



Universidade Estadual de Campinas

Instituto de Física “ Gleb Wataghin”

Disciplina F 609 – Tópicos de Ensino de Física I

Jatos d'água sob efeito de luz estroboscópica

Aluno: Bruno Arena Barros

Orientador: Antônio Carlos da Costa

Coordenador: José Joaquim Lunazzi



Objetivo

O projeto em questão tem por objetivo explicar e demonstrar a finalidade que o efeito estroboscópico possui nos estudos de objetos em movimento.

Resumo

A fim de demonstrarmos tal efeito construímos um estroboscópio eletrônico ajustável; além de um mecanismo que nos permite produzir pulsos de jatos d'água. Iluminado os jatos d'água com o estroboscópio eletrônico foi possível obter um resultado satisfatório e impressionante. Satisfatório, pois, devido a fonte de luz estroboscópica ser ajustável, foi possível causar o efeito de que o jato está em movimento progressivo, retrógrado ou repouso. Impressionante porque, como tal objeto realiza uma trajetória oblíqua sob a ação da gravidade, o efeito parece ser de que a água parte do balde e chega ao lugar do lançamento.

Introdução

Em 1832 o Belga, Joseph Plateau, inventou um dispositivo que deu início ao efeito estroboscópico, o “phenakistoscope”, o primeiro dispositivo que gerava a ilusão de uma imagem em movimento. Este era composto por dois discos; um contendo pequenas e equidistantes janelas radiais, através das quais era possível observar o outro disco, que continha uma sequência de imagens. Quando os discos rodavam na velocidade correta, a sincronização entre as janelas e as imagens acarretava um efeito animado.

No entanto, no mesmo ano de 1832, o Austríaco, Simon von Stampfer, tomou conhecimento de alguns experimentos feitos por Michael Faraday, onde a alta rotação de engrenagens causava uma ilusão óptica. Stampfer ficou tão impressionado que realizou experimentos com engrenagens. Foi a partir desses experimentos que Stampfer desenvolveu o Disco de Stampfer. O disco de Stampfer era semelhante

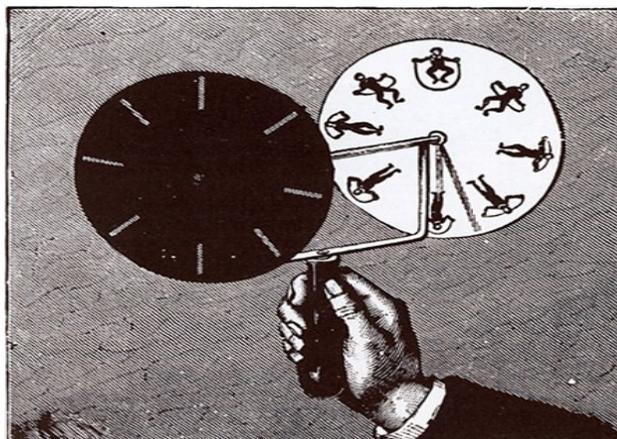
ao de Plateau - um disco com fendas radiais e outro com imagens em quadros de movimento. Quando olhava-se através do disco com fendas (sendo que este era ligado ao mesmo eixo dos discos com as imagens), tinha-se a impressão de que as imagens estavam em movimento contínuo. Sua invenção hoje é popularmente conhecida como efeito estroboscópico.



Joseph Plateau (1801 a 1883) à esquerda, Simon Stampfer (1792 a 1864) no meio e Harold Edgerton (1903 a 1990) à direita



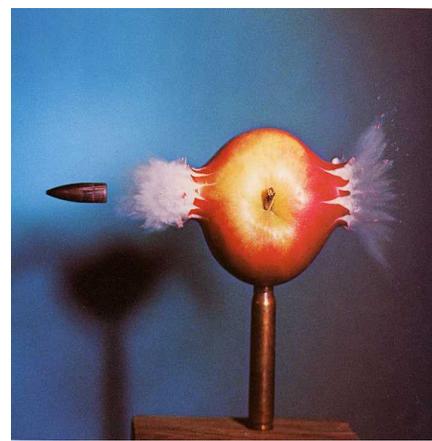
Disco com imagens



Disco de Stampfer

Ambos, Plateau e Stampfer, deram origem ao cinema. No entanto, Plateau é o mais conhecido.

Em 1937 o Norte-Americano, Harold Eugene Edgerton, desenvolveu o estroboscópio eletrônico. Ele desenvolveu uma luz estroboscópica multi-flashes, que podia disparar até 120 vezes por segundo. Edgerton foi o pioneiro na fotografia estroboscópica. Posteriormente, utilizou esta técnica para capturar imagens de balões durante a explosão, uma bala durante o seu impacto com uma maçã, por exemplo.



Algumas das fotos obtidas por Harold Eugene Edgerton

Teoria

Imagine um ambiente completamente escuro em que existe uma lâmpada comum que pisque numa determinada frequência. Se você pedir para uma pessoa caminhar neste ambiente, você só vai conseguir vê-la nos breves instantes em que a lâmpada estiver acesa. Isso significa que você não vai ver a pessoa caminhando, mas vai vê-la como se ela tivesse sido "fotografada" em locais que mudam sucessivamente à medida que ela se desloca no ambiente, conforme mostra a figura 1. O movimento da pessoa não será visto de uma forma contínua, mas "em partes". É exatamente o que ocorre nas festas quando somos iluminados por uma luz que pisca rapidamente.



Figura 1

Se a pessoa começar a se movimentar dando um passo para frente e um para trás, repetindo continuamente este movimento, e, se ela fizer isso lentamente, veremos novamente a pessoa se movimentar em partes, indo e voltando conforme mostra a figura 2.



Figura 2

Se pedirmos que a pessoa acelere este movimento, vai chegar o instante em que a lâmpada pisca justamente quando ela estiver sempre na posição B, conforme mostra a figura 3.

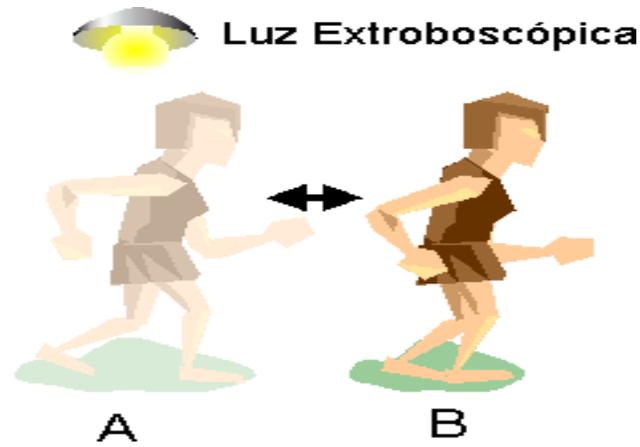


Figura 3

Teremos então a imagem da pessoa paralisada em B, pois não veremos mais quando ela vai até A e volta (pois isso ocorre no intervalo em que a lâmpada está apagada). Em outras palavras, nestas condições conseguiremos "paralisar" ou "congelar" o movimento da pessoa, mesmo que ela continue se movimento!

Quando pretende-se observar um corpo em movimento periódico que possui uma frequência f_1 , ilumina-se tal corpo com uma luz estroboscópica, que possuiu uma frequência f_2 . Quando f_2 coincide com f_1 , ou com qualquer dos submúltiplos de f_1 , o corpo iluminado sempre será visto numa mesma posição do ciclo que ele realiza, parecendo estar imóvel. Se $f_2 > f_1$, o corpo será visto movimentando-se em sentido contrário. Se $f_2 < f_1$, o corpo será visto movimentando-se no sentido correto.

O efeito estroboscópico pode ser ainda mais acentuado se considerarmos uma característica da visão humana denominada "persistência retiniana".

Nossos olhos não conseguem separar eventos que ocorram num intervalo de tempo menor que $1/10$ de segundo.

Se uma lâmpada piscar numa frequência menor que 10 Hz, distinguiremos perfeitamente estas piscadas. No entanto, se a frequência de piscadas for maior que 10 Hz, não as conseguiremos separar e veremos a lâmpada acesa continuamente.

Isso ocorre com a TV em que as imagens estão mudando a razão de 60 por segundo, mas nossa visão não consegue perceber isso. É como se 60 fotos fossem projetadas em cada segunda na tela do televisor. Não conseguimos perceber esta mudança rápida das "fotos" mas tão somente as mudança de posição dos objetos dando-se a impressão de movimento.

Assim, se no caso da lâmpada que ilumina a pessoa que "vai e vem" as piscadas ocorrerem numa velocidade maior que 10 Hz, veremos a pessoa parada e a lâmpada acesa (sem piscar).

Metodologia Experimental

Decidimos iniciar o projeto construindo a fonte de luz estroboscópica regulável, pois supomos que seria a parte mais fácil entre as demais. Foi preciso estudar três projetos de circuitos diferentes para concluir esta etapa do projeto; sendo que apenas o PROJETO C funcionou adequadamente.

ESTROBOSCÓPIO ELETRÔNICO - PROJETO A

A partir de uma pesquisa na internet encontrei o circuito mostrado na Figura 4, abaixo:

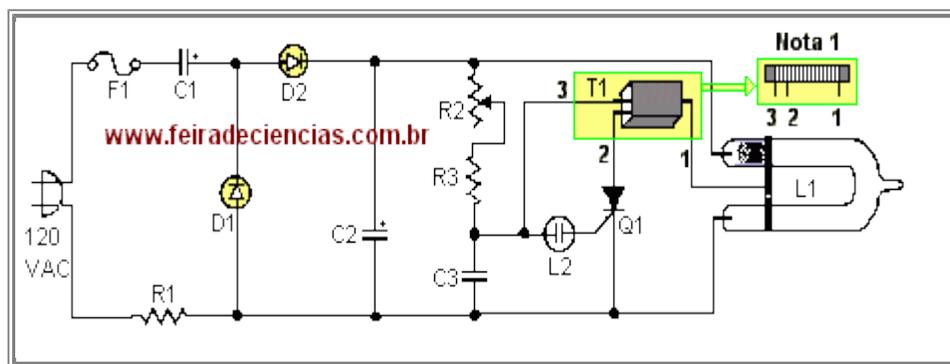


Figura 4

Por meio deste circuito, é possível obter uma frequência de 1 Hz a 20 Hz por meio do ajuste de R2, além de poder ser alimentado diretamente da rede elétrica domiciliar. Um dobrador de tensão formado por C1, D1, D2 e C2 permite carregar C2 até cerca de 300 VCC. A potência disponível dependerá das capacitâncias desses capacitores; valores entre 10 e 22 mF podem ser experimentados. A frequência dos pulsos é determinada por R2, uma vez que ele controla a rapidez com que o capacitor C3 é carregado. Quando C3 atinge a d.d.p. de cerca de 80 VCC, a lâmpada néon ioniza e conduz, então C3 se descarrega sobre o 'primário' de T1, gerando uma d.d.p. induzida de cerca de 4 000 volts no 'secundário'. É essa alta tensão que dispara a lâmpada xénon. Os componentes utilizados foram:

Componentes	Quantidade	Descrição
R1	1	Resistor de 220 Ω , 10 W
R2	1	Potenciômetro de 500 k Ω a 1 M Ω
R3	1	Resistor de 100 K Ω a 680 K Ω , $\frac{1}{4}$ W
D1, D2	2	Diodo de silício 1N4004
C1, C2	2	Capacitor eletrolítico 22 μ F, 350 V
C3	1	Capacitor 0.47 μ F, 200 V
T1	1	Transformador de pulso 4KV (nota)
L1	1	Lâmpada de flash de Xenônio
L2	1	Lâmpada Néon (NE-2H)
Q1	1	TIC – 106B
F1	1	Fusível de 115 V, 1 ^A
Miscelânea		Estanho, fios, placa de solda etc

Notas

1. T1 e L1 normalmente são adquiridos em conjunto (lâmpada xénon e seu transformador de pulso). Se a L1 for obtida sem seu transformador disparador de pulso, esse poderá ter a seguinte construção caseira: núcleo de ferrite de 5 cm de comprimento e 0,8 ou 1,0 cm de diâmetro; nele enrolar 200 espiras de fio 30 ou 32 AWG, tirar um 'tap' e enrolar mais 20 espiras. Eis a ilustração na Figura 5:

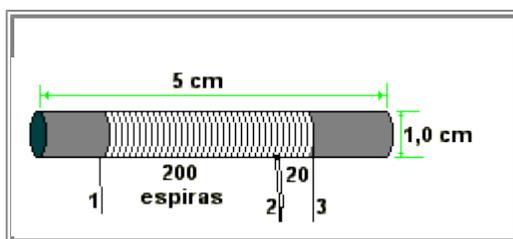


Figura 5

2. O circuito não é isolado da terra. Deve-se tomar cuidado no seu manuseio; não toque as partes internas durante o funcionamento;

3. Não mantenha o circuito funcionando por mais que alguns minutos, pois C1 e C2 podem sobreaquecerem e explodir; capacitores de tântalo eliminariam esse fator.

4. O circuito não tem chave liga/desliga, mas isso pode ser facilmente incluído.

A Figura 6, a seguir, mostra o circuito depois de montado.



Figura 6

Realizada a montagem do circuito em questão, o mesmo não funcionou. Desconfiamos que o gerador de pulso T1, que foi feito à mão, não estava funcionando; pois o multiplicador de tensão estava funcionando. A lâmpada de néon acendia e piscava com certa frequência, o que deveria gerar os pulsos para T1, que seriam transformados em pulsos de alta tensão que acenderiam a lâmpada de xenônio.

Por meio do osciloscópio constatamos que havia, sim, tensão em T1. Foi possível observar pela indução do transformador de pulso que havia um sinal de tensão senoidal. Mas tal sinal não era suficiente para disparar a lâmpada de xenônio. Após muitos testes variando o valor de R2 e de R3 (que poderia ser algum valor entre 100 K Ω a 680 K Ω), decidimos procurar por outro projeto, a fim de fugirmos da montagem do transformador de pulso caseiro.

ESTROBOSCÓPIO ELETRÔNICO - PROJETO B

Encontramos outro projeto mais elaborado, onde não havia a necessidade de se construir um gerador de pulso, pois neste novo projeto o pulso de alta tensão podia ser gerado por um transformador que tínhamos disponível. A Figura 7 mostra o circuito.

Para a rede domiciliar de 110 VAC, R1 deve ser de 2,7 k Ω x 10W, e para a rede de 220 VAC, de 4,7 k Ω x 10W. Como utilizamos um TIC-106D escolhemos R com o valor de 1k Ω (pois R deve ser entre 1k Ω e 2K2 Ω). Os outros componentes utilizados foram os mesmos que indica a Figura 2.a. Desta vez montamos o circuito no Protoboard.

Tal circuito possui o mesmo funcionamento que o anterior; a diferença entre eles é que neste é usado um triplicador de tensão (ao invés de um dobrador de tensão) e um transformador comum de 0-110-220V de primário e 9-0-9V de secundário. A Figura 8 mostra o circuito montado.

Feita a montagem, ele não funcionou. Realizamos testes no multiplicador de tensão, que estava operando perfeitamente; havia cerca de 500 V nos terminais da lâmpada. Novamente desconfiamos que o problema estivesse no transformador de pulso. Então ligamos um relé com um switch diretamente na entrada do gerador de pulso, desligando todo o circuito responsável por gerar a frequência. A lâmpada acendeu!

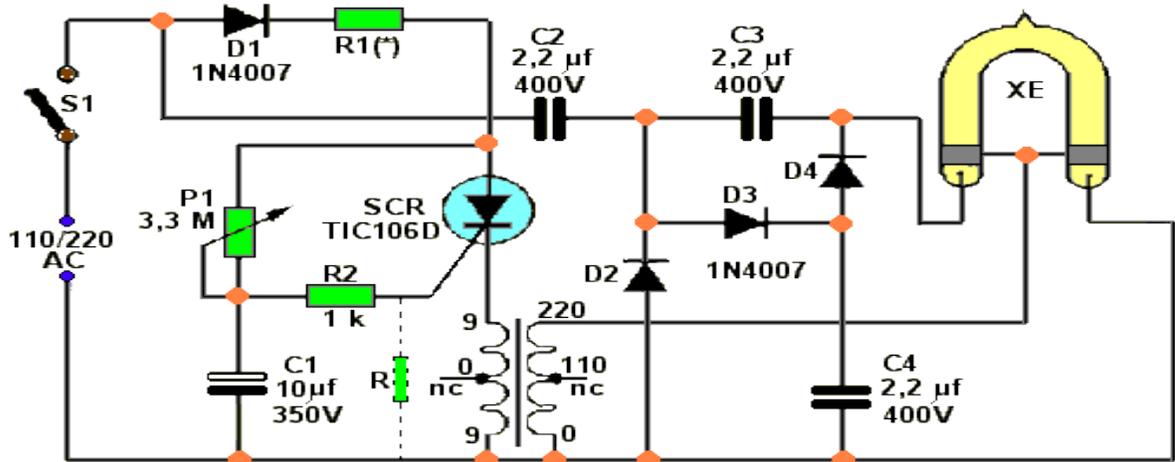


Figura 7

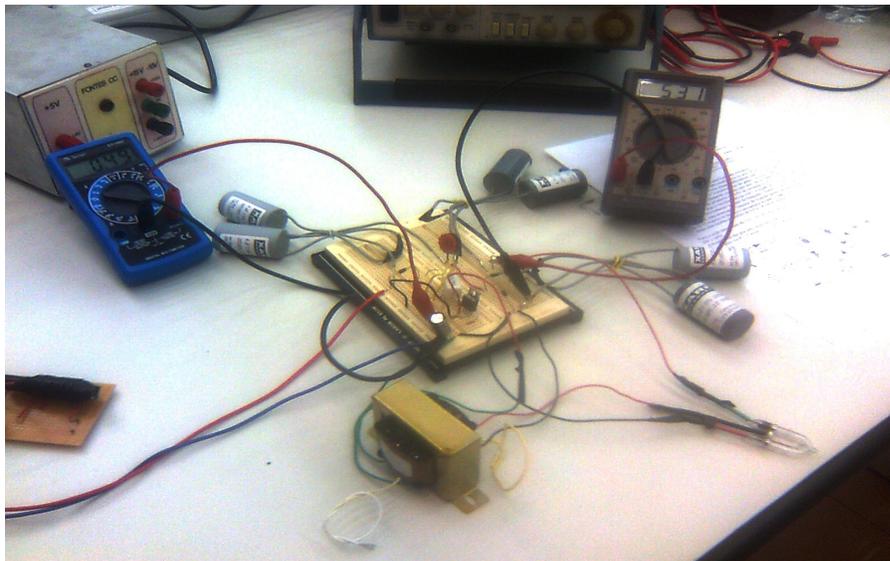


Figura 8

Logo, o problema estava na parte do circuito responsável por gerar os pulsos. Como usamos o TIC 106B deveríamos ter um R entre $1K\Omega$ e $2K2\Omega$. Ligamos a resistência de década no lugar de R e fomos variando a resistência. A lâmpada, então, começou a acender, no entanto não havia uma

periodicidade; num momento ela piscava cinco vezes num segundo, depois apenas uma vez num segundo.

Passamos horas tentando solucionar este problema, até que decidimos ligar o gerador de função na entrada do transformador, utilizando 1Hz de frequência, com 6,0 V na forma de onda quadrada. Para eliminar a parte negativa do ciclo colocamos um diodo na saída da fonte. A lâmpada começou a acender com periodicidade. Mas notamos que ao aumentarmos a frequência, o multiplicador de tensão não conseguia fornecer a tensão rapidamente a fim de que ela pudesse acender de novo. Colocamos mais três capacitores em paralelo com os outros do multiplicador de tensão, um para cada capacitor que já existia. A lâmpada passou a responder com mais rapidez aos pulsos de alta frequência. Mas surgiu outro problema: mesmo tendo a tensão necessária, e, sendo recuperada de forma rápida, a lâmpada acendia cinco vezes operando em alta frequência e apagava. Passamos a desconfiar, então, da qualidade da lâmpada e que ela não foi projetada para operar com frequências muito altas, uma vez que na embalagem dela estava escrito que a frequência devia estar entre 150 pulsos por minuto.

ESTROBOSCÓPIO ELETRÔNICO - PROJETO C

Quando tudo parecia que nada daria certo, lembramo-nos de usarmos LEDs ao invés de uma lâmpada de Xenônio. Desde o início tínhamos descartado esta ideia, pois a luminosidade que o LED gera é insuficiente para causar um bom efeito estroboscópico, além do tempo que ela leva para acender ser muito longo. Enfim, com o LED comum não seria possível produzir flashes de alta intensidade.

No entanto, tínhamos nos esquecido do LED de alta potência, que é uma nova tecnologia de LEDs. A Figura 9 mostra exatamente o LED de 5W de potência; justamente o que usamos. Para utilizá-lo de forma adequada o alimentamos com 6,0V, o que gera uma corrente entre 250 e 350 mA.

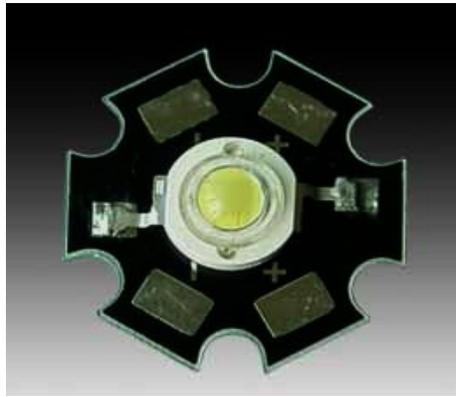


Figura 9

Para produzir os flashes com curta duração utilizamos o Circuito Integrado 555 (CI 555). O CI 555 é utilizado em temporizadores de precisão e osciladores. Com o "timer" 555 obtêm-se temporizações precisas desde microsegundos até horas.

Pode-se também utilizá-lo como multivibrador astável (oscilador) em que a frequência de oscilação é controlada externamente por resistores e capacitores.

Para gerar os pulsos de curta duração por meio do CI 555 utilizamos o circuito mostrado na Figura 10. Os componentes utilizados foram:

Componentes	Quantidade	Descrição
R1	1	Potenciômetro de 10 K Ω
R2	1	Potenciômetro de 1 M Ω
R3	1	Resistor 10 K Ω
R4	1	Resistor de 10 Ω / 5W
C1	1	Capacitor eletrolítico de 1 μ F
C2	1	Capacitor de 0.1 μ F

LED	2	LED de 5W
CI 555	1	Circuito Integrado 555
T1	1	Transistor BD 135
Miscelânea		Estanho, fios, placa de solda etc
Fonte	1	Entrada 110V AC Saída 12 V DC / 2,5 A
Dissipador	1	Dissipador de potência
Chave Geral	1	Chave Liga / Desliga

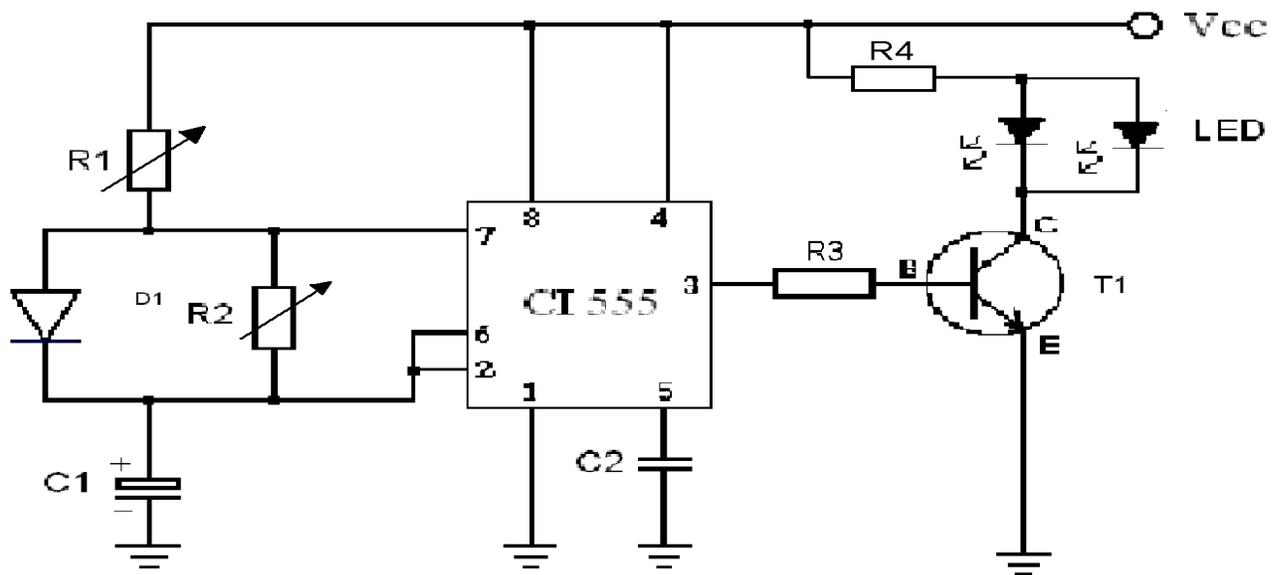


Figura 10

Como já mencionado, o CI 555 gera os pulsos de tensão; sendo que, ao fazermos $R2 \gg R1$, alteramos o período T para cada ciclo, e conseqüentemente a frequência dos flashes, como mostra a Figura 11. O potenciômetro $R1$ ajusta a intensidade dos flashes.

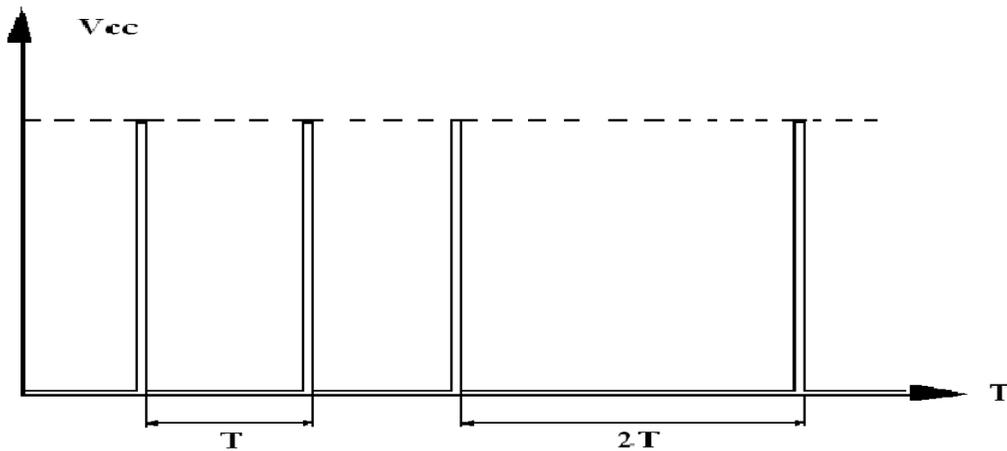


Figura 11

O transistor T1 neste circuito funciona como uma chave. Quando o pulso de tensão na base do transistor é 0V o LED não acende; mas quando a base recebe o pulso de 6,0V o LED acende. A Figura 12 mostra o circuito montado e operando.

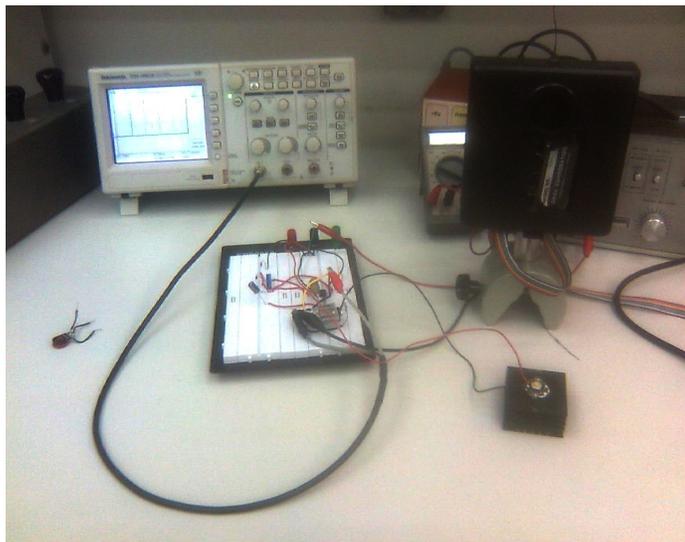


Figura 12

A Figura 13, abaixo, mostra o estroboscópio eletrônico depois de montado, pronto para operar .

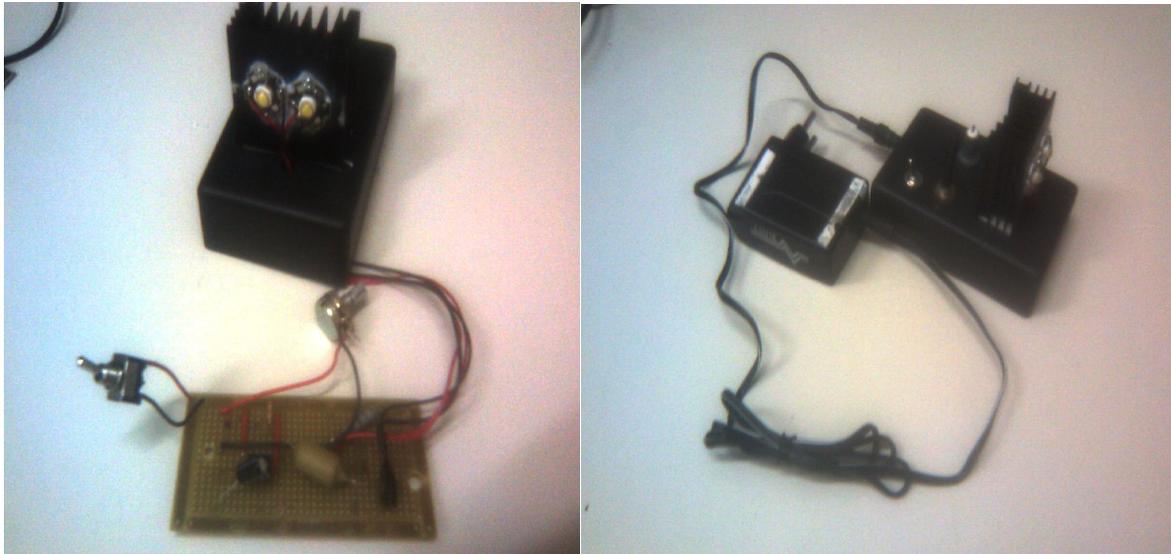


Figura 13

MECANISMO PARA A PRODUÇÃO DE PULSOS DE JATO D'ÁGUA

Para esta parte do projeto pensamos em várias ideias. Partimos supondo que os pulsos de jato d'água fosse gerado por peças capazes de controlar líquidos, como válvulas solenoides e válvulas de máquinas de lavar. No entanto, após consultar técnicos na área concluímos que tais válvulas não poderiam atender as nossas expectativas, pois não são capazes de serem acionadas com frequência de 5 Hz que desejávamos.

Partimos então para um sistema mecânico capaz de gerar um estrangulamento numa mangueira a fim de produzir os pulsos de jato. Pensando no sistema usado nas locomotivas, que transforma o movimento de rotação das rodas num movimento linear, conseguimos desenvolver o mecanismo mostrado na figura 14, abaixo.

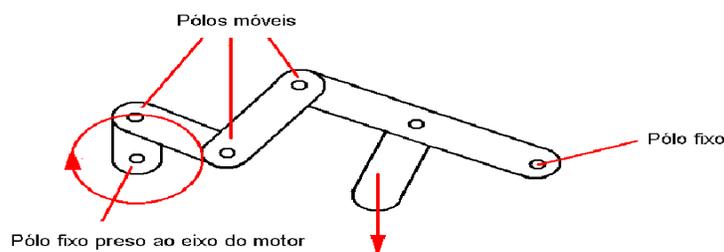


Figura 14

A figura 14 também elucidada o movimento feito pelo mecanismo. Este mecanismo permite transformar o movimento de rotação em um movimento linear para baixo.

Como a finalidade deste é estrangular uma mangueira (usamos uma tripa de mico) com uma frequência de 5 Hz, o motor a ser usado deve ser tal que consiga oferecer um torque razoavelmente forte. Então usamos um motor de uma furadeira/parafusadeira de 9,6 V DC. O mecanismo de estrangulamento foi montado com peças de uma máquina hospitalar que fora desativada.

Fizemos então um suporte de madeira a fim de testarmos a ideia, que funcionou. Então solicitamos o serviço de usinagem para construir as peças adequadas. A figura 15 mostra o projeto de madeira e o de alumínio.



Figura 15

Para o funcionamento do motor construímos uma fonte de alimentação de 9,0 V DC / 1 A. Os componentes utilizados estão listados na tabela a seguir e o circuito construído é mostrado na Figura 16.

Componentes	Quantidade	Descrição
T1	1	Transformador 127 V / 9 V
C1	1	Capacitor eletrolítico de 1000 μ F

LED	1	LED
R1	1	Resistor de 1K Ω
D1 e D2	2	Diodos de 3 A
S1	1	Chave Liga/Desliga
Miscelânea		Estanho, placa de solda, fios etc

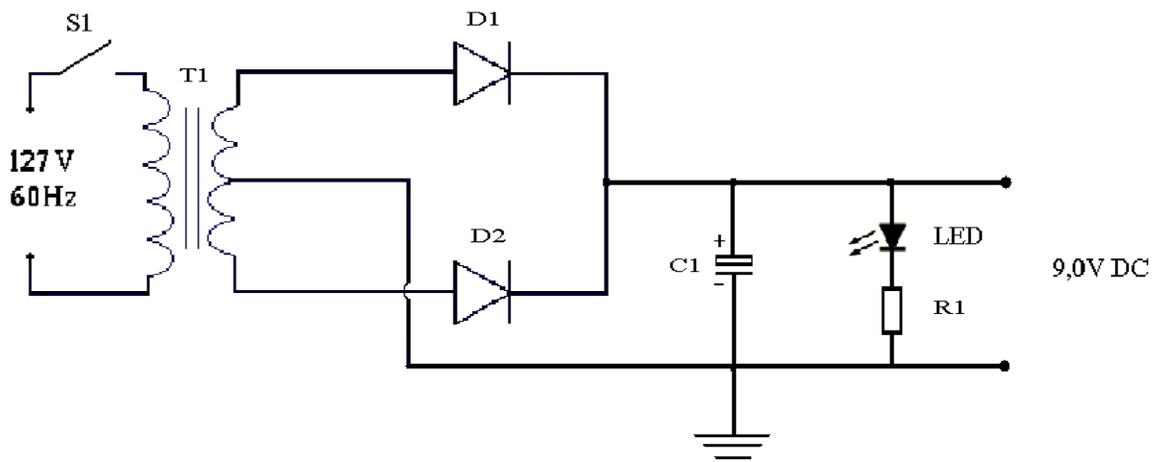


Figura 16

A Figura 17, a seguir, mostra a fonte de alimentação depois de pronta.

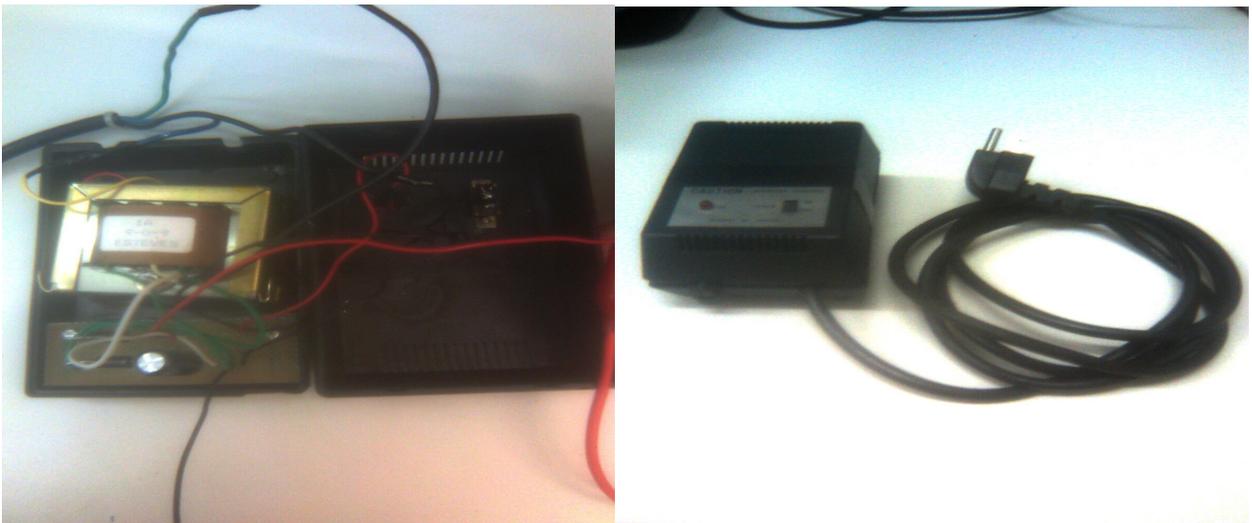


Figura 17

Para o reservatório de água utilizamos uma garrafa PET de 2,0 L. Fizemos um furo no fundo da garrafa e ligamos ao reservatório um equipo de soro, que foi ligado à tripa de mico a ser estrangulada pelo mecanismo, a fim de produzir os pulsos de jato d'água. A pressão para o lançamento dos jatos é dada pela altura da coluna d'água entre o reservatório e o ponto de lançamento dos pulsos.

Ademais, a tripa de mico foi fixada com fita dupla face em toda a região a ser estrangulada, e , foi colocado na saída da tripa de mico uma seringa de 50 mL para que o jato d'água não saísse espalhado demais. Para coletarmos a água proveniente do lançamento usamos um balde.

A Figura 18 mostra todos os componentes do projeto depois de prontos.



Figura 18

RESUSLTADOS OBTIDOS

A intenção era reproduzir o mesmo efeito do vídeo em “Referências [1]”, no entanto não conseguimos obter apenas um jato d'água, mas muitos. Como o mecanismo aperta a mangueira, ele impulsiona o líquido para a frente; ao mesmo tempo freia o que está atrás, e, quando abre a pressão da coluna d'água torna a acelerar o líquido até que ele seja interrompido novamente. Assim, produzimos vários pulsos de jatos d'água, cada um com velocidades iniciais diferentes.

Por consequência, o efeito obtido com a iluminação do estroboscópio eletrônico foi fantástico. Diria que conseguimos ir além do efeito esperado, pois conseguimos reproduzir o efeito de movimento progressivo, retrógrado e estacionário, e, por conta de haver vários jatos d'água, para uma determinadas frequências, os jatos parecem realizar uma trajetória senoidal!

Para a utilização deste projeto é necessário uma sala escura. Para destacar o efeito adicionamos tinta azul na água. Infelizmente não foi possível ver perfeitamente as gotas estacionárias (elas nunca ficam paradas) por conta da insensibilidade do potenciômetro que ajusta a frequência. O ideal seria utilizar um potenciômetro de multivoltas, que é mais sensível.

Opinião do orientador

O aluno desenvolveu o projeto original, que na verdade são 2 distintos:

- a) Fonte de luz estroboscópica;
- b) Interruptor mecânico periódico de fluxo;

Com muita independência, conhecimento, criatividade e principalmente responsabilidade, conclui no prazo e com êxito o projeto.

ACCosta

REFERÊNCIAS

- [1]- Vídeo que deu origem ao projeto,
<http://www.youtube.com/watch?v=ulSarz-kE4s&feature=related>
- [2]- Relatório do primeiro projeto já realizado nesta disciplina,
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem1_2007/ThatianeC_Lunazzi_2ograu_Estroboscopia_RF_1.pdf
- [3]- Relatório do segundo projeto já realizado nesta disciplina,
http://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/WalanC-Marcelo_RF1.pdf
- [4] – Sobre Joseph Plateau,
http://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Plateau
- [5] – Sobre Simon von Stampfer,
http://en.wikipedia.org/wiki/Simon_von_Stampfer
- [6] – Sobre o Phenakistoscope,
<http://en.wikipedia.org/wiki/Phenakistoscope>
- [7] – Sobre o Harold Eugene Edgerton,

<http://edgerton-digital-collections.org/>

[8] – Mais fotos de Harold Eugene Edgerton,
<http://edgerton-digital-collections.org/galleries/iconic>

[9] – Sobre a Teoria,
<http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque/1829-alm248.html>

[10] – Site onde se encontra o Projeto A,
http://www.feiradeciencias.com.br/sala16/16_LE_05.asp

[11] – Site onde se encontra o Projeto B,
<http://www.te1.com.br/2011/03/lampada-estroboscopica-com-xenon/#axzz1ub92MxTy>

[12] – Site onde se encontra o gerador de pulsos do Projeto C,
<E:\CI-555.html>

[13] – Fonte de alimentação para o motor

http://webensino.unicamp.br:8080/cursos/diretorio/atividades_87115_9//F540-Gandra-P1-A-Retificador.pdf?1339442312