



Hands-on 08: transmissor e o receptor FM em 2.4GHz

Vicente Sousa
GppCom/DCO/UFRN

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

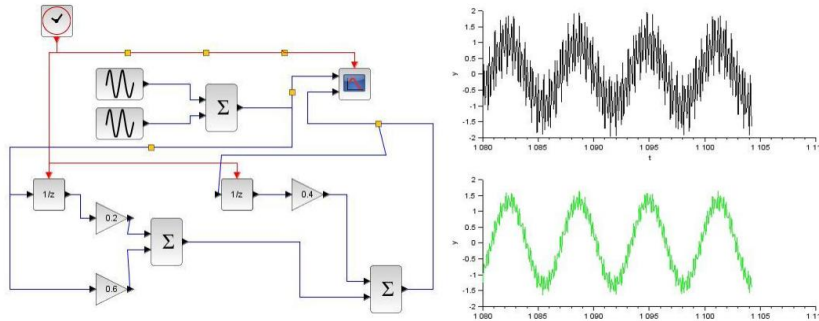
Objetivos do hands-on

- Construir transmissor e receptor FM em 2,4 GHz
- Exercitar sub- e sobre-amostragem em aplicações de rádio definido por software
- Demonstrar alguns pontos críticos no projeto de transceptores que utilizam amostragem em banda passante.



Objetivos desta apresentação

- Aprender a evitar aliasing mesmo amostrando um sinal em banda-passante a uma taxa menor que a de Nyquist

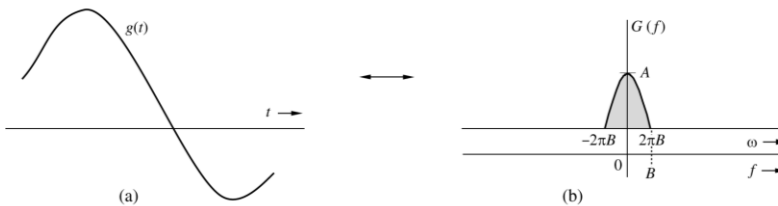


© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

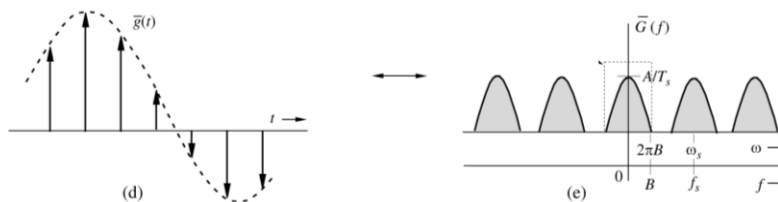
Introdução teórica

Amostragem

- Sinal analógico



- Sinal discreto no tempo



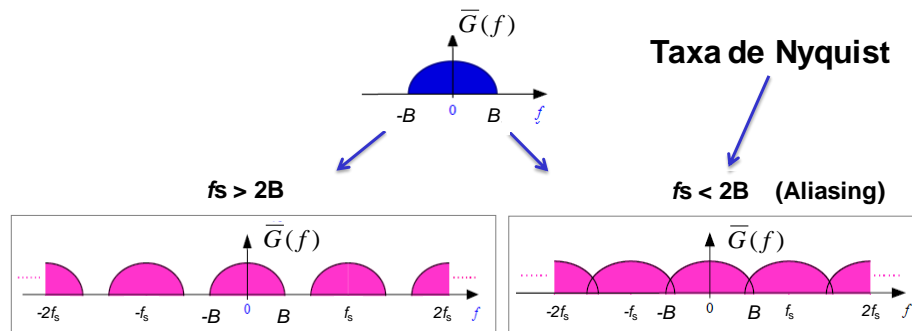
$$\bar{g}(t) = g(t)\delta_{T_s}(t) = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} g(t) e^{jn2\pi f_s t}$$

$$\bar{G}(f) = f_s G(f) + f_s \sum_{\substack{n=-\infty \\ n \neq 0}}^{\infty} G(f - nf_s)$$

Introdução teórica

Amostragem

- Para que tudo isso funcione, duas condições devem ser atendidas:
 1. $G(f) = 0$, para $|f| > B$
 2. $f_s > 2B$
- Se não, ocorre o aliasing (mascaramento)



Introdução teórica

Amostragem

- O teorema da amostragem é útil para sinais em banda-base, mas no contexto de sinais modulados...suponha um sinal modulado em FM em 88MHz

$$f_s = 88 \times 2 = 176 \text{ MHz}$$

- A definição clássica se torna quase surreal em termos práticos
- E se estivermos em GHz?



Introdução teórica

Amostragem

- **Problema: amostrar sinais em alta frequência**
 - Impossibilidade de amostrar na taxa de Nyquist;
 - Taxa de amostragem seria muito alta.
- **Solução:**
 - Usar taxa de amostragem menor que Nyquist, mas evitando o *aliasing*;
 - Cálculo da taxa de amostragem não é trivial e se não escolhida com cuidado traz alguns efeitos colaterais.

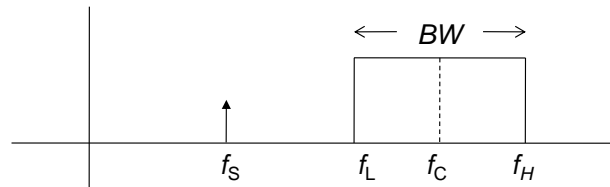


© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- A taxa de amostragem necessária para sinais em banda-passante **passa a depender mais da banda do sinal do que da sua frequência máxima**
- Suponha um sinal em alta frequência e limitado em banda



© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Ele pode ser reconstruído se a taxa de amostragem satisfaz as seguintes condições:

$$\frac{(n-1)f_s}{2} < f_L \quad f_H < \frac{nf_s}{2}$$

com n sendo inteiro entre 1 e f_H/BW

- Isolando f_s , temos:

$$\frac{2f_H}{n} < f_s < \frac{2f_L}{n-1}$$

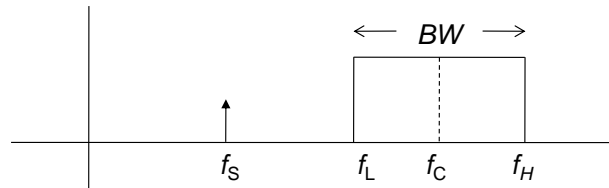
© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Assim, escolhemos um n e calculamos f_s

$$\frac{2f_H}{n} < f_s < \frac{2f_L}{n-1}$$

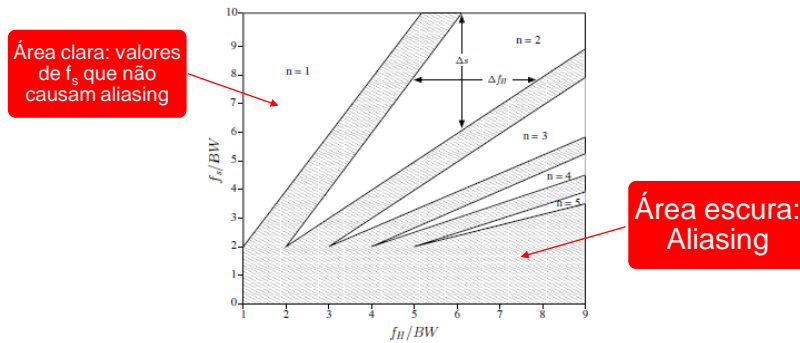


© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Devemos ter cuidado com o valor de n

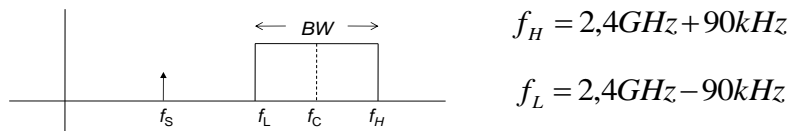


© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Exemplo do transmissor em 2,4 GHz
 - Frequência da portadora: 2,4 GHz
 - Largura de banda do sinal modulante: 15 kHz
 - Desvio de frequência: 75 kHz
 - $BW = 2 \times (75 + 15) = 180 \text{ kHz}$ (regra de Carson)



$$n_{\max} = \frac{f_H}{BW} = \frac{2,4\text{GHz} + 90\text{kHz}}{2(75 + 15)\text{kHz}} \approx 13333$$

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Exemplo do transmissor em 2,4 GHz
 - Frequência da portadora: 2,4 GHz
 - Largura de banda do sinal modulante: 15 kHz
 - Desvio de frequência: 75 kHz

$$\frac{2f_H}{n} < f_s < \frac{2f_L}{n-1}$$

$$\frac{2(2,4GHz + 90kHz)}{13333} < f_s < \frac{2(2,4GHz - 90kHz)}{13332}$$

$$360022,5005 < f_s < 360022,5022 \text{ Hz}$$

Assim, podemos verificar que é possível amostrar um sinal de 2,4GHz com a taxa de amostragem de 360 kHz.

Problema: variação muito pequena de 0,0017 Hz e pode de ficar fora da margem de precisão de um equipamento SDR

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Introdução teórica

Amostragem em banda-passante

- Solução: escolher um n menor. Por exemplo, $n = 2000$

$$\frac{2(2,4GHz + 90kHz)}{2000} < f_s < \frac{2(2,4GHz - 90kHz)}{1999}$$

$$2400090 < f_s < 2401110 \text{ Hz}$$

Dando assim uma margem de variação da taxa de amostragem de 1020 Hz.

© Prof. Dr. Vicente Angelo de Sousa Junior @ GppCom - UFRN
vicente.sousa@ct.ufrn.br

Referências

- [1] <http://www.snowymtn.ca/GNURadio/GNURadioDoc-7.pdf> - acesso em:04/12/2012
- [2] A. Latiri. *Architecture et conception de récepteur reconfigurable à échantillonnage RF pour les applications multistandard*. PhD thesis, Telecom ParisTech, July 2008.
- [3] R.G. Vaughan, N.L. Scott, and D.R. White. *The theory of bandpass sampling*. SignalProcessing, IEEE Transactions39(9):1973–1984, Sept. 1991.
- [4] Angrisani, L. D'Arco, M. Schiano Lo Moriello, R. & Vadursi, M. (2004). *Optimal sampling strategies for bandpass measurement signals*, Proc. of the IMEKO TC-4 Interational Symposium on Measurements for Research and Industry Applications. pp. 343-348, September 2004.
- [5] J. Bae, J. Park. *An efficient algorithm for bandpass sampling of multiple RF signals*. SignalProcessing, IEEE Letters13(4):193- 196, April 2006.