

Demonstração da técnica de detecção sensível à fase: uma aplicação óptica

Davi R. Ortega, Túlio C. Rizuti da Rocha
Orientador: Flávio Caldas da Cruz

I - Introdução

No relatório parcial, mostramos a teoria matemática envolvida no funcionamento da técnica de detecção sensível à fase. Mostramos os circuitos utilizados para o desenvolvimento de uma fonte de luz e de um fotodetector utilizando um fototransistor. Detalhamos ainda, uma primeira medida do sinal de um LED captado por um detector utilizando a técnica em questão.

Porém, neste relatório, devemos reportar algumas mudanças necessárias para o sucesso do projeto. Como tínhamos em mente comparar o Lock-in com um aparato montado no laboratório com componentes discretos, pretendíamos que a frequência do sinal de referência fosse a mesma em ambos os casos, para que a amplitude de interferência dos ruídos também fosse a mesma.

No entanto, quando fomos analisar a banda de atuação de um dos componentes utilizados na montagem do aparato, verificamos que banda era de 200 KHz até 500 MHz. Analisando a resposta em frequência do LED e do detector verificamos que ambos não poderiam ser utilizados. Por falta de tempo, acatamos a solução mais simples e fácil. Substituímos o LED por um laser de diodo em 657 nm como fonte de luz e o fototransistor por um detector que, apesar de não ser muito rápido, conseguia responder até 1 MHz. Após implementado todo o sistema o tempo ficou bastante escasso impedindo que alguns pontos do projeto fossem concluídos.

Assim, na seção 2, expomos os motivos que nos forçaram a abandonar o LED e o fototransistor construídos. Na seção 3 mostramos detalhes da implementação do laser e do detector. A quarta e a quinta seção mostram todos os aspectos do experimento utilizando o Lock-in e o aparato feito no laboratório respectivamente. Na seção 6, tecemos um breve comentário comparando os dois sistemas e, finalmente, na última seção concluímos o trabalho.

II- LED e Fototransistor.

No relatório anterior, mostramos os circuitos em que o LED estava ligado e o fototransistor também. Neste, propúnhamos que fizéssemos uma análise da resposta em frequência dos dois componentes. Porém, após verificarmos que nenhum dos dois podiam ser usados para frequências próximas a 1 MHz, decidimos abandoná-los e seguir as soluções explicadas na próxima seção.

Ainda é ponto de dúvida se com algumas mudanças nos circuitos a frequência de corte destes componentes não poderiam ser aumentadas. Mas é certo que uma pesquisa neste assunto poderia levar um tempo maior que o possível, forçando-nos a partir para uma outra solução.

III – Soluções imediatas

Diante dos problemas descritos na seção anterior, resolvemos trocar nossa fonte de luz por um laser. Sabe-se que lasers de diodo aceitam modulação de amplitude a frequências muito altas, da ordem de centenas de MHz. E como detector, utilizamos um modelo bastante sensível, mas que é lento, porém razoavelmente eficiente para o nosso caso.

O laser que utilizamos é um modelo da Hitachi em 657 nm que chega até 35 mW de potência de saída. A alimentação do componente é feita com uma fonte Melles Griot modelo 06 DLH 005. Para colimar o feixe, utilizamos uma lente rápida na saída do laser. A modulação da amplitude da intensidade do laser é feita com uma modulação, de mesma frequência, na corrente do laser. Para isto utilizamos um gerador de função Tectronix.

Um último, e importante comentário sobre o laser é que antes de ser acoplado a corrente do laser, o sinal de modulação passa por um circuito de proteção que tem um filtro passa alta com frequência de corte em 700 kHz.

O detector, porém, não é tão rápido quanto gostaríamos e veremos mais adiante as limitações decorrentes desta característica.

IV – Experimento utilizando o aparato construído no laboratório.

O objetivo do experimento é detectar a intensidade do *spot* do feixe laser num anteparo com um detector. O problema é que ruídos, muito mais intensos que a luminosidade do laser, também são detectados e ocultam o sinal que gostaríamos de obter. Assim, montamos um aparato utilizando componentes discretos que, utilizando a técnica de detecção sensível a fase, nos permite filtrar este tipo de ruído.

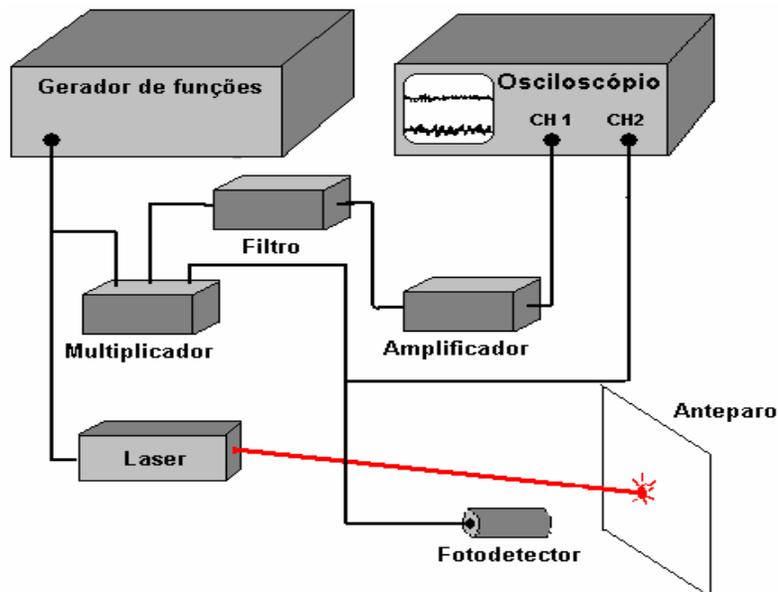


Figura 1: Esquema da montagem para demonstração da técnica de detecção sensível a fase com componentes discretos.

Como mostra a Figura 1, utilizamos um gerador de função da Tectronix como referência. O sinal da saída do gerador, utilizado como referência à frequência de 886 kHz, é mandado direto para o laser que é alimentado com uma corrente de 90mA. O sinal de sincronia é mandado, então, para um multiplicador, ou *mixer*. O sinal vindo do detector também é mandado para o multiplicador e o resultado é mandado para um filtro passa baixa passivo, com frequência de corte próxima a 1 Hz. Depois, é necessário que o sinal passe por um amplificador, no caso utilizamos um amplificador operacional comum, TL071, alimentado por baterias de +12 V e -12 V, que nos dá um ganho de 100. E finalmente o sinal segue para o osciloscópio.

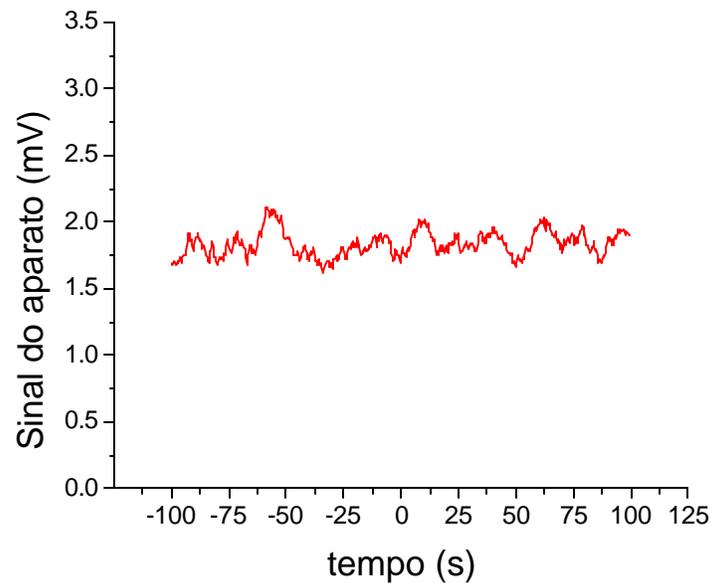


Figura 2: Sinal da saída do amplificador. Mostra um sinal de 1,75 mV em apenas 0,25 mV de ruído.

Na Figura 2, temos o gráfico que mostra o sinal já tratado pelo aparato e a Figura 3 mostra o sinal vindo direto do fotodetector, o seno da Figura 3 tem 120 Hz de frequência e é proveniente da luz do laboratório.

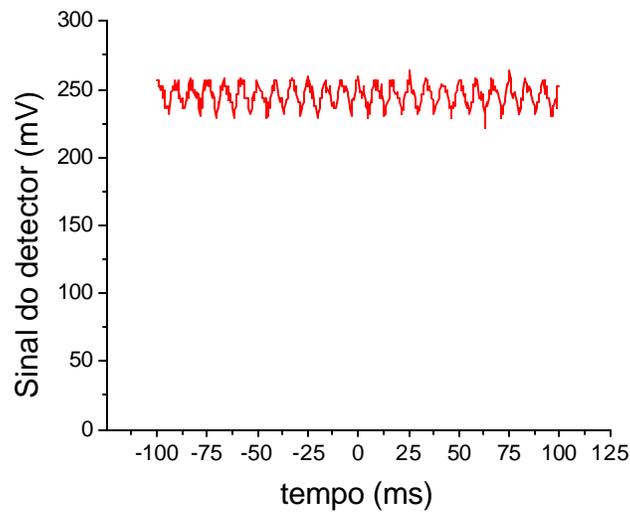


Figura 3: Sinal proveniente diretamente do detector.

Como podemos perceber, conseguimos captar um sinal 100 vezes menor que o ruído com nosso aparato, utilizando a técnica de detecção sensível à fase. Na próxima seção falaremos do mesmo experimento porém agora usaremos o Lock-in comercial SRS 844.

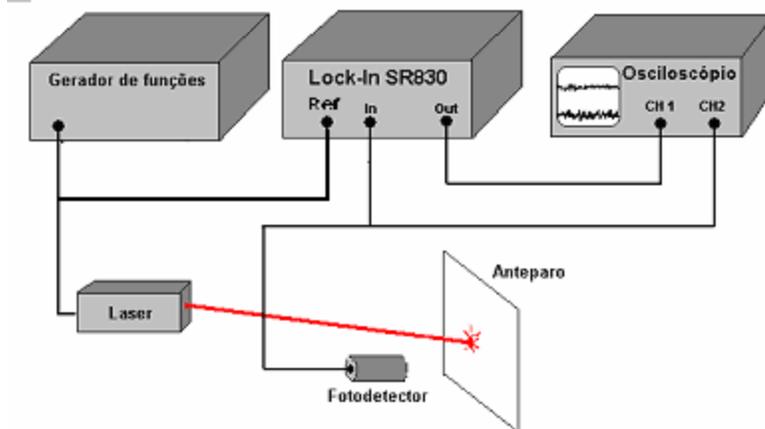


Figura 4: Esquema da montagem do experimento utilizando o Lock-in.

V – Experimento utilizando o Lock-in

Primeiramente, nós não mexemos nas distâncias entre o laser e o aparato e entre o aparato e o detector. A Figura 4 mostra a montagem experimental e o modo como utilizamos o Lock-in: devemos colocar o sinal de sincronia do gerador de função na entrada de referência, o sinal do detector deve ser conectado na parte *input* e a saída deve ser ligada ao osciloscópio.

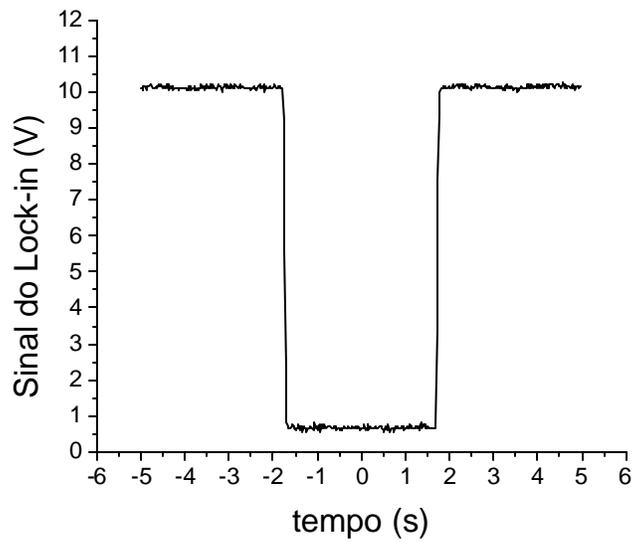


Figura 5: Mostra o sinal na saída do Lock-in. A depressão é devido ao empecilho do feixe chegar até o aparato durante todo o intervalo de -2 até 2 aproximadamente.

Ajustando as constantes, observamos na Figura 5 o sinal tratado pelo Lock-in. A depressão que mostra este gráfico durante o tempo -2 s e 2 s é devido ao fato de bloquearmos o feixe laser. Ou seja, verificamos que o Lock-in não só filtrou o sinal como amplificou apenas o sinal desejado.

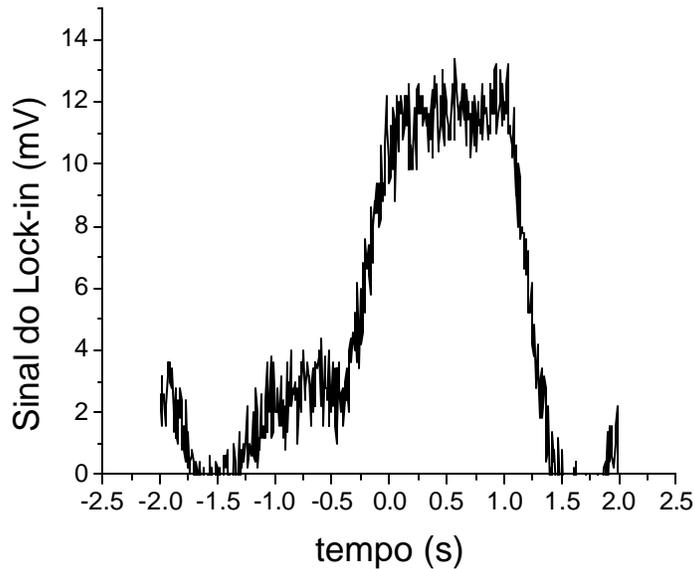


Figura 6: Saída do Lock-in com o detector a uma distância de $1,18$ m do anteparo. O período de $-0,5$ até $1,5$ é quando deixamos o laser chegar até o anteparo.

Como o Lock-in respondeu de maneira bastante satisfatória, resolvemos aumentar a distância entre o detector e o aparato que agora ficaram separados por uma distância de 1,18 m. A Figura 6 mostra o sinal tratado pelo Lock-in, onde, durante o intervalo de tempo entre -0,5 s e 1,5 s deixamos que o laser incida sobre o aparato.

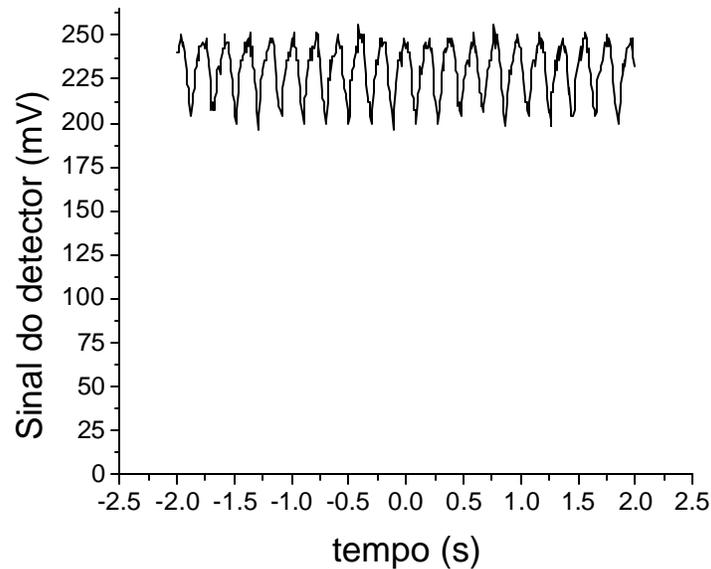


Figura 7: Sinal proveniente do detector. Imagem registrada ao mesmo tempo que a Figura 6. Note que não existe mudança na amplitude do sinal.

Um detalhe curioso é a Figura 7. Nela, mostramos o sinal do detector sobre as mesmas condições durante o mesmo intervalo de tempo. Infelizmente, o sinal do laser é tão pequeno comparado aos ruídos que é imperceptível qualquer alteração no sinal vindo do detector quando permitimos que o laser atinja o anteparo. No entanto, o Lock-in ainda sim elimina os ruídos e amplifica o sinal que queríamos obter.

VI – Comparação

É bastante óbvio que o Lock-in com seus filtros ativos, PLLs e outros artifícios eletrônicos seja muito melhor que um simples multiplicador e filtros passivos. Na realidade, o que podemos observar é que com alguns amplificadores em locais estratégicos, como por exemplo após o detector, poderíamos aumentar a eficiência do nosso aparato. Outro fator importante é a possibilidade de utilizarmos filtros ativos, como no Lock-in, que melhoram muito a qualidade sinal ruído.

A necessidade de casamento de impedâncias entre os componentes do aparato foi observada de última hora e também é um forte motivo pela baixa qualidade do sinal obtido pelo aparato.

De qualquer forma, observamos ainda, que com alguns cuidados, que podem dar bastante trabalho, é de fácil montagem um aparelho de medição que utiliza a técnica de

detecção sensível à fase que possua uma sensibilidade comparável à de um Lock-in comercial.

VII – Conclusão

Neste trabalho, aprendemos sobre uma das técnicas de medida de baixos sinais mais difundidas entre a comunidade científica de todo o mundo. Isto porque a técnica pode ser utilizada em diversos tipos de experimentos.

A grande relevância da técnica está na sua universalidade e na sua matemática simplificada. É de fácil entendimento até mesmo para alunos de primeiro ano de física, matemática e engenharias.

O aparato produzido no laboratório apresentou resultados satisfatórios do ponto de vista que cumpriu com o papel de filtrar os ruídos inerentes ao ambiente. Porém, com alguma atenção especial em determinadas partes do aparato é possível aumentar a eficiência do sistema.

Com o uso do Lock-in tivemos a oportunidade de detectarmos sinais mais de 100 vezes menores que os ruídos a uma distância de aproximadamente 1,18 m. Isto é um resultado surpreendente e fundamental que seja sabido por estudantes que pretendam seguir carreira em física experimental. Enfim, um trabalho muito interessante e que pode ser aplicado amplamente nos trabalhos de física experimental.