

Universidade Estadual de Campinas



UNICAMP

F 609 – Tópicos em Ensino de
Física

“Transmissão de sinal sonoro por laser”



Aluno: Cristian Rosa da Silva RA : 031890

Orientador: Prof. Marcos Cesar de Oliveira

Coordenador : Prof. José J. Lunazzi

2º semestre 2006

Índice

1 Introdução

1.1 - O Gerador de Sinais

1.2 - O Laser

1.3 - A Modulação

1.4 - O Fotodiodo

1.5 - O Som

2 O Projeto

2.1 - Objetivos

2.2 - Descrição

2.3 - A Montagem

2.4 - Análise

3 Conclusão

4 Agradecimentos

5 Bibliografia

1 Introdução

1.1 O Gerador de sinais

Aparelhos eletrônicos processam sinais elétricos, seja amplificando, codificando, comparando, assim, torna-se útil um instrumento que gere sinais elétricos e substitua a fonte original de sinais passando a emití-los, sob controle, para fins de teste e calibração, instrumento esse conhecido como gerador de sinais. É claro que o sinal substituto deve ter as mesmas especificações do original tais como: forma de onda, nível de voltagem e corrente, frequência, o que é conseguido pela programação adequada do Gerador de Sinais de modo que o sinal elétrico é caracterizado pela intensidade, sentido e formato da corrente.

O principal campo de aplicação do Gerador de Sinais em Eletrônica tem sido o teste e calibração de rádio, como também em alguns estágios e defeitos de receptores de TV podem ser usados em testes. Na área digital Microcomputadores, vídeo-games, telefones vem se mostrando muito propícia o emprego deste instrumento, embora a aplicação também seja parcial e exija o uso simultâneo de outros equipamentos.

1.2 O Laser

É uma das maiores contribuições proporcionada pela mecânica quântica. A emissão de sua luz ocorre quando os átomos fazem uma transição de um estado quântico para outro de mais baixa energia, atuando de maneira conjunta para produzir luz com características especiais, como alta intensidade, coerência e colimação do feixe. O laser abreviação de "Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation" como o próprio nome sugere, utiliza o conceito de emissão estimulada, proposto por Einstein no início do século [1].

Se considerarmos dois estados de um átomo, o estado fundamental com energia E_0 e um estado excitado com energia E_x , temos que a passagem de um estado para outro pode ocorrer de três formas distintas:

* Absorção, onde um átomo no estado fundamental, se colocado num campo eletromagnético com frequência alternada f , pode absorver uma quantidade de energia $E = hf$ do campo e fazer uma transição para o estado de mais alta energia, onde $hf = E_x - E_0$

* Emissão Espontânea, onde depois de um certo tempo, um átomo no estado excitado e sem radiação presente irá retornar ao seu estado fundamental, emitindo um fóton de energia $E = hf$ no processo, de maneira espontânea, isto é, sem influência externa;

*Emissão Estimulada, onde um fóton externo, com energia $E = hf$, pode estimular um átomo inicialmente no estado excitado a fazer uma transição para o estado fundamental, e neste processo o átomo emite um outro fóton, cuja energia também é hf .

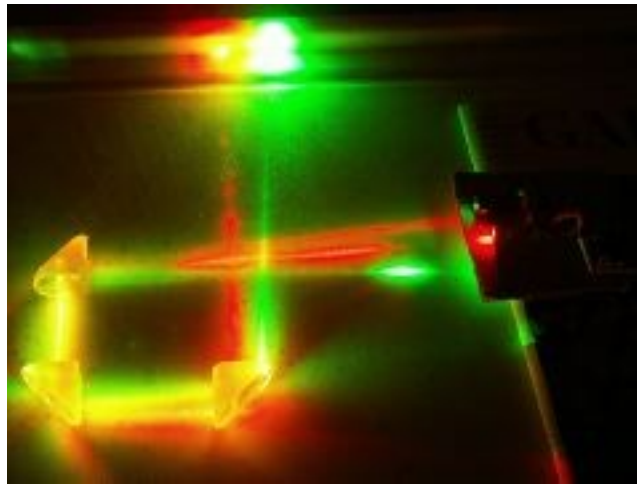


Figura 1: Reflexões sucessivas de feixes de laser

Considerando então uma amostra com um grande número de átomos em equilíbrio térmico à temperatura T . Inicialmente, temos um número N_0 destes átomos no estado fundamental com energia E_0 , e N_x átomos com energia mais alta E_x . Se enviarmos nesta amostra fótons de energia $E_x - E_0$, alguns deles vão desaparecer, via absorção pelos átomos inicialmente no estado fundamental, enquanto outros fótons serão gerados, via emissão estimulada pelos átomos no estado excitado. Para que possamos produzir luz laser, devemos ter mais fótons emitidos do que absorvidos, ou seja, devemos ter uma situação inicial na qual temos mais átomos no estado excitado do que no estado fundamental.

1.3 A Modulação

É o processo através do qual voz, música, e outro sinal "inteligível" é adicionado às ondas de rádio produzidas por um transmissor. Um sinal de rádio não modulado é conhecido como *portadora*. Quando se escuta uma lacuna entre músicas ou anúncios em uma estação de rádio, na realidade, está se "escutando" a portadora. Enquanto a portadora não contém nenhuma mensagem, pode-se dizer que está sendo transmitida porque anula o ruído de fundo do rádio [2].

Por definição, a modulação é a variação de um parâmetro de uma onda portadora senoidal, de maneira linearmente proporcional ao valor instantâneo do sinal modulante ou informação. Por suas vez, a portadora é a onda senoidal que, pela modulação de um dos seus parâmetros, permite a transposição espectral da informação (ou sinal modulante). Devido a portadora senoidal ter três parâmetros: Amplitude, Freqüência e Fase, existem três formas básicas de modulação: Modulação em Amplitude

(AM), modulação em frequência (FM) e modulação em fase (PM Phase Modulation).

Podemos observar na figura abaixo a forma de onda senoidal que consiste a portadora :

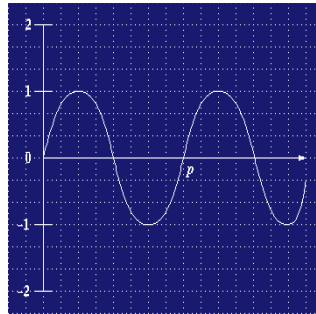


Figura 2 : A onda portadora

Tendo em vista nossos objetivos, a título de exemplo, abordaremos especificamente a modulação na amplitude da onda.

- AM - Amplitude Modulada

A amplitude da portadora de um transmissor é variada conforme temos a variação da modulação do sinal. Quando se fala no microfone de um transmissor AM, o microfone converte a voz em tensão (voltagem) variada, em seguida a voltagem é amplificada e então usada para variar a potência da saída do transmissor. A amplitude modulada adiciona potência à portadora, com a quantidade adicionada sendo dependente da intensidade da voltagem de modulação.

A figura abaixo demonstra como a amplitude da portadora da figura 2 está sendo variada para transportar o sinal.

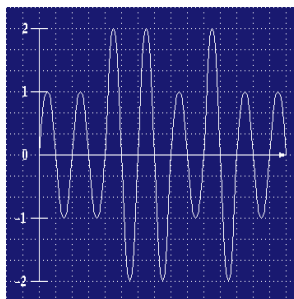


Figura 3: Variação da Amplitude da onda portadora.

Já na próxima figura, é demonstrado o sinal da portadora e o sinal a ser enviado (sinal modulador), e o resultado final que é o sinal AM :

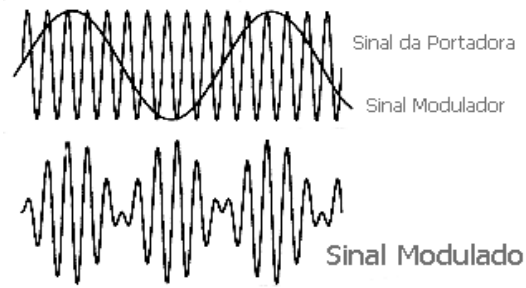


Figura 4: Modulação do Sinal

A amplitude modulada resulta em três frequências separadas sendo transmitidas: a frequência da portadora original, uma banda lateral inferior (LSB - lower side band) abaixo da frequência da portadora, e uma banda lateral superior (USB - upper side band) acima da frequência da portadora. As bandas laterais são "imagens espelhadas" de cada uma e contém a mesma mensagem. Quando o sinal AM é recebido, estas frequências são combinadas para produzir os sons que ouvimos.

Na figura abaixo, podemos visualizar os componentes do sinal modulado em relação à frequência.

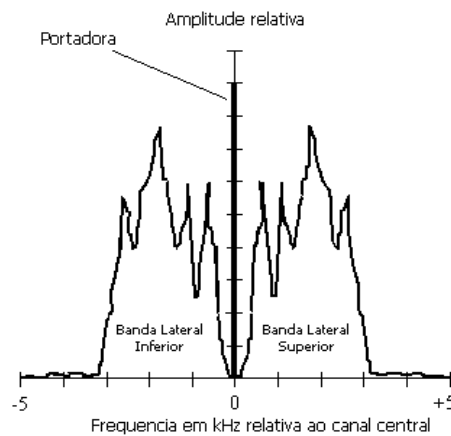


Figura 5 :Componentes do Sinal modulado em relação a frequência.

Cada banda lateral ocupa o mesmo espaço de frequência que a mais alta frequência de áudio que está sendo transmitida. Se a mais alta frequência de áudio que está sendo transmitida é de 5 kHz, então o espaço total de frequência ocupado por um sinal AM será de 10 kHz (a portadora ocupa espaço desprezível).

O AM tem a vantagem de ser fácil de ser produzido em um transmissor e os receptores AM são simples em projeto. Sua principal desvantagem é sua ineficiência. Aproximadamente $2/3$ da potência de um sinal AM é concentrada na portadora, a qual não contém "inteligência". $1/3$ da potência está dentro das bandas laterais, as quais contêm a inteligência do sinal. Considerando que as bandas laterais contêm a mesma inteligência, entretanto, uma é essencialmente "desperdiçada". Da potência total de saída de um transmissor AM, apenas aproximadamente $1/6$ é realmente produtiva.

1.4 O Fotodiodo

É um diodo de junção construído de modo a possibilitar a utilização da luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. Quando a junção é inversamente polarizada, na ausência de luz incidente na mesma, a corrente é praticamente nula. O número de portadores dessa junção, e com ele a corrente elétrica, aumenta com o aumento da intensidade luminosa no cristal [3].

O funcionamento do fotodiodo baseia-se no fato de que os fótons que se chocam com a junção produzem pares de elétron-lacuna, por cederem sua energia, facilitando a corrente elétrica. O feixe de luz incidente na junção tem efeito semelhante ao da corrente de base em um transistor convencional, quando a luz incide exatamente na junção, a resposta do fotodiodo é maior, reduzindo-se rapidamente de cada lado da junção, à medida que se afasta dela.



Figura 6 : O fotodiodo

Os fotodiodos respondem muito rapidamente às variações de luz. Respostas a centenas de megahertz são possíveis, possibilitando as mais diversas aplicações para esse componente. Verifica-se a aplicação de fotodiodos nos foto-acopladores, circuitos digitais, controles remotos, etc.

1.5 O Som

Ondas sonoras são produzidas devido as deformações provocadas pela diferença de pressão em um meio elástico qualquer (ar, metais), precisando necessariamente deste meio para se propagar. Desta forma, percebemos que o som é uma onda mecânica, não se propagando no vácuo. A maioria dos sons acaba sendo obtido através da vibração de objetos, como é o caso do alto-falante. Nesse equipamento, o diafragma se movimenta para fora da caixa acústica criando uma região de alta pressão pois comprime o ar que está nas proximidades. Do mesmo modo, ocorre uma rarefação quando o diafragma se move para dentro da caixa.

No momento em que as variações de pressão chegam aos nossos ouvidos, nossos tímpanos são

induzidos a vibrar nos causando a sensação fisiológica do som. Um ouvido normal consegue ouvir uma faixa de frequências que varia aproximadamente entre 20 e 20000 Hz, sendo que as ondas que apresentam frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infra-sônicas ao passo que os sons superiores a 20000 Hz são chamadas de ultra-sônicas. Já outros animais podem produzir e ouvir sons em frequências inacessíveis aos ouvidos humanos como é o caso do morcego [4].

O som pode ser descrito como uma onda de pressão. Em função do caminho e do tempo percorrido, e a equação que descreve esta onda é dada por:

$$Dp = Dp_m \text{ sen } (kx - \omega t)$$

onde x é o caminho percorrido pela onda, t o tempo decorrido, k é o número de onda, ω a sua frequência angular e Dp_m é a pressão máxima da onda sonora. Pode-se mostrar também que:

$$Dp_m = (\omega v r) s_m$$

onde s_m é o deslocamento máximo das camadas de ar (ou de cada molécula de ar individualmente) a partir da posição de equilíbrio.

A velocidade do som em qualquer meio é dada pela relação a seguir;

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$$

onde ρ é a densidade do meio e B é o módulo de compressão volumétrica, definido como

$$B \equiv -\frac{\Delta p}{\Delta V/V}$$

onde uma mudança na pressão causa uma mudança no volume de um meio.

Com as relações acima descritas pode-se mostrar que a velocidade do som no ar em condições normais é igual a 343 m/s, ou 1234 Km/h.

2 O Projeto

2.1 Objetivos

As pessoas estão familiarizadas com lasers como tipos de fontes de energia. Suas aplicações incluem desde o seu uso em toca-CDs, indicadores de lasers, scanners de supermercados, cirurgias e até em comunicações óticas. A maioria das transmissões de informação de longa distância, como chamadas telefônicas e os dados via internet, é feita também com feixes de luz propagando-se em redes

de fibras óticas.

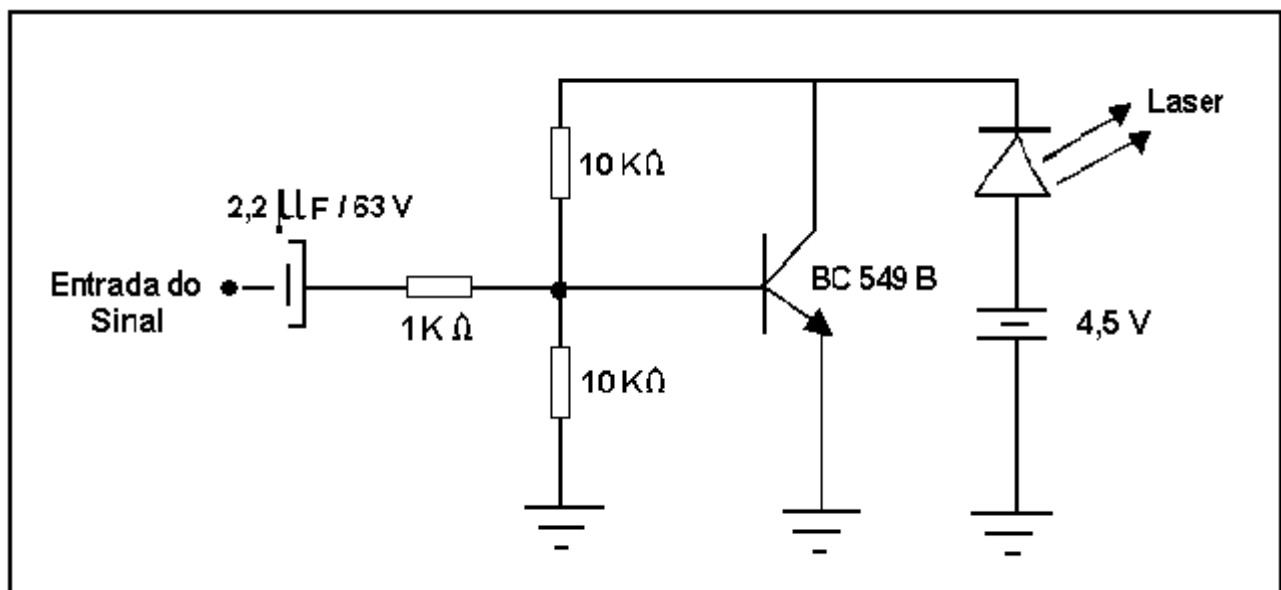
A partir disso, o presente projeto tem por objetivo demonstrar experimentalmente como um sinal sonoro pode ser modulado por um circuito emissor de maneira a ser transmitido via laser pelo espaço, sendo em seguida captado por um fotodiodo conectado a um circuito receptor, onde esse sinal será decodificado nos permitindo converte-lo em ondas sonoras.

2.2 Descrição

A potência efetiva luminosa de um laser é normalmente descrita como um feixe contínuo de força constante. Entretanto, para comunicações em laser, o feixe pode ser modulado de maneira controlada por modulação de amplitude.

Esta modulação acrescenta informação ao feixe, que pode ser transportada e transmitida para um local distante, onde pode ser extraída e utilizada. Como exemplo uma conversa telefônica pode ser codificada em um feixe laser modulado e enviada para outro país onde será decodificada e ouvida [5].

No presente projeto utilizamos um gerador de sinal sonoro que foi modulado e transmitido pelo laser conforme o circuito a seguir:



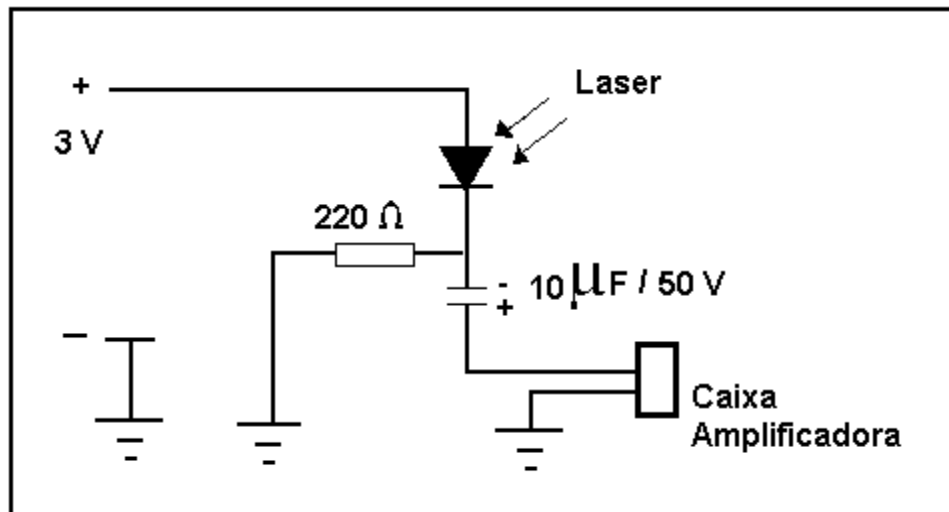
Circuito 1: Circuito emissor utilizado.

No circuito emissor, o apontador laser consiste em um diodo laser alimentado por baterias DC. Abrimos o compartimento da bateria e conectaremos fios isolados (baixa corrente) aos terminais positivo e negativo das baterias. Usamos o dispositivo de bloqueio do capacitor para prevenir que a corrente DC flua pela saída do circuito do gerador de sinais. Conectamos a saída áudio com os fios que vão para os terminais positivo e negativo das baterias.

No circuito receptor a bateria está conectada de um resistor para um fotodiodo. Quando a luz

incide sobre o fotodiodo, a corrente flui pelo circuito. Apenas o componente AC desta corrente contribui para o sinal que é transmitido pelo capacitor para o auto-falante /amplificador [6].

Na figura abaixo temos o circuito receptor utilizado:



Circuito 2: Circuito receptor utilizado.

Direcionando o feixe de laser para o fotodiodo podemos bloquear e desbloquear o feixe com a mão por exemplo, assim o fotodiodo é alternadamente iluminado o que ocasiona cliques de som no alto-falante. Isso decorre do fato de estarmos modulando a força do feixe laser e o alto-falante estar desmodulando-o para produzir som.

Modulamos também o feixe utilizando um pente movendo-o para que os dentes bloqueiem alternadamente e transmita o feixe laser. De acordo com a posição dos dentes do pente utilizado, o feixe varia de velocidade e sons de várias frequências podem ser produzidos no alto-falante.

Da mesma forma, modulamos o feixe laser usando pó de talco ou giz em uma sala escura. Ao jogarmos o pó sobre o feixe, ouviu-se um ruído como trovão do alto-falante e ao mesmo tempo vimos uma luz espalhando-se das partículas de pó.

Conectamos um gerador de sinais sonoros, um mp3 player, com o laser usando um cabo minicoaxial, numa das extremidades, na entrada do gerador de sinal e a outra conectada às baterias que alimentam o laser. Ao colocarmos uma música o som foi transmitido pelo alto-falante e ao bloquearmos o feixe laser o som era interrompido.

2.3 A Montagem

Inicialmente montamos os circuitos emissor e receptor conforme a descrição acima, a única alteração foi a utilização de um LDR no lugar do fotodiodo, dispositivo esse que também tem a propriedade de utilizar a luz como fator determinante no controle da corrente elétrica. Entretanto, ao

testarmos o circuito verificamos que com o LDR não foi possível a transmissão, assim modificamos e utilizamos o fotodiodo.

Segue abaixo as fotos dos circuitos utilizados:

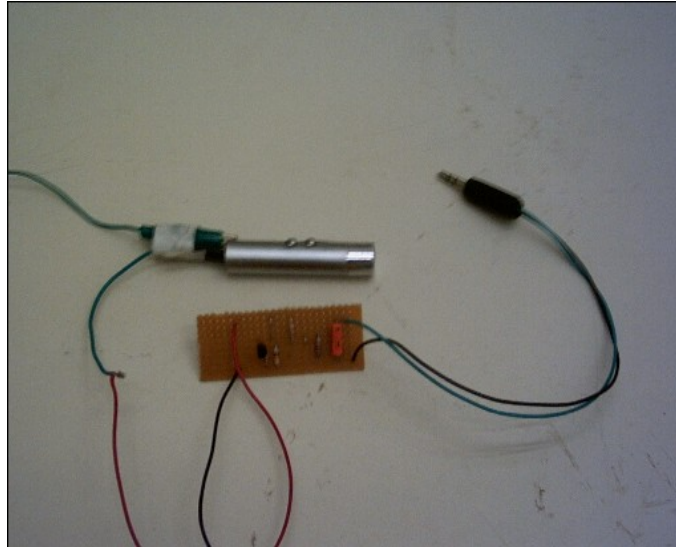


Foto 1: Circuito emissor e laser utilizado.

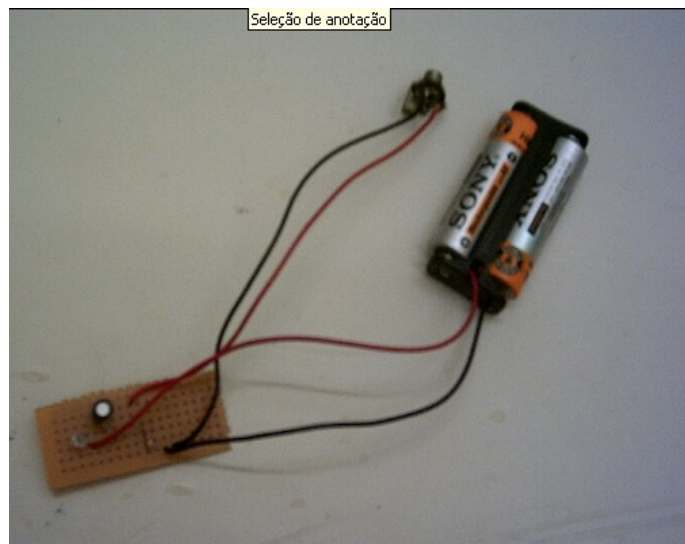


Foto 2 : Circuito receptor utilizado.

Tendo em vista a necessidade de alinharmos o laser com o fotodiodo para que o sinal fosse adequadamente transmitido, utilizamos suportes conforme a foto abaixo :

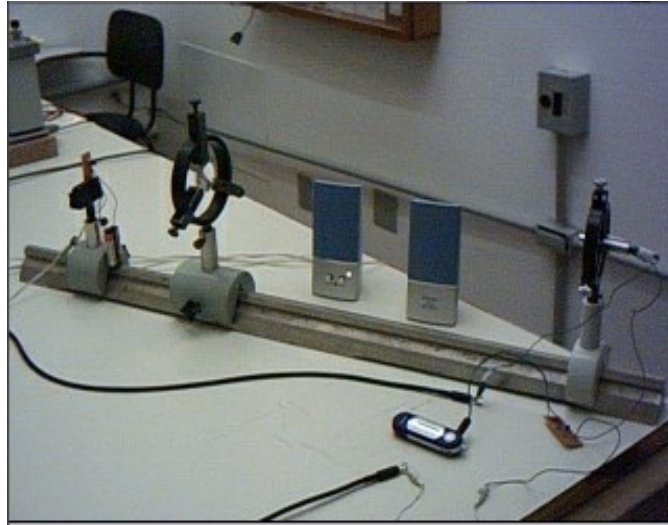


Foto 3 : Laser emitindo sinal a direita, circuito receptor a esquerda.

A partir disso, verificamos que a distância do laser ao fotodiodo é um fator determinante na qualidade de transmissão do sinal, além disso verificamos também que o laser tende a dispersar afetando a transmissão. Desse modo, utilizamos uma lente para que pudéssemos convergir o feixe do laser melhorando assim a captação do sinal pelo circuito receptor.

Segue abaixo a foto da lente utilizada:

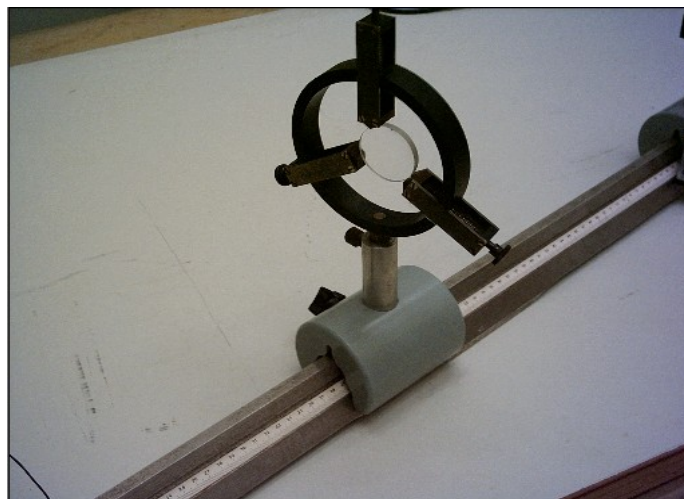


Foto 4 : Lente e suporte utilizado.

2.4 Análise

Foi Claude Shannon em seu artigo “A mathematical theory of communication” publicado no ano de 1948 quem originou a Teoria da Informação. Desde essa época o cerne desta teoria é descrever a reprodução, exata ou aproximada, em um ponto receptor de uma mensagem pré-selecionada em um outro ponto (transmissor).

Um aspecto de extrema importância é que os canais reais de transmissão de informação, usualmente, estão sujeitos a ruídos, e portanto a informação transmitida pode ser comprometida. Nesses casos de transmissão de informação através de um canal ruidoso, existe a possibilidade de que a mensagem recebida não seja idêntica à mensagem transmitida. Contudo, torna-se desejável que esta possibilidade de ocorrência de erro seja a menor possível e idealmente zero [7].

Com o objetivo de verificar a qualidade dos circuitos e da transmissão de nosso sinal, fizemos um estudo onde acoplamos um gerador de sinais na entrada de nosso circuito emissor que nos permitia varia a freqüência de transmissão. Além disso mantivemos a tensão de entrada constante e igual a 160 mV.

Já na saída de nosso circuito receptor conectamos um osciloscópio, de modo que pudemos captar o sinal de saída e verificar sua tensão para cada freqüência utilizada.

A partir disso, com os dados obtidos experimentalmente fizemos o gráfico a seguir :

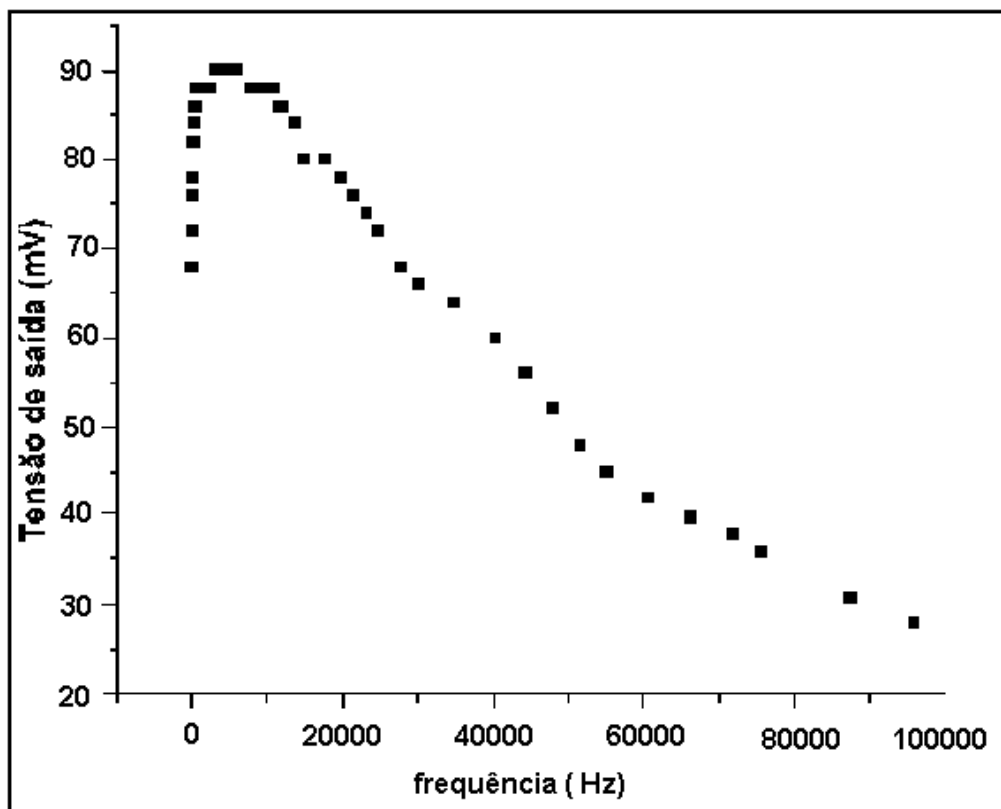


Gráfico: relacionando a Tensão de saída do circuito com a freqüência de entrada.

Como se pode observar pela curva acima, a transmissão do sinal para baixas frequências é razoável, a medida que aumentamos a frequência de transmissão a resposta que obtemos na tensão de saída aumenta até que atingimos um pico de 90mV para frequências de aproximadamente 3000 a 5000 Hz. Isso nos mostra que existem um intervalo de frequências para as quais temos uma melhor resposta, ou seja, melhor transmissão do sinal.

À medida em que aumentamos a frequência de transmissão podemos observar que a tensão de saída diminui constantemente tendendo a zero para altas frequências. Com isso, podemos verificar que a transmissão do sinal de entrada para altas frequências torna-se prejudicada e inviável.

Com relação ao que limita a frequência do sistema, podemos ter duas origens, a frequência do laser e a eficiência de funcionamento dos dispositivos eletrônicos. No entanto, o laser tem um comprimento de onda da ordem de 600 nm e portanto frequência muito alta quando comparada com as frequências envolvidas do sinal sonoro. Assim, acreditamos que a maior limitação seja a baixa eficiência dos dispositivos eletrônicos a altas frequências. No entanto para se ter uma resposta efetiva dever-se-ia desenvolver um procedimento para testar as várias etapas separadamente, o que implicaria em desenvolver esquemas de medição não tão simples como o investigado, fugindo do propósito original. Uma possível proposta de investigação futura seria determinar a eficiência das varias etapas envolvidas.

Característica importante de todo sistema de transmissão é o fato que existe sempre uma escala finita de frequências. O sistema pode ser do tipo passa-baixa de passagem, usando todas as frequências de zero até um determinado ν_f máximo, pode pertencer ao tipo passa-banda de passagem, permitindo melhor transmissão do sinal para frequências entre dois limites ν_1 e ν_2 , sendo essa a classificação de nossa montagem em questão. E finalmente do tipo passa-alta de passagem transmitindo sinais acima de uma frequência inicial, entretanto é puramente teórico, pois não há nenhum sistema físico sem um limite superior de frequência [8].

3 Conclusão

O projeto proposto mostrou-se válido na aquisição de conhecimentos, em óptica mas principalmente em eletrônica. Através deste foi possível estudar o processo da modulação e transmissão de sinais. O sistema foi projetado para que o sinal transmitido pelo laser no circuito emissor fosse captado pelo fotodiodo no circuito receptor, onde seria decodificado e propagado pela amplificador.

Apesar de um experimento bastante simples e que utiliza equipamentos de fácil acesso, deve-se tomar muito cuidado ao projetá-lo. Uma das maiores dificuldades está no alinhamento do conjunto, de forma a fazer a luz emitida pelo laser incidir frontalmente no fotodiodo, afinal estamos trabalhando

com equipamentos sensíveis, e por isto um ajuste fino é extremamente útil neste tipo de tratamento experimental. Além disso, foi necessário colimar o feixe de laser com uma lente, pois na propagação no espaço temos uma tendência a ocorrer dispersão do feixe.

Vimos também que é possível uma explicação teórica a respeito do modelo construído. No entanto, este projeto foi apenas um protótipo, ilustrando os conceitos básicos e mostrando a viabilidade do sistema. É possível um modelo mais aperfeiçoado deste, onde os ruídos e vibrações podem ser diminuídos e a disposição dos equipamentos melhorada. Acima de tudo, acreditamos que o protótipo apresentado ilustra os conceitos envolvidos de forma simples, sendo uma idéia de instrumento para ensino de física.

4 Agradecimentos

Gostaria de manifestar meus agradecimentos ao Claudemir, pelo suporte na área de Eletrônica, sempre com muita dedicação e disposição. Ao professor Costa do laboratório de óptica, pelo apóio com os suportes e alinhamento e principalmente ao meu orientador, Prof. Marcos César de Oliveira, pelo apoio e atenção na elaboração e execução do projeto, sem o qual não teria sido possível a realização do mesmo.

5 Bibliografia

- 1 - Halliday, D., Resnick R., Walker J., “Fundamentos da Física vol. 4” –Óptica e física moderna 6ª edição, Editora Livros Técnicos e Científicos, 2001.
- 2 - Wilson, J. A. Eletrônica Básica: teoria e prática. Hideel, 1985.
- 3 - <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo>
- 4 - <http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html>
- 5 - www2.eletronica.org/projetos/sistema-de-transmissao-de-audio-via-laser/
- 6 - Krane, K. Modern Physics. John Wiley & Sons, 1996.
- 7 - Shannon, Claude, “A mathematical theory of communication”, 1948
- 8 - Brillouin, Leon, “ Science and Information Theory ” 4ª edição, Editora Academic Press, 1971

Sites de consulta:

* <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo>

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

■ Um fotodiodo é um componente eletrônico e um tipo de fotodetector. É uma junção PN designada para responder a uma entrada ótica. Fotodiodos possuem uma "janela" ou uma conexão de fibra ótica, responsável por deixar a luz passar e incidir na parte sensível do dispositivo. Também pode ser usado sem a "janela" para detectar raios ultravioleta ou raios-x. Fotodiodos podem ser usados tanto na polarização reversa quanto na polarização direta. Na polarização direta, a luz que incide sobre o fotodiodo faz a corrente transcorrer através do dispositivo, levando-a a ir para o sentido frontal. Isso é conhecido como o efeito fotoelétrico, e é a base das células de captação de energia solar - aliás, uma célula de captação de energia solar é apenas um monte de grandes, e baratos, fotodiodos. Diodos geralmente possuem uma altíssima resistência quando a polaridade é revertida. Essa resistência é reduzida quando a luz, em uma apropriada frequência, brilha na junção. De fato, um diodo de polaridade reversa pode ser usado como um detector, monitorando a corrente que passa por ele. Circuitos baseados nesse efeito são mais sensíveis à luz que outros baseados no efeito fotovoltaico. Um fototransistor é, essencialmente, nada mais que um transistor bipolar que está encapado em uma capa transparente para que a luz possa atingir a base coletora da junção. O fototransistor funciona como um fotodiodo, mas com uma sensibilidade muito maior à luz, pois os elétrons que são gerados pelos fótons na junção da base-coletora são aplicados dentro da base, a sua corrente é então amplificada pela operação do transistor. Entretanto, o fotodiodo tem um tempo de resposta maior do que o fototransistor.

* <http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/ondas2/ondas2.html>

Quando as variações de pressão chegam aos nossos ouvidos, os tímpanos são induzidos a vibrar e nos causam a sensação fisiológica do som.

Um ouvido normal consegue ouvir uma faixa de frequências que varia aproximadamente entre 20 e 20000 Hz, sendo que as ondas que apresentam frequências inferiores a 20 Hz são denominadas infra-sônicas ao passo que os sons superiores a 20000 Hz são chamadas de ultra-sônicas. Já outros animais podem produzir e ouvir sons em frequências inacessíveis aos ouvidos humanos como é o caso do morcego.

A velocidade do som no ar em condições normais é

$$343 \text{ m/s} = 1234 \text{ Km/h} \quad [11.3]$$

A velocidade do som foi ultrapassada por um avião há muitos anos atrás. Mas, somente em outubro de 1997, ela foi ultrapassada por um automóvel.

Meio	Temperatura, 0C	Metros/segundo
ar	0	331,4
hidrogênio	0	1286
oxigênio	0	317,2
água	15	1450
chumbo	20	1230
alumínio	20	5100
cobre	20	3560
ferro	20	5130
granito	0	6000
borracha vulcanizada	0	54

O som pode ser descrito como uma onda de pressão. Em função do caminho e do tempo percorrido, a equação que descreve esta onda é dada por (veja capítulo anterior)

$$D_p = D_{pm} \sin(kx - \omega t) \quad [11.4]$$

onde x é o caminho percorrido pela onda, e t o tempo decorrido. k é o número de onda, e ω a sua frequência angular. D_{pm} é a pressão máxima da onda sonora. Pode-se mostrar (veja livro do Halliday, ou do Moyses) que

$$D_{pm} = (\rho v \omega) s_m \quad [11.5]$$

onde s_m é o deslocamento máximo das camadas de ar (ou de cada molécula de ar individualmente) a partir da posição de equilíbrio.

*www2.eletronica.org/projetos/sistema-de-transmissao-de-audio-via-laser/

Sistema de Transmissão de Áudio via Laser

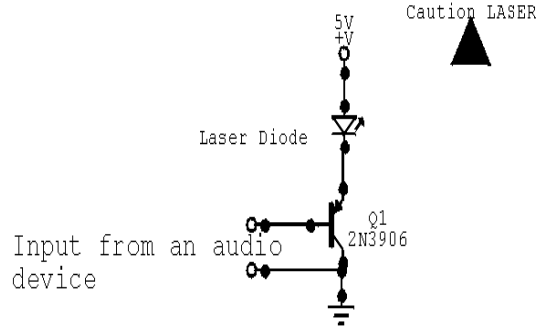
por Suporte Eletronica .org — Última modificação 11/07/2006 02:02

Este é um sistema bastante simples, que pode transmitir sinais de áudio de qualquer fonte por meio de um feixe de laser simples, produzido por diodos laser (os conhecidos "apontadores laser"). Pelas características de simplicidade deste circuito ele é uma boa pedida para projetos de eletrônica em feiras de ciências e afins.

Ele não possui nenhum componente crítico. O transistor 2N2222 pode ser substituído por um equivalente.

Clique aqui para visualizar o esquema do projeto.

Transmitter



Recivier

