHz: 0,417

Logo vemos que a defasagem aumenta em módulo conforme nos afastamos da frequência de ressonância, sendo uma corrente para frequências menores e para frequências maiores.

Discussão e Conclusão

Vimos que a frequência de ressonância é um aspecto importante num circuito RLC, pois é a frequência onde não há influência do capacitor e do indutor na impedância total do circuito.

Vimos também que existe uma defasagem entre a corrente e a tensão, sendo que esta também depende da frequência.

VI.Referências Bibliográficas:

A.P. Malvino ,Electronic Instrumentation Fundamentals, McGraw-Hill, New York, 1967.

J.J. Brophy ,Basic Electronics for Scientists, McGraw-Hill, New York, 1977.

Principles of Electric Circuits –Electron Flow Version, Third Edition, Merril, 1993