



Construção de um Sistema de Dupla Demodulação para Caracterização de Estados Quânticos

Palavras-Chave: Demodulação, Eletrônica, Ótica quântica

Autores(as):

Allan Ribeiro da Silva – IFGW

Prof. Dr. FELIPPE ALEXANDRE SILVA BARBOSA, IFGW- UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Este projeto tem como objetivo a construção de um sistema de dupla demodulação para caracterização de estados quânticos da luz, com um sistema de dupla demodulação em quadratura. Buscando desenvolver a teoria física e matemática por trás da demodulação e aprimorar os conhecimentos em eletrônica juntamente a sua aplicação direta para a construção do sistema.

TEORIA DESENVOLVIDA:

A demodulação é um processo amplamente utilizado na sociedade em processos de comunicação, pois ela desempenha um papel crucial na transmissão eficiente da informação. Esse é um procedimento que envolve a combinação de duas ondas, sendo uma delas contendo a informação desejada e a outra a portadora, que resultam em um sinal modulado com características diferentes da onda original.

O propósito final da demodulação é simplificar o transporte da onda para posterior demodulação. Nesse contexto o sinal a ser demodulado carrega informações em uma frequência mais alta de um sinal eletrônico, que será reduzida para uma frequência mais baixa.

Para a realização da demodulação é necessário montar um circuito com 1 mixer e um filtro passa baixa, onde o mixer mistura um sinal conhecido de um osciloscópio ou computador com o sinal a ser modulado, e o filtro RC garante a apenas a passagem do sinal de interesse. Durante o processo, a função do mixer é de selecionar e amplificar o sinal de interesse, enquanto o do filtro será a de atenuar as frequências que saem do mixer, para que fique apenas o sinal de interesse em formato DC. Conforme será mostrado nos diagramas e equações em sequência.

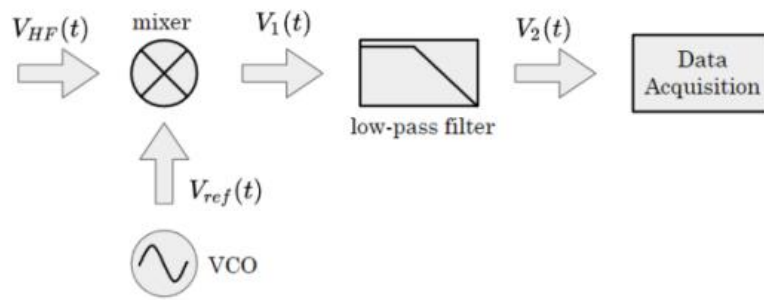


figura 1- diagrama esquemático da demodulação.

O sinal de saída do mixer $V_1(t)$, pode ser calculado como a multiplicação de ambos os sinais de entrada e uma constante do mesmo, seguindo o seguinte formato: $V_1 = K_m V_{ref}(t) V_{HF}(t) = K_m V_{ref}(t)$, que se expande para:

$$K_m \left(\int_{-\infty}^{+\infty} (V_{hf}) e^{-i\Omega t} \frac{d\Omega}{2\pi} \right) (V_{ref} \cos(\Omega_{ref} t + \phi_{ref})) =$$

$$K_m \frac{V_{ref}}{2} \left(\int_{-\infty}^{+\infty} ((\Omega - \Omega_{ref})(V_{hf}) e^{-i\phi t} + (\Omega + \Omega_{ref})(V_{hf}) e^{-i\phi t}) e^{-i\Omega t} \frac{d\Omega}{2\pi} \right)$$

Onde temos a multiplicação do sinal em forma V_{ref} sendo descrita em formato cossenoide e V_{hf} como a transformada de Fourier no domínio do tempo, juntamente a Ω como a frequência e ϕ como a fase. Esse sinal V_1 em sequência passa pelo filtro passa-baixa que vai atenuar as frequências altas e deixar nosso sinal como a convolução do da sua função de transferência dada por $H(\Omega) = 1/(1 + i\Omega RC)$, com R como a resistência e C a capacitância do filtro

$$V_2 = K_m V_{ref} |V_{hf}(\Omega_{ref})| \cos(\phi - \phi_{ref}) \Delta f$$

A função da dupla demodulação é dividir a corrente e repetir o mesmo processo simultaneamente com o sinal a ser modulado sem alteração em um dos caminhos e com um atraso de fase no outro, com o objetivo de obter uma correlação entre as diferenças de fase nas saídas para que seja possível recuperar a fase do sinal.

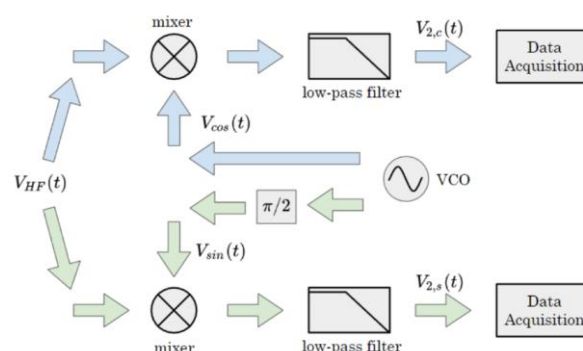


figura 2- diagrama esquemático da dupla demodulação.

Note que ao realizar um atraso de fase de 90° o sinal que inicialmente segue uma função cosseno passa a seguir uma função seno. Essa é uma alteração importante, pois escrevendo o sinal V_2 em formato exponencial é possível encontrar a seguinte relação $V_2 = e^{i\phi_{ref}} V_h f(\Omega_{ref})$, onde conclui-se que o sinal cosseno é dado pela parte real V_2 , enquanto para um sinal seno, ele é dado pela parte imaginária de V_2 . Dessa forma, é possível caracterizar a parte complexa determinando assim a fase do sinal.

ANÁLISE DO CIRCUITO:

Para a que seja possível realizar a demodulação é necessário entender a operação dos seguintes componentes: Amplificador operacional, mixer, resistores e capacitores. O circuito projetado conta com 4 amplificadores operacionais, sendo dois deles responsáveis pela monitoração da defasagem em tempo real e os outros dois, um amplificador inversor e um defasador que enviam o sinal para a dupla demodulação.

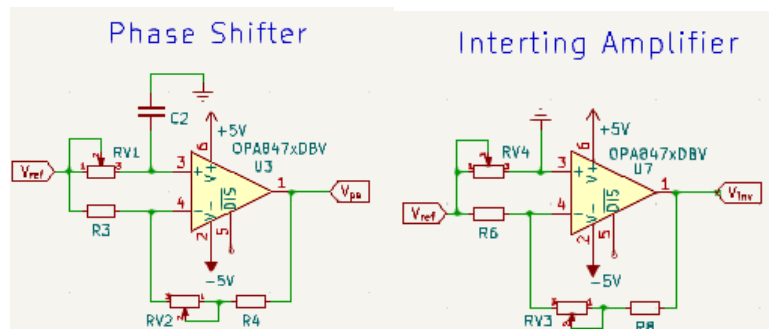


figura 3- esquema eletrônico dos amplificadores

Para que seja possível realizar a análise sobre os amplificadores é necessário entender sua operação básica, para isso é viável assumir seu interior como uma caixa preta que para uma dada uma tensão de entrada: $V_{ps} = G(\Omega) V_{ref}$, onde $G(\Omega)$ representa a função de ganho dada pelo Op. Amp., juntamente a essa relação é importante ter ciência sobre as seguintes regras: Não passa corrente por dentro do Op. Amp., e as tensões de entrada nos terminais são iguais. Com essas ideias é possível utilizar as leis das malhas para ambos os dispositivos e encontrar relações de ganho, entrada e saída em função das resistências e capacitância, como seguem os exemplos:

Para o amplificador inversor seguem as malhas:

$$V_{ps} = (V_-) - R_8 I_4 - \alpha R_3 I_4 \quad V_{ref} = I_1 \alpha R_4 = V_+ = 0 \quad V_+ = V_-$$

Que possibilita chegar na seguinte relação: $V_{ps} = \frac{(V_{ref})(R_8 + \alpha R_3)}{R_6}$

Enquanto para o defasador, as relações ficam diferentes por conta do filtro RC na parte superior do circuito. Para realizar sua análise é necessário inicialmente seguir que: $G(\Omega) = \frac{V_{ps}(\Omega)}{V_{ref}(\Omega)} = \sqrt{T(\Omega)} e^{i\Delta\phi(\Omega)}$, onde $T(\Omega)$ representa a função de transferência do componente e $\Delta\phi(\Omega)$ a defasagem gerada pelo defasador. Portanto as malhas utilizadas foram:

$$V_{ps} = (V_-) - R3I1 \quad V_{ref} = (\alpha R2 + R4)I1 = V_- \quad V_{ref} - (R1 + Zc)I2 = 0 \quad (V_+) - ZcI2 = 0$$

Que possibilitam chegar na seguinte relação:

$$\frac{V_{ps}(\Omega)}{V_{ref}(\Omega)} = \frac{R3}{\alpha R2 + R4} \left(\frac{\left(\frac{R3}{\alpha R2 + R4} - i\Omega R1C \right)}{1 + i\Omega R1C} \right)$$

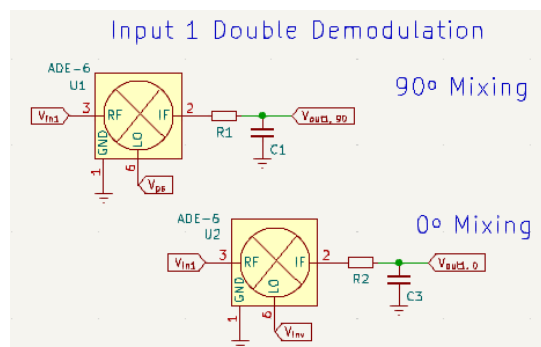
A qual mostra que para frequências muito altas o defasador opera de forma idêntica ao inversor e quando a frequência está no DC, o ganho é 1.

Portanto é possível construir uma relação final para a defasagem desejada em função da frequência de corte do filtro $\Omega_c = 1/R1C$ e tomando $R3 = \alpha R2 + R4$ expressão passa a ter seu valor da função de transferência igual a 1 garantindo que o defasador não vai interferir na amplitude do sinal.

$$\Delta\phi(\Omega) = -i \ln \left(\frac{\left(1 - i \frac{\Omega}{\Omega_c} \right)}{1 + i \frac{\Omega}{\Omega_c}} \right)$$

Com essa relação final para a defasagem de fase, basta então escolher os valores de Ω_c e Ω entre as faixas de operação do fotodetector e configurar a fase desejada com a resistência variável que molda Ω_c .

Por último, para a análise do mixer e do filtro passa baixa foi necessário apenas selecionar o valor da frequência de corte de 330 K hertz e utilizar a formula da frequência de corte $\Omega_c = 1/RC$ para obter os valores de $R = 50K\Omega$ e $C = 60$ pF



ETAPA FINAL:

A etapa final do projeto consiste em analisar numericamente os valores finais dos componentes eletrônicos dos Op. Amp. para realizar a montagem da placa e caracterizar a resposta do sistema de dupla demodulação.

BIBLIOGRAFIA

[1] Felipe Alexandre Silva Barbosa. **Robustez do emaranhamento em variáveis contínuas e fotodetecção de feixes intensos no domínio espectral**. Tese de doutoramento. São Paulo: Universidade de São Paulo, jun. de 2013.

[2] EGGLESTON, Denis L. **Basic Electronics for Scientists and Engineers**, 1º edição, Cambridge University Press, 2011.

[3] FRENZEL Jr., Louis E. **Fundamentos de comunicação eletrônica, v.1: modulação, demodulação e recepção**. 3. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2010.

[4] **Models for Physical Communication Channels**, MIT, 2012. Disponível em:<
<https://web.mit.edu/6.02/www/s2012/handouts/10.pdf>>