



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Modulação de Fase e Quadratura (IQ)

Sistemas de Comunicação I

Arthur Cadore Matuella Barcella

07 de Abril de 2024

Sumário

1. Introdução	3
2. Fundamentação teórica	3
2.1. Principais Conceitos	3
2.2. Resumo dos Itens abordados (Material de Referência)	4
2.2.1. Item 5.1 (Real and Complex Signals — it's all Sines and Cosines)	4
2.2.2. Item 5.4 (Quadrature Modulation and Demodulation (QAM)	4
2.2.3. Item 5.5 (Quadrature Amplitude Modulation using Complex Notation)	4
2.2.4. Item 5.6 (Quadrature Amplitude Demodulation using Complex Notation) ...	4
2.2.5. Item 5.7 (Spectral Representation for Complex Demodulation)	4
2.2.6. Item 5.8 (Frequency Offset Error and Correction at the Receiver)	4
2.2.7. Item 5.9 (Frequency Correction using a Complex Exponential)	5
2.2.8. Item 5.10 (RTL-SDR Quadrature / Complex Architecture)	5
3. Análise dos resultados	5
4. Scripts e Codigos	5
5. Conclusões	5
6. Referências	5

1. Introdução

O objetivo deste relatório, é apresentar os conceitos teóricos para a transmissão de dados utilizando modulação de fase e quadratura (IQ) através de dois diferentes sinais modulados por senos e cossenos.

Neste relatório, será apresentado a fundamentação teórica, os conceitos teóricos utilizados, a análise dos resultados, os scripts e códigos utilizados, as conclusões e as referências bibliográficas, de maneira em que serão utilizados dois sinais modulantes distintos, o primeiro irá modular um sinal senoidal (que será a portadora) e o segundo irá modular um sinal cossenoidal.

Desta forma, poderemos verificar a eficiência da modulação IQ na transmissão de dados, utilizando a mesma região do espectro eletromagnético para transmitir dois sinais distintos sem interferência (idealmente).

2. Fundamentação teórica

2.1. Principais Conceitos

Os principais conceitos teóricos abordados neste relatório são:

- **Modulação (IQ):** A modulação IQ é uma técnica de modulação digital que utiliza dois sinais modulados por senos e cossenos de igual fase para transmitir dados idealmente sem interferência. A modulação IQ é amplamente utilizada em sistemas de comunicação modernos, como o 4G e o 5G, devido à sua eficiência espectral e capacidade de transmitir dados de forma confiável.
- **Ortogonalidade:** A ortogonalidade é um conceito fundamental na modulação IQ, que garante que os sinais modulados por senos e cossenos sejam independentes e não interfiram uns nos outros. Isso permite que os dados sejam transmitidos de forma eficiente e confiável, mesmo em ambientes ruidosos.
- **Sinal Portador:** A portadora é o que permite a transmissão do sinal, suas características são ideais para o meio onde a onda irá se propagar, a portadora é influenciada pela modulante de maneira em que o receptor consiga extrair a informação transmitida.
- **Sinal Modulante:** A modulante é a informação que será transmitida, ela é a responsável por alterar as características da portadora, de maneira que o receptor consiga extrair a informação transmitida.
- **Processo de Modulação/Demodulação:** O processo de modulação consiste em alterar (normalmente através de multiplicação) as características da portadora de acordo com a modulante, de maneira em que o receptor consiga extrair a informação transmitida. Nos processos de modulação vistos até o momento, realizamos através de mutiplicação (ou no caso da FM, através de integração do argumento de fase). Já o processo de demodulação consiste em, uma vez com o sinal modulado, transmitido, e recebido no destinatário, extrair a informação do sinal portador, de maneira em que o receptor consiga interpretar a informação transmitida

e utiliza-la a nível de aplicação (como na rádio FM por exemplo, onde a música é recebida interpretada e reproduzida no carro).

2.2. Resumo dos Itens abordados (Material de Referência)

Além dos conceitos base apresentados acima, também está abaixo um resumo dos principais conceitos teóricos das sessões 5.1, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 e 5.10 do livro “Software Defined Radio Using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR”:

2.2.1. Item 5.1 (Real and Complex Signals — it’s all Sines and Cosines)

Objetivo: Explorar a representação de sinais reais e complexos na engenharia de sinais, utilizando a fórmula de Euler para simplificar matematicamente a manipulação de sinais em termos de exponenciais complexas. Conteúdo Principal: Demonstra que, embora operemos com sinais reais no mundo físico (como tensões induzidas por campos eletromagnéticos), a representação complexa dos sinais facilita a análise matemática. A seção se aprofunda na identidade de Euler e na conversão de sinais sinusoidais para sua forma exponencial complexa, permitindo uma manipulação matemática mais simples.

2.2.2. Item 5.4 (Quadrature Modulation and Demodulation (QAM))

Objetivo: Introduzir o conceito de modulação em quadratura e demonstrar sua implementação no RTL-SDR. Conteúdo Principal: Explica a motivação por trás do uso da modulação em quadratura para melhorar a eficiência espectral. Utiliza sinais de exemplo para ilustrar a modulação e demodulação em quadratura, destacando o processo de recuperação de sinais de banda base a partir do sinal recebido.

2.2.3. Item 5.5 (Quadrature Amplitude Modulation using Complex Notation)

Objetivo: Descrever a modulação de amplitude em quadratura (QAM) usando notação complexa. Conteúdo Principal: Detalha como a notação complexa pode simplificar a representação e manipulação de sinais QAM, apresentando um exemplo prático de como os sinais podem ser modulados para transmissão.

2.2.4. Item 5.6 (Quadrature Amplitude Demodulation using Complex Notation)

Objetivo: Explorar o processo de demodulação de amplitude em quadratura usando notação complexa. Conteúdo Principal: Apresenta o método de demodulação QAM, evidenciando como a notação complexa facilita o processo de extração de sinais de banda base do sinal recebido.

2.2.5. Item 5.7 (Spectral Representation for Complex Demodulation)

Objetivo: Examinar a representação espectral de sinais complexos e sua aplicação na demodulação. Conteúdo Principal: Demonstra a transformação espectral de sinais modulados em frequência para sua baseband complexa, detalhando o impacto da modulação complexa nas propriedades espectrais dos sinais.

2.2.6. Item 5.8 (Frequency Offset Error and Correction at the Receiver)

Objetivo: Discutir o erro de deslocamento de frequência no receptor e como corrigi-lo. Conteúdo Principal: Explica o conceito de erro de deslocamento de frequência, suas causas potenciais e métodos para correção, especialmente em relação ao uso do RTL-SDR.

2.2.7. Item 5.9 (Frequency Correction using a Complex Exponential)

Objetivo: Descrever um método de correção de frequência usando uma exponencial complexa.

Conteúdo Principal: Apresenta uma técnica para ajustar a frequência de sinais recebidos por meio da multiplicação por uma exponencial complexa, abordando o contexto de sua aplicação prática.

2.2.8. Item 5.10 (RTL-SDR Quadrature / Complex Architecture)

Objetivo: Conectar os conceitos de modulação complexa e demodulação com a arquitetura do RTL-SDR. Conteúdo Principal: Explica como os princípios de modulação e demodulação em quadratura são implementados na arquitetura do RTL-SDR, preparando o terreno para aplicações práticas discutidas nos capítulos seguintes.

3. Análise dos resultados

Seção III - Apresentação e comentários dos gráficos/figuras das etapas de desenvolvimento do relatório

4. Scripts e Codigos

Seção IV - Scripts e Codigos

5. Conclusões

Seção V - Conclusões

6. Referências

Para o desenvolvimento deste relatório, foi utilizado o seguinte material de referência:

- Software Defined Radio Using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR, de Robert W. Stewart