

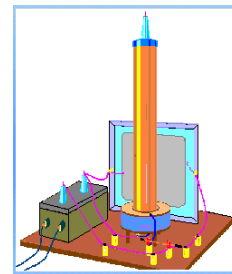
Projeto de Instrumentação para o Ensino - F809

Relatório Final

Bobina de Tesla: Dos Circuitos Ressonantes LC aos Princípios das Telecomunicações

Aluno: *Gustavo Pires Marques* - RA 981298

Orientador: *David Mendes Soares*



Introdução

Na Segunda metade do século XIX, Nikola Tesla, engenheiro iugoslavo radicado nos Estados Unidos, realizou muitas experiências com correntes alternadas de altas frequências (acima de 100KHz) buscando inicialmente uma forma de gerar e transmitir correntes elétricas a grandes distâncias sem o inconveniente das enormes perdas causadas pelo efeito Joule associada à utilização de corrente contínua em materiais condutores.

A bobina de Tesla (*BT*) é essencialmente um transmissor de rádio sem antena, e assim Tesla merece algum crédito no que concerne à invenção do rádio, embora seu interesse estivesse mais relacionado à transmissão de energia elétrica do que à comunicação. Tesla também foi o responsável pela construção dos primeiros alternadores e, ironicamente, sempre foi

desencorajado em seu trabalho por Thomas A. Edison que dizia ser impossível o uso de correntes alternadas na geração e distribuição de eletricidade em escala comercial.

Demonstrações elétricas das mais fantásticas são possíveis com uma *BT*. Descargas semelhantes a relâmpagos e brilhantes descargas corona proporcionam um efeito espetacular. Devido ao campo eletromagnético formado, pode acender lâmpadas fluorescentes e lâmpadas de néon até a dois metros de distância do aparelho. Por causa de sua alta frequência, a *BT* provê um modo relativamente seguro para demonstrar fenômenos que envolvem alta tensão.

Objetivo

Este projeto visa a construção de uma das Ivenções de Tesla mais populares — um transformador elevador de alta frequência e núcleo de ar conhecida como Bobina de Tesla e desenvolvida por volta de 1892 — com o objetivo de demonstrar e estudar vários conceitos como:

- *Quebra da rigidez dielétrica do ar*
- *Circuitos ressonantes e transmissão de energia pelo ar*
- *Ionização de gases e relâmpagos artificiais*
- *Geração, transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas*

Descrição do Experimento e Resultados

Para compreensão do funcionamento de uma Bobina de Tesla não é necessário mais que o domínio dos conceitos físicos básicos utilizados no estudo de circuitos oscilantes RLC.

A adequação destes conceitos à operação de uma BT pode ser feita diretamente, sendo necessários apenas alguns cuidados devido à forma particular da construção deste dispositivo. Na figura 1 estão os diagramas usuais de uma BT (a) e o equivalente proposto para seu estudo (b).

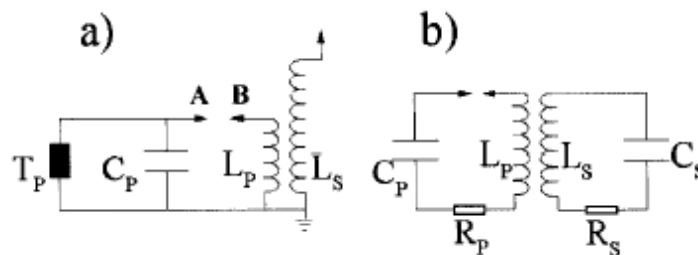


Figura 1

Numa análise simplificada, seu funcionamento pode ser assim descrito: O transformador T_p eleva a tensão recebida da rede (em geral, 110 VAC nominais) para cerca de 12.000 Volts. Como o secundário desse transformador está ligado em paralelo com o capacitor C_p de alta tensão, em cada semi-ciclo da tensão alternada, ele o carrega (armazena energia potencial eletrostática) até o valor dessa alta tensão disponível. A descarga de C_p ocorre através do centelhador quando a diferença de potencial entre A e B é suficiente para vencer a rigidez dielétrica do ar. Quando ocorre a centelha, o ar é ionizado e passa a conduzir corrente elétrica, fechando o circuito primário e fazendo a carga armazenada em C_p fluir para o indutor L_p

que é, então, percorrido por um pulso de corrente. Este, gera um pulso eletromagnético ao redor de L_S que absorve a energia do campo e amplifica a voltagem, produzindo até centenas de milhares de volts nos extremos do indutor secundário, sendo que esta transferência é máxima quando as frequências naturais dos dois circuitos são iguais. Além disso L_S transfere a energia para o circuito secundário da figura 1b. Logo após, C_p é novamente carregado até o ponto que outra centelha ocorra e todo processo anterior se repita. Temos então, aproximadamente, um circuito oscilador tipo LC operando numa frequência dada por

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_p C_p}}$$

A razão de amplificação de voltagem seria, no caso ideal e independente da geometria dos indutores, do acoplamento e da frequência, dada por:

$$V_S = V_P \frac{N_S}{N_P}$$

Entretanto, no caso de uma BT, o ganho em voltagem é conseguido de uma forma menos óbvia ligada à relação entre as indutâncias primária e secundária e à qualidade do acoplamento entre os indutores, ou seja, à transferência de energia do circuito primário para o secundário. Supondo então (se o acoplamento fosse total) que toda energia armazenada por C_p fosse transferida para o circuito secundário (L_S e C_S) através de L_p :

$$\frac{1}{2} C_p V_p^2 = \frac{1}{2} L_p I_p^2 = \frac{1}{2} L_S I_S^2$$

Então como a tensão máxima em L_S é proporcional a I_S ($V_S = \omega L_S I_S$) vemos que a tensão máxima em L_S depende também de C_p , bem como da raiz quadrada da razão entre as indutâncias secundária e primária:

$$V_s = V_p \sqrt{\frac{L_s}{L_p}}$$

No nosso caso as indutâncias estimadas para as bobinas primária e secundária utilizando a expressão $L = \mu_0 N^2 \pi R^2 / H$ para a indutância de um solenóide foram de:

$$L_p = 27 \mu H \quad L_s = 12 mH$$

E como a tensão utilizada no primário era de aproximadamente 12KV, utilizando a expressão desenvolvida anteriormente para V_s em função das indutância encontramos:

$$V_s = 252 KV$$

No entanto, testes realizados com a bobina revelaram tensões da ordem de 120 KV. Tal fato se deve ao fraco acoplamento existente entre as bobinas L_p e L_s , não permitindo uma transferência total de energia do circuito primário para o secundário. Além disso a capacitância estimada para o C_p projetado e construído, utilizando a expressão para a capacitância de um capacitor de placas paralelas $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{d}$ foi de :

$$C_p = 4.5 nF$$

Esta capacitância era a máxima possível para não danificar o transformador utilizado, devido ao fato da única impedância vista por este ser a retância capacitiva oferecida por C_p . Assim a frequência natural do circuito primário era de

$$f = 456 KHz$$

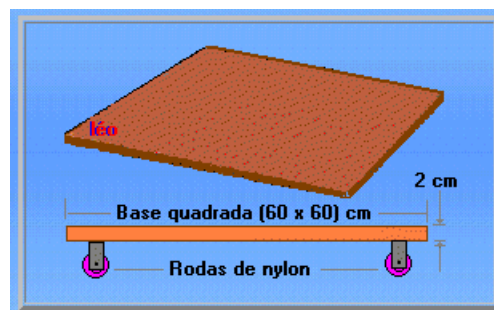
Tal frequência foi utilizada para sintonizar a bobina secundária levando em conta sua auto-capacitância e a capacitância do terminal de descarga.

Imediatamente após ser colocada em funcionamento (depois de numerosos ajustes), a presença de alta voltagem nos terminais de L_s pôde ser comprovada. Uma coroa azul-violeta formada por pequenos relâmpagos (efeito corona) aparecia em torno do terminal de descarga de L_s , que foi feito com uma esferinha de isopor embrulhada com papel alumínio e com capacitância da ordem de 3pF.

As descargas através do centelhador produziram pulsos extremamente agudos de potência elétrica, os quais são muito ricos em harmônicos de R. F. Pôde-se, então, notar as ondas eletromagnéticas geradas pela BT e conseqüentemente a energia transportada por elas ao se aproximar uma lâmpada flurescente (até mesmo queimada) a cerca de 1,5 metros de distância do terminal de descarga e observar seu acendimento! Aproximando-se uma peça metálica (devidamente isolada) do terminal de L_s ocorria uma descarga intensa produzindo um ruído característico e um forte cheiro de ozônio devido a ionização do ar .

Material e Montagem

para a base do aparelho: placa de madeira compensada de (80 x 80 x 2)cm , rodas (opcional);



para a bobina secundária: tubo de PVC , 500g de fio magnético # 22 para aproximadamente 1000 espiras, terminais, verniz e polietileno para isolamento, parafusos de plástico para fixação;

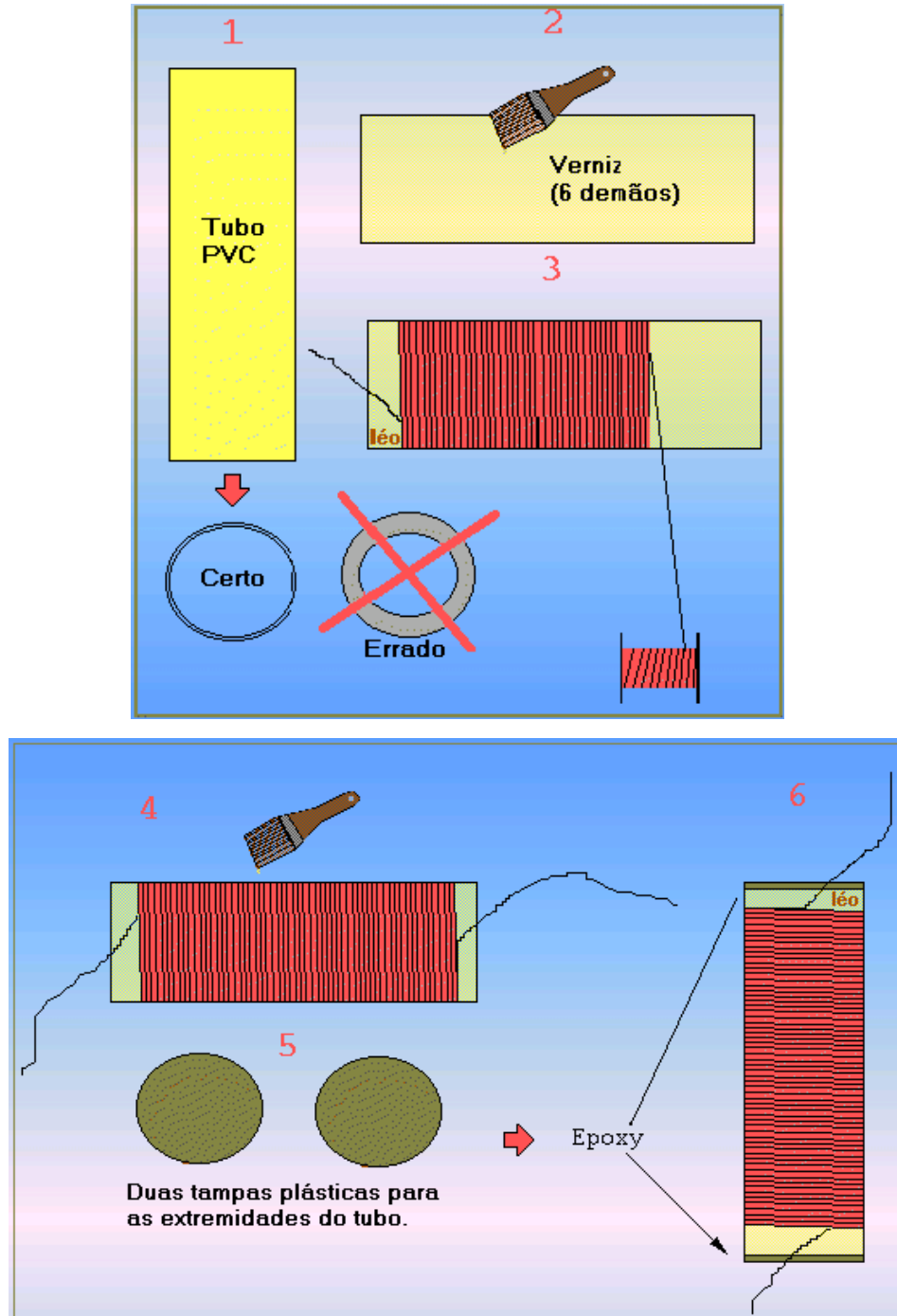


Figura 2. Etapas da montagem da bobina secundária

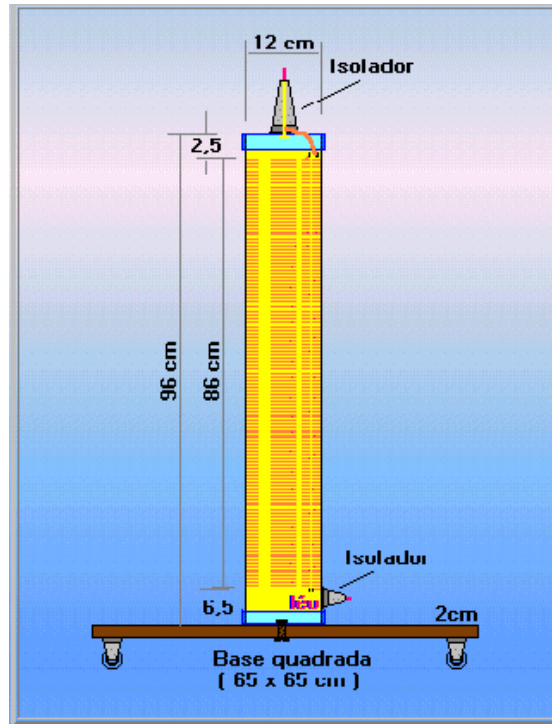
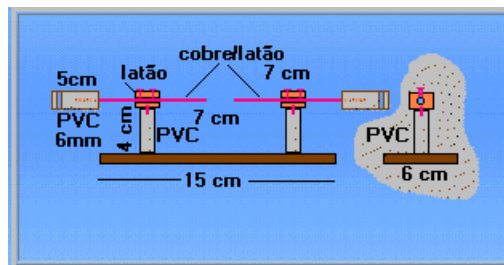


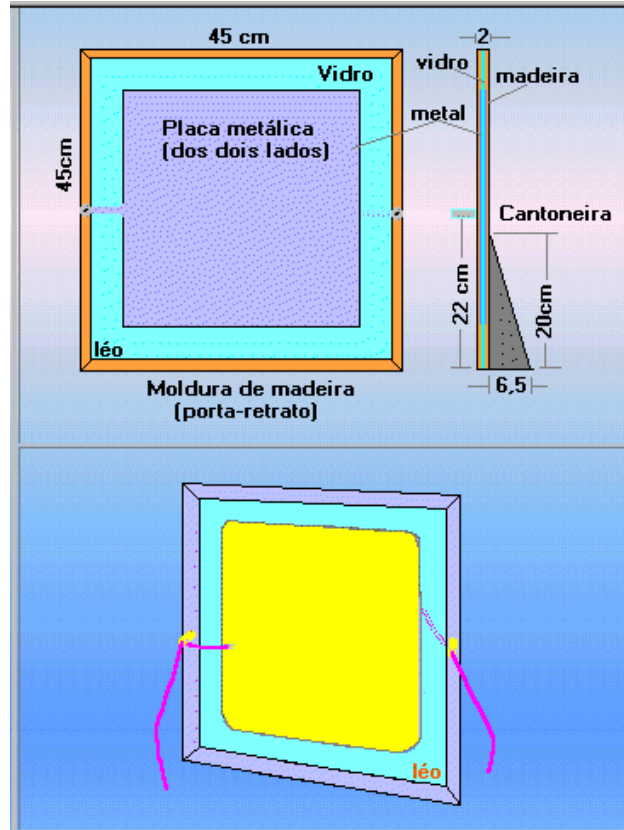
Figura 3. Aspecto final da bobina secundária

para a bobina primária: foi utilizado um cesto de plástico com diâmetro 23cm e altura 40cm, 10m de fio de cobre encapado com plástico para 13 espiras;

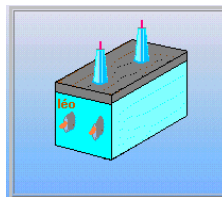
para o centelhador: varetas de latão, tubos plásticos, isoladores cerâmicos, uma base de madeira;



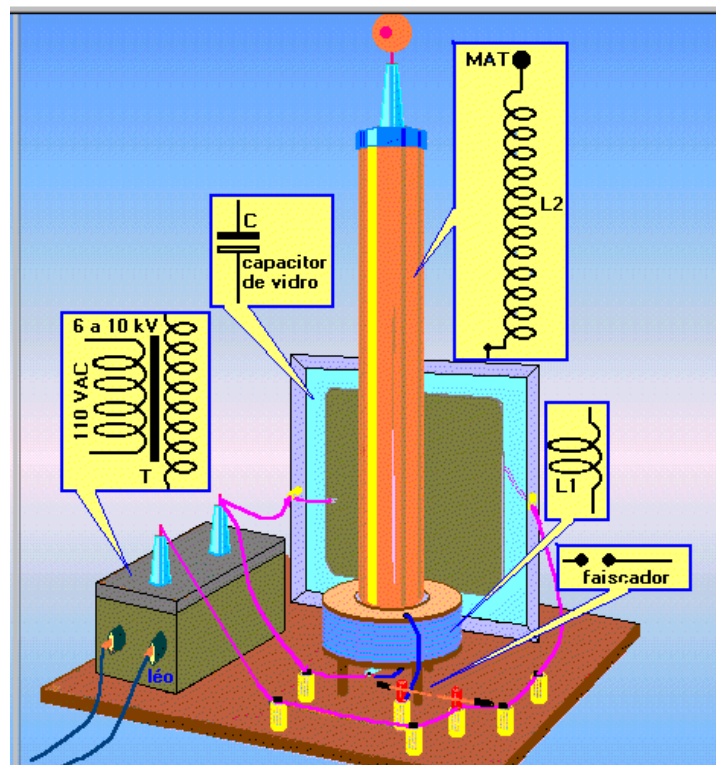
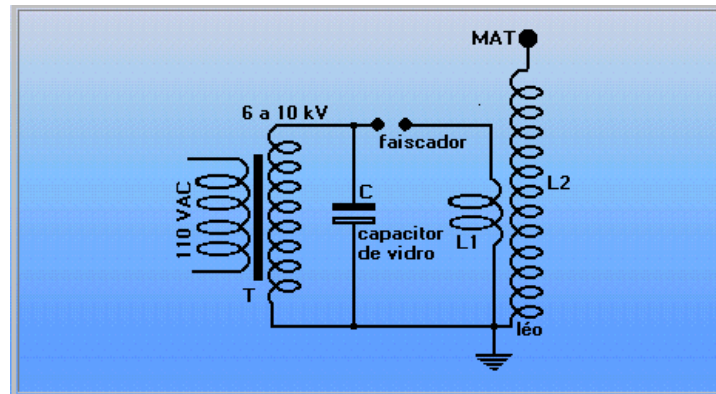
para o capacitor: Moldura com apoio, 1 placa de vidro plano de (45cm x 45cm x 2mm) comum, 2 folhas de papel alumínio, cola adesiva, terminais de plástico;



para a tensão de entrada: transformador para néon (primário 110VAC, 60Hz - secundário 8 a 17 kV-30 mA com auxílio de um Variac), fios para alta tensão.



AspectoFinal da Bobina de Tesla



Experimentos utilizando a Bobina de Tesla

Abaixo apenas dois dos inúmeros experimentos que são possíveis com a BT.

Sintonia de Frequência e Recepção de Ondas Eletromagnéticas

Pode-se com um outro circuito LC (com capacitor variável) adaptado a um osciloscópio e variando-se a distância deste à BT sintonizar a frequência de operação do sistema através da ressonância. Este processo não é nada mais do que aquilo que fazemos quando sintonizamos uma estação de rádio ou televisão.

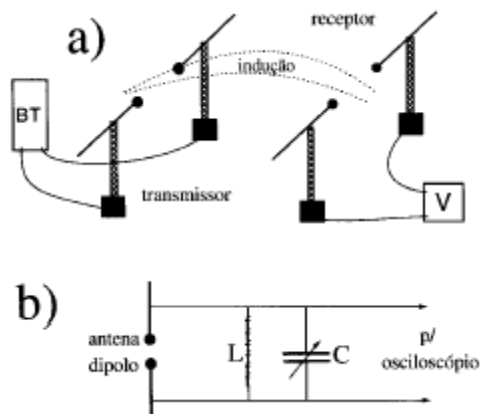


Figura 4. (a) Esquema simplificado do sistema de geração e recepção de ondas eletromagnéticas através de dipolos; (b) "Sofisticação" do sistema de sintonia.

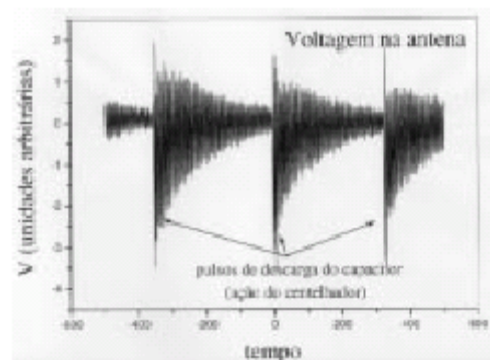


Figura 4.(b) Voltagem induzida na antena dipolo para vários pulsos do centelhador. Nesta figura fica clara a ação do centelhador de transferir toda a energia armazenada no capacitor C_P para o indutor L_P em cada pulso, produzindo assim, pulsos de alta voltagem no circuito secundário.

Globo de Plasma alimentado pela Bobina de Tesla

Um fascinante display de energia elétrica pode ser construído colocando um simples globo de vidro (devidamente aterrado) ao redor do terminal de descarga da BT. O Plasma



é algumas vezes descrito como “quarto estado da matéria” quando ele consiste apenas de íons e neste caso é conseguido com ar e a pressão atmosférica. A alta voltagem ioniza o ar e o que vemos são pequenos relâmpagos artificiais.

Importância Didática

Os efeitos produzidos pelas altas voltagens geradas pela Bobina de Tesla são uma das mais espetaculares ilustrações que se pode realizar em Física ou em Engenharia Elétrica e ainda permite a exploração de conceitos como a quebra da rigidez dielétrica do ar/ionização de gases (relâmpagos artificiais, plasmas), circuitos ressonantes e transmissão e recepção de energia pelo ar através de ondas eletromagnéticas, ilustrando os princípios da rádio difusão.

Algumas imagens de Bobinas de Tesla



Referências

- [1] N. Tesla. Experiments with alternate currents of high potencial an high frequency, Omni Hawthorne, California (1979).
- [2] Nikola Tesla and David H. Childress (Editor), The fantastic inventions of Nikola Tesla, Adventures Unlimetide Pr. New York, (1993)
- [3] Revista Brasileira do Ensino de Física, vol.22, nº1, Março, 2000
- [4] http://www.feiradeciencias.com.br/sala03/03_08.asp
- [5] <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/Thinktank/3319/>
- [6] <http://www.drmegavolt.com/>
- [7] <http://home.earthlink.net/~electronxc/>