



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



David Maykon Krepsky Silva
Italo Jackson de Souza Gloor
Lucas Felipe de Lima
Barbara Sfeir
Caio Julio K. Campos
Havena Louise Pavão

Geração de sinais PSK em quadratura (QPSK)

Data de realização do experimento:
11 de fevereiro de 2016
Série/Turma:
1000/1011
Prof. Jaime Laelson Jacob

13 de fevereiro de 2016

Resumo

Neste trabalho foi analisado o comportamento da modulação QPSK, que consiste na utilização de dois moduladores BPSK defasados de 90° . Foi observado que pode ser utilizado uma mesma largura de banda que o PSK para se transmitir dois bits ao mesmo tempo, porém, não é possível dobrar a taxa de transmissão, devido ao ruído. Ficou comprovado que é factível a reconstrução da mensagem enviada através da técnica QPSK através do uso de de um demodulador com discriminação de fase.

Sumário

Resumo	1
Sumário	2
1 Introdução	3
2 Revisão da Teoria	4
2.1 Modulação QPSK	4
2.2 Demodulação QPSK	5
3 Metodologia Experimental	7
3.1 Materiais	7
3.2 Métodos	7
3.2.1 Método 1: Transmissão de pelo menos duas formas de onda de dados com a metade da taxa	7
3.2.2 Método 2: Transmissão QSPK	10
4 Resultados	11
4.1 Método 1: Transmissão de pelo menos duas formas de onda de dados com a metade da taxa	11
4.2 Método 2: Transmissão QSPK	11
5 Discussão e Conclusão	14
6 Referências Bibliográficas	15

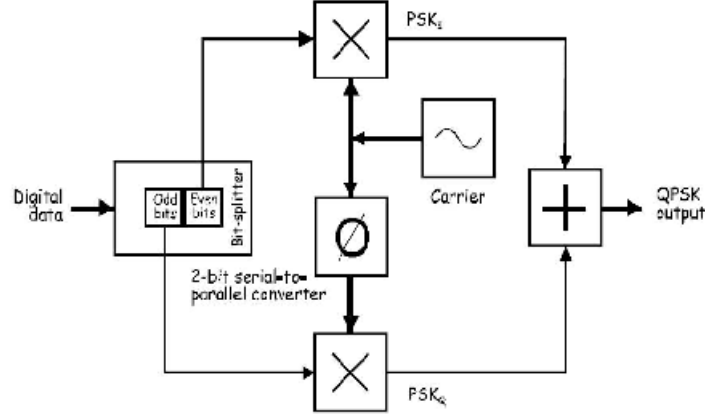
1 Introdução

Este trabalho tem como objetivo analisar o chaveamento por deslocamento de fase em quadratura (QPSK) em sistemas de comunicação digital. Diferente do PSK com duas fases, a técnica QPSK usa quatro fases de um sinal de portadora para transmitir os dados. Isso traz uma vantagem em relação ao PSK, pois a banda necessária, teoricamente, é reduzida pela metade. Porém, a taxa de transmissão de dados não é duplicada, visto que é necessário uma maior precisão nas medidas de fase da portadora. Assim, é necessário diminuir a frequência de clock para melhorar a relação sinal ruído, diminuindo a taxa de erro de bits.

2 Revisão da Teoria

2.1 Modulação QPSK

Figura 1: Diagrama de blocos do modulador QPSK.



Fonte: iitg.vlab.co.in,. (2012). QPSK Modulation (Real time experiment).

Na entrada do modulador QPSK (figura 1), os bits de dados pares (isto é, bits 0, 2, 4, ..., etc) são removidos da sequência de dados através de um conversor serial-paralelo de 2 bits [1] e são multiplicados com uma portadora para gerar um sinal BPSK (chamado de PSK_I , equação 1).

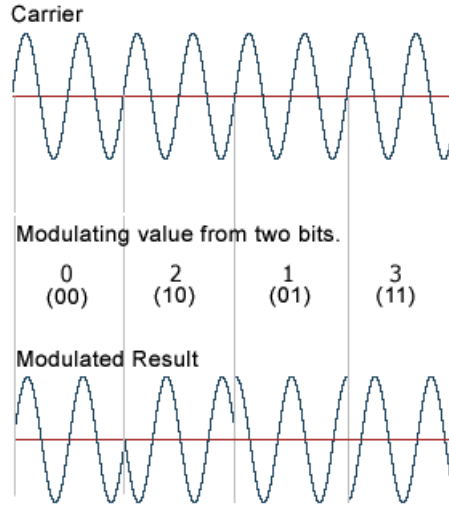
$$PSK_I = A_c \cdot m_{par}(t) \cdot \cos(2\pi f_c), \quad m_{par}(t) = 1 \text{ ou } -1. \quad (1)$$

Ao mesmo tempo, os bits ímpares (1, 3, 5, ..., etc), também são removidos da sequência de dados pelo conversor série-paralelo e alimentam um segundo modulador BPSK (chamado PSK_Q , equação 2).

$$PSK_Q = A_c \cdot m_{impar}(t) \cdot \sin(2\pi f_c), \quad m_{impar}(t) = 1 \text{ ou } -1. \quad (2)$$

Contudo, esse segundo modulador, PSK_Q , possui uma defasagem de 90° em relação ao primeiro modulador, PSK_I [3, 4]. Os dois sinais BPSK são, então, adicionados e transmitidos, com a mesma frequência de portadora, ou seja, são transmitidos dois sinais BPSK utilizando a mesma faixa de espectro. Isso é possível pois a diferença de 90° entre a portadora do PSK_I e do PSK_Q permite que o receptor separe os dados usando discriminação por fase [5]. A figura 2 mostra a forma de onda produzida pelo modulador QPSK.

Figura 2: Forma de onda de saída do modulador QPSK.



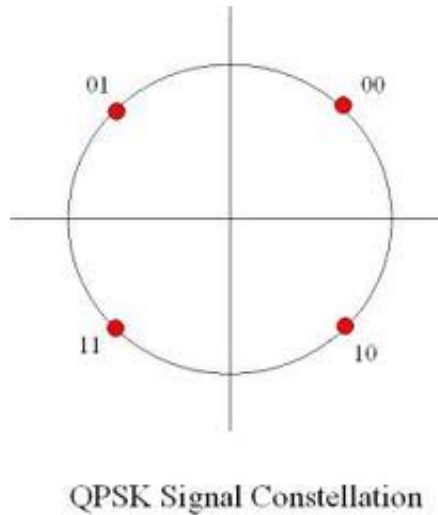
Fonte: iitg.vlab.co.in,. (2012). QPSK Modulation (Real time experiment).

O sinal resultante da modulação QPSK é descrito na equação 3 [6].

$$QPSK = A_c \cdot m_{par}(t) \cdot \cos(2\pi f_c) + A_c \cdot m_{impar}(t) \cdot \sin(2\pi f_c), \quad m(t) = 1 \text{ ou } -1. \quad (3)$$

A constelação do sinal QPSK é mostrada na figura 3

Figura 3: Constelação do sinal QPSK.



Fonte: iitg.vlab.co.in,. (2012). QPSK Modulation (Real time experiment).

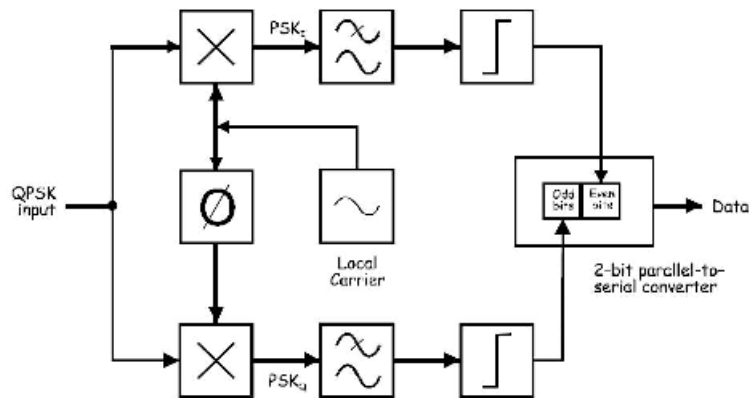
2.2 Demodulação QPSK

Para a demodulação do sinal QPSK, são utilizados dois detectores de produto simultaneamente [7]. Os dois sinais de dados são então extraídos do sinal QPSK ao mesmo tempo. Os bits são identificados com o emprego de um integrador e um decisor. Em seguida, a mensagem

é reconstruída utilizando um decisor, o qual define quais bits foram recebidos, e é recolocada na forma serial por um conversor paralelo-serial de 2 bits.

A figura 4 mostra o diagrama de blocos para um demodulador QPSK. Note que, apesar dos detectores de produto utilizarem a mesma portadora de referência, em um deles a portadora está defasada de 90° .

Figura 4: Diagrama de blocos do receptor QPSK.



Fonte: iitg.vlab.co.in,. (2012). QPSK Modulation (Real time experiment).

3 Metodologia Experimental

3.1 Materiais

O material utilizado para realização do experimento foi:

- U-2970A Gerador de dados;
- U-2970B Formato de dados;
- U-2970C Modulador balanceado duplo;
- U-2970D Deslocamento de fase da portadora;
- U-2970E Oscilador Controlado por Tensão;
- U-2970F Regenerador de clock de dados;
- U-2970G Recuperador de dados;
- U-2970H Receptor de dados;
- U-2970L Circuito de sintonia;
- U-2970M Fonte de alimentação;
- 1 Osciloscópio de 2 canais.

Para execução do experimento, faz-se necessário executar os passos abaixo, de acordo com o roteiro disponibilizado em sala de aula.

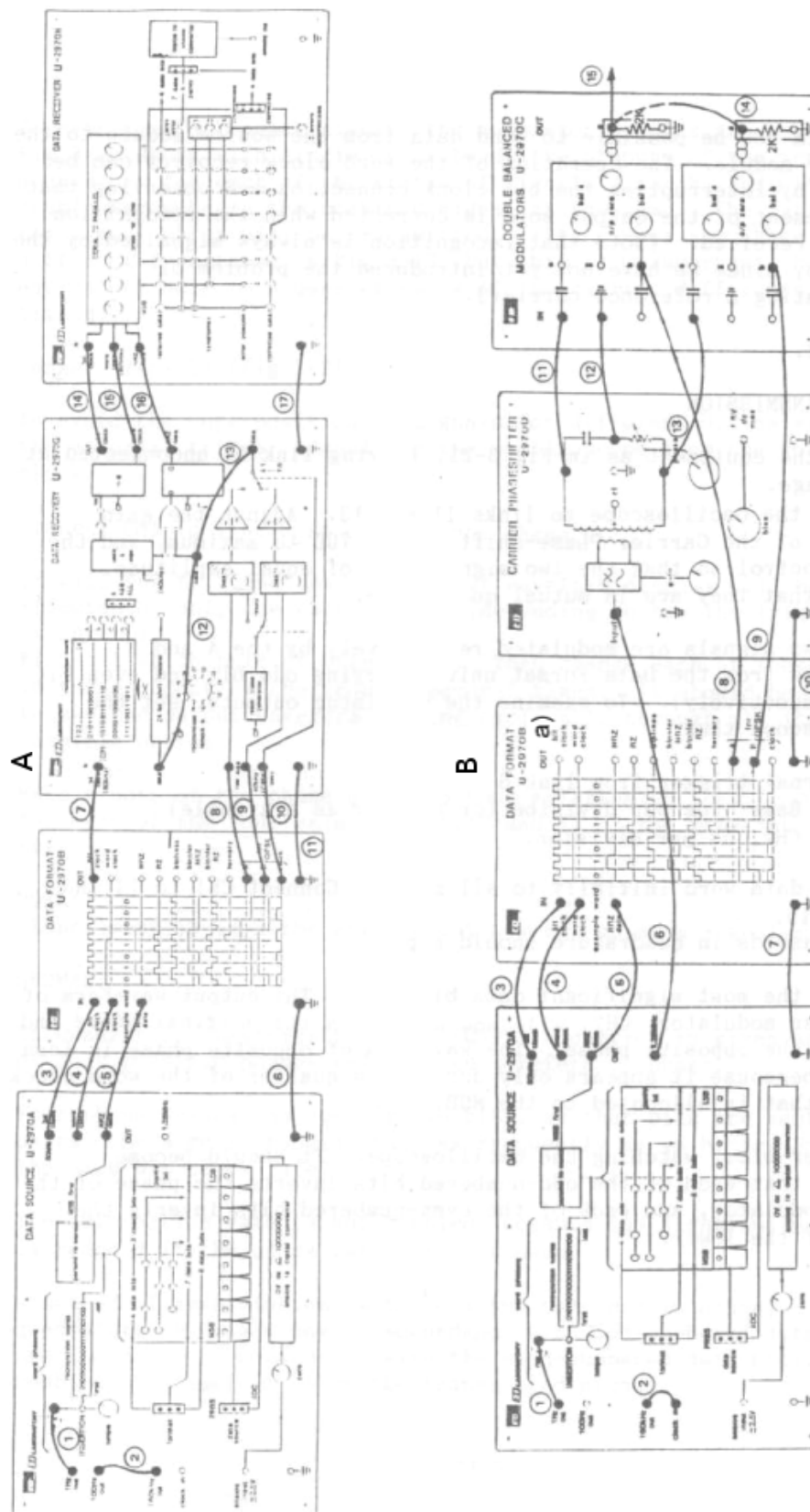
3.2 Métodos

3.2.1 Método 1: Transmissão de pelo menos duas formas de onda de dados com a metade da taxa

1. Conectar o equipamento como mostrado na figura 5-a.
2. As formas de onda A e B do módulo formatação dos dados U-2970B são as duas formas de ondas com metade da taxa. A forma de onda A transmite os primeiros (MSB), terceiros, quintos e sétimos bits dos dados originais; a forma de onda de B transmite os outros.
3. Configurar os osciloscópio com trigger externo da palavra de clock para mostrar um ciclo daquele clock. Então transferir o CH1 para a saída NRZ do módulo formato de dados e o CH2 primeiro para a saída A e depois para a saída B para verificar que as saídas A e B comportam-se como descrito acima.
4. Depois procure pela saída do integrador no módulo de recuperação dos dados U-2970G. Configurar a palavra de dados tendo 0's e 1's transmitidos por cada um dos canais A e B tal como 00110011. Ajustar o controle de polarização do integrador para equalizar o negativo e o positivo de cada forma de onda.

5. Deve agora ser possível enviar dados do módulo fonte para o módulo de recepção. A operação do clock da palavra recuperada pode ser checado pela interrupção da conexão do bit de clock e observando que o deslocamento da palavra de saída é corrigida quando o reconhecimento da palavra é recebido. (Observar que o reconhecimento sempre é sinalizado pela lâmpada A desde que ainda não tenhamos introduzido uma portadora de referência).

Figura 5: a) Princípio do QPSK (dois sinais de meia taxa). b) Transmissor QPSK, controle de dois sinais de dados com moduladores separados cujas saídas produzem o sinal QPSK.



Fonte: Jacob, J. L., Roteiro de laboratório 18; Universidade Estadual de Londrina, 2016.

3.2.2 Método 2: Transmissão QSPK

1. Configurar o equipamento como na figura 5-b, deixando a ligação 14 desconectada neste estágio.
2. Conectar o osciloscópio nas ligações 11 e 13. Ajustar o controle de ganho do deslocamento de fase da portadora U-2970D no máximo e o controle de fase tal que os dois sinais tornem-se de amplitudes iguais. Verificar que eles são em quadratura mútua.
3. Estes dois sinais são modulados respectivamente pelas formas de onda A e B da unidade de formatação de dados (carregando dados de bits ímpares e de bits pares respectivamente). Para examinar a saída do modulador configurar o osciloscópio da seguinte forma:
 - (a) Trigger externo na ligação 6.
 - (b) Base de tempo: $1\mu s$ por divisão.
 - (c) CH1 e CH2: 5V/divisão.
4. Configurar as palavras de dados inicialmente como tudo zero. Conectar CH1 na ligação 14 e CH2 na ligação 15.
5. Duas senóides em quadratura devem aparecer.
6. Agora configurar o bit de dados mais significativo para 1. A forma de onda de saída do modulador superior, CH2 aparecerá agora nesta fase original e também na fase oposta. A forma de onda da fase oposta é menos brilhante porque somente durante um quarto do período da palavra clock que é alocado no MSB.
7. Configurar os outros bits observando o osciloscópio. Isto deve tornar evidente que cada combinação de bits ímpar inverte a fase do modulador superior e cada combinação de bits par inverte a fase do modulador inferior.
8. Para fazer o sinal de quatro fases as saídas do modulador são combinadas. A figura 5-b mostra com uma seta a saída do modulador separado para cada um dos estados dos sinais A e B e com duas setas os sinais combinados na carga. O último é o sinal que será transmitido. (Suas fases são mostradas com diferença de 45° daquelas na figura 5-a, mas isto não é importante sendo equivalente somente a um quarto de ciclo de diferença da portadora em tempo).
9. Conectar a ligação 14 (figura 5-b).
10. Para evitar a sobreposição de sinais para os diferentes pares de bits usa-se o sinal do trigger externo da palavra de clock para o osciloscópio.
11. Conectar CH1 na ligação 6 como uma referência de fase.
12. Agora será visto que a forma de onda de saída mostrada irá afetar somente um par de bits (dependendo de como o trigger é configurado).
13. Descobrir qual é o par de bits. Em seguida trocar cada um desses bits por vez, repetindo o processo por várias vezes. Deve ser possível ver a forma de onda de saída que passa ciclicamente através de todas as suas quatro fases possíveis.
14. Anotar as fases de saída relativa a referência CH1 para cada uma dos quatro valores 00, 01, 10 e 11 dos pares de bits relevantes.

4 Resultados

4.1 Método 1: Transmissão de pelo menos duas formas de onda de dados com a metade da taxa

Para o método 1, primeiramente foi realizada a montagem, de acordo com a figura 5-a, conforme mostra a figura 6.

Figura 6: Montagem para o primeiro experimento.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida foram examinadas as formas de onda para o sinal A e B , onde foi constatado que a onda A possui os bits ímpares e a onda B possui os bits pares, conforme mostram as figuras 7 e 8, respectivamente.

Figura 7: Forma de onda A .

Fonte: Autoria própria.

Figura 8: Forma de onda B .

Fonte: Autoria própria.

Foi então investigada as formas de onda nos integradores A e B , conforme mostram as figuras 9 e 10, respectivamente.

Figura 9: Forma de onda do integrador A .

Fonte: Autoria própria.

Figura 10: Forma de onda do integrador B .

Fonte: Autoria própria.

Observou-se que a palavra é deslocada quando interrompemos o bit de clock. Também notou-se que a lâmpada A pisca para sinalizar o reconhecimento do deslocamento de palavra.

A montagem final é mostrada na figura 11.

Figura 11: Montagem resultante para o primeiro experimento.

Fonte: Autoria própria.

4.2 Método 2: Transmissão QSPK

Para o método 2, primeiramente foi realizada a montagem, de acordo com a figura 5-b, conforme mostra a figura 12.

Figura 12: Montagem para o segundo experimento.

Fonte: Autoria própria.

Em seguida foi observado que os sinais estavam em quadratura, conforme mostra a figura 13.

Figura 13: Sinais em quadratura.

Fonte: Autoria própria.

Foram realizados os ajustes na montagem, como indicam os procedimentos 3 e 4. Observou-se que as duas senoides estavam em quadratura, como mostra a figura 14.

Figura 14: Senoides em quadratura.

Fonte: Autoria própria.

Após as modificações dos itens 6 e 7, observou-se que a combinação ímpar muda o brilho do modulador superior e que a combinação par inverte a fase do modulador inferior.

Para visualizar a inversão de fase, os primeiros bits foram colocados em 00 (figura 15) e em seguida em 11 (figura 16). Fica evidente a inversão de fases.

Figura 15: Bits 00000000.

Fonte: Autoria própria.

Figura 16: Bits 11000000.

Fonte: Autoria própria.

Após as mudanças necessárias (itens 8-11) foram observados os sinais em 4 configurações diferentes, mostrados nas figuras 17, 18, 19 e 20.

Figura 17: Bits 00000000.

Fonte: Autoria própria.

Figura 18: Bits 11111111.

Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Bits 01010101.

Fonte: Autoria própria.

Figura 20: Bits 10101010.

Fonte: Autoria própria.

Foi possível ver a forma de onda de saída que passando ciclicamente através de todas as suas quatro fases possíveis.

A figura 21 mostra como ficou a montagem final.

Figura 21: Montagem resultante para o segundo experimento.

Fonte: Autoria própria.

Por ultimo, a tabela 1 mostra a relação entre o parte bits de dados e a fase das ondas, relativa a referência do canal 1 do osciloscópio.

Tabela 1: Relação entre par de bits e fase.

Bits	Fase [°]
00	45
01	135
10	315
11	225

Fonte: Autoria própria.

5 Discussão e Conclusão

Neste experimento foi possível observar o funcionamento da técnica de modulação QPSK. Foram observadas as formas de onda produzidas do modulador e no receptor, onde ficou evidente os deslocamentos de fase característicos da modulação. Foi possível observar que a mensagem transmitida pode ser reconstruída, mesmo com o tráfego de dois bits de informação através do mesmo espectro em frequência, devido a utilização da discriminação por fase.

6 Referências Bibliográficas

- [1] L. W. Couch, *Digital and Analog Communication Systems*. New Jersey: Prentice Hall Inc, 2001.
- [2] M. S. de Alemcar, *Sistemas de comunicações*. São Paulo: Editora Érica, 2001.
- [3] B. C. Carlson, *Princípios de Comunicações*. McGraw Hill, 1991.
- [4] J. Proakis and M. Salehi, *Contemporary Communication Systems Using Matlab*. New Jersey: Prentice Hall, 1997.
- [5] B. P. Lathi, *Modern Digital and Analog Communication Systems*. Philadelphia: Holt Rineard and Winston, 1989.
- [6] W. Stallings, *Comunicação de dados e computação*, 8th ed. New Jersey: Upper Saddle River, 2007.
- [7] J. C. D. O. Medeiros, *Princípios de Telecomunicações - Teoria e Prática*. São Paulo: Editora Érica, 2005.