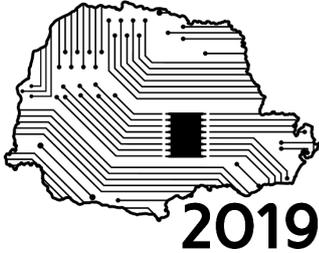


SeMicro-PR



# Projeto de um Gerador de Pulsos para Transmissor de Rádio por Impulso de Banda Ultra Larga (IR-UWB)

P. C. Lacerda<sup>1</sup>, O. C. Gouveia Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>GICS UFPR, Curitiba, Brasil

polycl@hotmail.com

**Resumo** - Este trabalho apresenta o projeto de um gerador de pulsos para sistemas de rádio por impulso de banda ultra larga (IR-UWB). O circuito, projetado na tecnologia CMOS 130 nm, gera pulsos na saída com duração de 2,8 ns, devido à operação de chaveamento *ON/OFF* de um oscilador de topologia tanque LC de par cruzado diferencial. O gerador de pulsos opera na frequência de 4,5 GHz, com largura de banda do pulso em torno de 640 MHz e potência de saída de -41,7 dBm/MHz, de acordo com as normas definidas pela FCC. O consumo de energia por pulso é de 35,4 pJ, com uma tensão de alimentação de 885 mV.

## I. INTRODUÇÃO

No ambiente da Internet das Coisas (IOT - *Internet of Things*) sistemas de dispositivos computacionais inter-relacionados, máquinas mecânicas e digitais, objetos, animais ou pessoas são providos de identificadores exclusivos e capazes de transferir dados através de uma rede sem exigir interação humano para humano ou humano para computador [1].

Assim, dentro deste contexto, observa-se uma crescente demanda pelo uso de dispositivos conectados à redes sem fio de área pessoal (WPAN - *Wireless Personal Area Network*), e também à redes sem fio de área do corpo (WBAN - *Wireless Body Area Network*), e cada vez mais projetos de circuitos de comunicação para uso destas redes têm sido realizados. Com requisitos definidos pelas normas 802.15.4 [2] e 802.15.6 [3], alguns *trade-offs* tornam a realização destes projetos desafiadora e interessante, tais como: a concepção de circuitos de baixa complexidade, baixo consumo de energia, que sejam confiáveis e seguros.

Além disso, dentre as tendências mais promissoras está o uso de bandas ultra largas (UWB - *Ultra*

*wideband*) de frequência para comunicação entre os dispositivos que fazem parte de WPAN ou WBAN. E a faixa de frequência é definida entre 3,1 e 10,6 GHz [4]. A partir destas atribuições, muitos projetos têm como característica principal a arquitetura de rádio por impulso (IR - *Impulse Radio*) para UWB [5-6], nos quais a taxa de transmissão de dados não precisa ser alta.

Neste trabalho são apresentados o projeto e os resultados de simulação de um Gerador de Pulsos para IR-UWB. Na segunda Seção são apresentados os requisitos para a geração de pulsos. Na terceira Seção são abordados os princípios para a geração de pulsos. Na quarta Seção é apresentado o projeto do gerador de pulsos e seus resultados, e na quinta Seção é apresentada a conclusão.

## II. REQUISITOS PARA A GERAÇÃO DE PULSOS UWB

A geração de pulsos para sistemas IR-UWB deve seguir os requisitos definidos pela FCC - *Federal Communications Commission* [4], como mostra a Fig. 1. A faixa de frequência de 3,1 à 10,6 GHz é dividida em duas partes, uma de frequências mais baixas de 3,1 à 5,1 GHz, e outra de frequências mais altas de 6 à 10,6 GHz. Enquanto que, a faixa compreendida entre 5 e 6 GHz usada em aplicações WLAN é evitada. A máscara FCC limita a potência de emissão abaixo de -41,3 dBm/MHz para que possíveis interferências sejam reduzidas. Em aplicações externas a supressão do lóbulo lateral deve ser superior a 20 dB, já em aplicações internas a exigência é que seja superior a 10 dB.

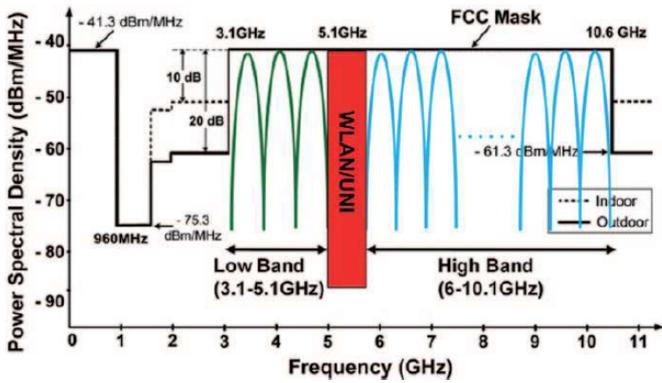


Fig. 1. Máscara espectral da FCC e o uso em sub-bandas de 500 MHz [4].

Assim, alguns itens importantes para que o gerador de pulsos se enquadre na máscara espectral da FCC são: a restrição de baixo consumo de energia e o projeto de um circuito simples e fácil de integrar. Em relação a forma do pulso UWB não há um requisito específico, desde que a característica espectral atenda às normas da FCC [6]. Em relação ao desempenho do sistema IR-UWB, para evitar sua degradação devido à interferências na banda, pode ser utilizada a operação em sub-bandas, com largura de banda em torno de 500 MHz, medida a -10 dB do valor de pico da PSD. [5]. Deste modo, é fundamental que o circuito seja composto de um mecanismo de chaveamento para a seleção das sub-bandas.

### III. PRINCÍPIOS DA GERAÇÃO DE PULSOS

O princípio da geração de pulsos é mostrado na Fig. 2, na qual a operação em multibandas é realizada pelo chaveamento *ON/OFF* de um oscilador, conforme foi abordado em [6]. Os sinais aplicados na entrada do oscilador são modulados pelo chaveamento *ON/OFF*, e com a variação da frequência de oscilação por meio da seleção da sub-banda (uso de banco de capacitores chaveados) é possível obter na saída pulsos com diferentes frequências centrais.

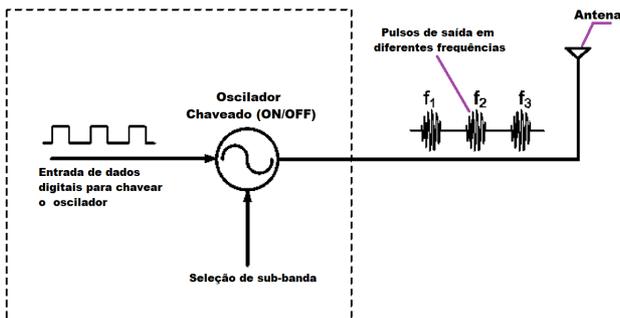


Fig. 2. Princípio da geração de pulsos [6].

O trem de pulsos quadrados da entrada, para o chaveamento do oscilador, pode ser obtido por um modulador OOK (*ON/OFF keying*) composto por uma

porta NAND de duas entradas (*clock* e dados) em série com um inversor, conforme a Fig. 3(a).

A oscilação chaveada requerida na saída, pode ser realizada a partir de um oscilador tanque LC de par cruzado diferencial, com duas chaves SW1 e SW2 que controlam o tanque LC e a polarização do par cruzado do oscilador respectivamente, como mostrado na Fig. 3(b). Quando SW2 está ligada e SW1 desligada, os pulsos são gerados na saída. Um inversor é usado para que o trem de pulsos para acionar as chaves SW1 e SW2 tenham uma diferença de fase de 180°.

O pulso gerado na saída é mostrado na Fig. 4, onde observa-se um pulso de forma triangular, resultante do desligamento do oscilador por SW1 antes do regime permanente. A linha sólida no gráfico representa a situação *ON/OFF* no transiente do sinal e a linha tracejada o regime permanente.

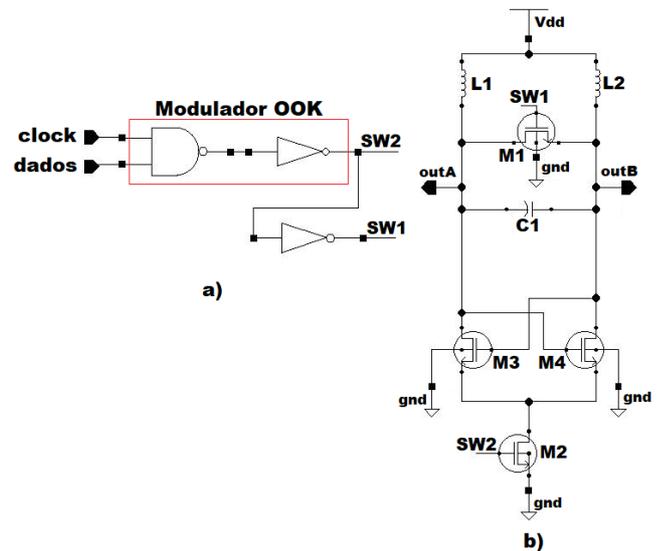


Fig. 3. a) Modulador OOK; b) Oscilador tanque LC com chaveamento *ON/OFF*.

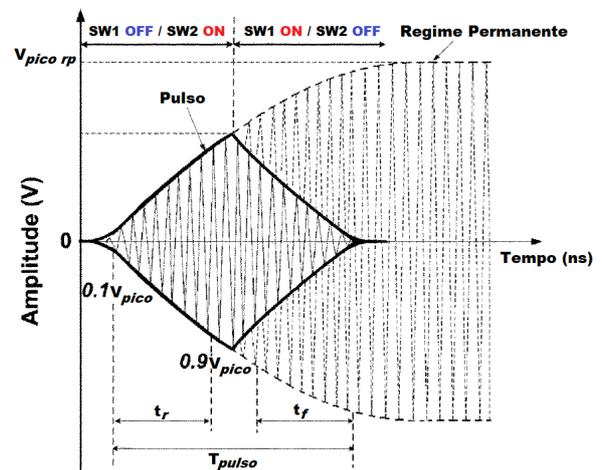


Fig. 4. Pulso de saída do oscilador: a) Estado permanente (linha tracejada), b) Transiente *ON/OFF* (linha sólida) [7].

Conforme abordado em [7], um pulso de forma triangular que forneça mais de 20 dB de rejeição de lóbulo lateral é importante para a supressão de interferência de canal em sistemas multibanda. Assim, o pulso com máxima rejeição de lóbulo lateral, ocorre quando o tempo de subida ( $t_r$ ) é igual ao tempo de descida ( $t_f$ ). Além disso, supõe-se que tanto  $t_r$  quanto  $t_f$  sejam menores que a metade do período  $T_{pulso}$ , que deve ser da ordem de um nano segundo, para assegurar uma largura de banda BW de 500 MHz para cada sub-banda. O pulso de saída, que determina a característica espectral, é caracterizado como se segue:

$$t_r \approx 4,39 \frac{Q}{(AOL-1)\omega_0} = 4,39 \frac{1}{(AOL-1)} \times CR_T \quad (1)$$

$$t_f \approx 4,39 CR_D \quad (2)$$

onde  $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$  é a frequência ressonante,  $A_{OL} = |gm|R_T$  o ganho de malha aberta,  $gm$  a transcondutância fornecida pelo par NMOS,  $Q$  o fator de qualidade,  $C$  a capacitância levando em conta os parasitas,  $R_T$  a resistência de perda do tanque, e  $R_D$  a resistência total do tanque quando está desligado.

De (1) e (2), o pulso desejado pode ser obtido com a seleção adequada do valor da corrente de polarização do par cruzado que determina  $A_{OL}$ , e as dimensões de SW1 (W e L) que determina  $R_D$ . Então, SW1 fornece o controle sobre  $t_f$  pela escolha de seu tamanho para melhor forma do pulso, enquanto que SW2 faz o circuito operar sem dissipar energia durante o desligamento.

#### IV. PROJETO DO GERADOR DE PULSOS E RESULTADOS

O gerador de pulsos projetado e simulado no *software* Cadence Virtuoso, apresentado na Fig. 3, é composto por um modulador OOK, Figura 3(a), e um oscilador tanque LC chaveado por duas chaves NMOS, Fig. 3(b). O oscilador recebe o sinal da saída do modulador com uma frequência de repetição de pulsos (PRF) de 50 MHz com duração de 2,5 ns cada pulso. Esta PRF é a mesma frequência do sinal clock na entrada do modulador.

A Tabela 1 apresenta os dados do modulador OOK, sendo que o inversor colocado na saída do modulador possui as mesmas especificações do inversor do modulador.

TABELA 1. DADOS DO MODULADOR OOK

Parâmetros	Valores
Vdd (mV)	885
NMOS NAND	W=1 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m
PMOS NAND	W=3 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m
NMOS INVERSOR	W=0,28 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m
PMOS INVERSOR	W=0,9 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m

A Tabela 2 apresenta os dados do oscilador tanque LC chaveado:

TABELA 2. DADOS DO OSCILADOR TANQUE LC CHAVEADO

Parâmetros	Valores
Vdd (mV)	885
L1 = L2 (nH)	1,066
C1 (fF)	530
SW1 - M1	W=13 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m
SW2 - M2	W=10 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m
Par - M3, M4	W=30 $\mu$ m L=0,12 $\mu$ m

Para que o pulso de saída do gerador apresentasse a forma triangular, com  $t_r$  e  $t_f$  com valores próximos, foi adequada a duração do pulso na saída do modulador e o dimensionamento das chaves SW1 e SW2. Esse ajuste foi realizado a partir das equações (1) e (2) e das simulações DC (*direct current*), transiente e PSS (*Periodic Steady State*). Os resultados obtidos em relação ao pulso da saída diferencial do oscilador e a densidade espectral de potência (PSD) correspondente são apresentados nas Figura 5 e 6.

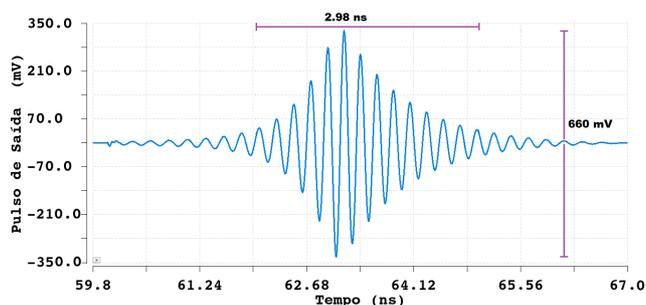


Fig 5. Sinal de saída do gerador de pulsos.

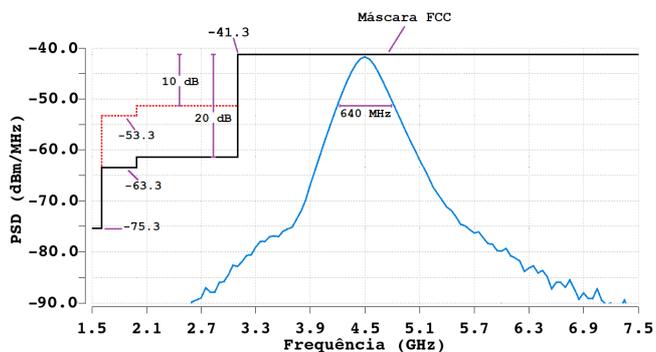


Fig 6. PSD do sinal de saída do gerador de pulsos.

No gráfico da Fig. 5, o sinal possui uma tensão pico a pico  $V_{pp}$  de 660 mV, com duração de 2,8 ns. Os valores de  $t_r$  e  $t_f$  foram de 1,16 ns e 1,79 ns respectivamente, e o sinal apresenta uma forma relativamente triangular.

No gráfico da Fig. 6, a PSD do sinal apresenta o valor de -41,7 dBm/MHz na frequência central de 4,5 GHz. Considerando uma supressão de lóbulo lateral de 10 dB a

largura de banda ficou em torno de 640 MHz. Além disso, o espectro também ficou dentro dos limites estabelecidos pela máscara da FCC em relação ao requisito de supressão de lóbulo lateral de 20 dB. Portanto, o sinal gerado apresenta as características necessárias para sistemas IR-UWB em conformidade com a FCC.

Para avaliar os resultados obtidos por simulação nesta fase do projeto do gerador de pulsos, é mostrada na Tabela 3 uma comparação de desempenho com outros trabalhos.

TABELA 3. COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO

Ref.	Vdd (V)	Freq. (GHz)	Sub-banda @ -10 dB	Largura do pulso	Energia/pulso	Vpp (V)	Rejeição de lóbulo lateral	Potência de saída dBm/MHz
[6]* <sup>1</sup>	1,5	3,8	528 MHz	3,5 ns	18 pJ	0,18	>20 dB	-44,9
[7]* <sup>1</sup>	1,5	3,8	520 MHz	3,5 ns	16,8 pJ	0,16	>25 dB	-41,3
[8]** <sup>2</sup>	1,2	3-5	600 MHz	3,5 ns	10 pJ	1,8	>30 dB	---
[9]** <sup>1</sup>	1,8	4,8	3-7,8 GHz	0,6 ns	13 pJ	0,403	>25 dB	-43,7
[10]** <sup>1</sup>	1,8	3,86	2 GHz	3,5 ns	---	1,5	>20 dB	-47,8
Este trabalho	0,885	4,5	640 MHz	2,98 ns	35,4 pJ	0,66	>20 dB	-41,7

\* Resultados de medidas. \*\* Resultados de simulação.

<sup>1</sup> Tecnologia CMOS 180 nm. <sup>2</sup> Tecnologia CMOS 130 nm.

Observa-se que o projeto proposto segue a tendência dos demais trabalhos em relação à supressão de lóbulo lateral. E apresenta uma potência de saída maior se comparado com demais resultados simulados. Porém o consumo de energia por pulso gerado precisa ser reduzido. É importante ressaltar que o circuito projetado opera com um nível de tensão menor (885 mV), o que é um fator importante para um circuito que irá fazer parte de um sistema de comunicação de dispositivos em redes WBAN por exemplo.

Ainda, os trabalhos apresentados operam com seleção de bandas, exceto o trabalho [9], e esta funcionalidade é a próxima a ser implementada no gerador de pulsos, como sugerido no esquemático da Fig. 7, com a inserção de banco de capacitores chaveados. Outro ponto a ser trabalhado será o ajuste no ganho do oscilador para que o espectro mantenha a mesma potência de saída nas diferentes frequências de operação.

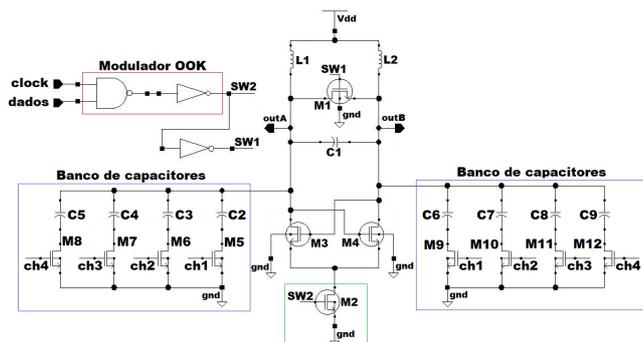


Fig 7. Gerador de pulsos com seleção de banda.

## V. CONCLUSÃO

O projeto do gerador de pulsos proposto apresenta forma de sinal e PSD compatível com as normas da FCC, com potência de saída de -41,7 dBm/MHz à 4,5 GHz, supressão de lóbulo lateral maior que 20 dB e largura de banda de 640 MHz a -10 dB do valor de pico da PSD. O circuito opera em um nível de tensão de 885 mV, uma característica que é relevante para dispositivos que fazem parte de redes WBAN. Além da necessidade de reduzir o consumo de energia/pulso a próxima etapa do projeto terá a inserção do banco de capacitores chaveados para realizar a seleção de bandas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à todos os membros do GICS - *Group of Integrated Circuits and Systems* da UFPR e ao Departamento de Engenharia Elétrica, pelo apoio técnico e disponibilidade do laboratório para a realização do trabalho de pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- [1] IoT Agenda. *Internet of Things (IoT)* Disponível em: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>
- [2] "802.15.4-2015 - IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks". IEEE, documento 7460875, 22 Abril 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7460875>
- [3] "802.15.6-2012 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks". IEEE, documento 6161600, 29 Fevereiro 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7460875>
- [4] "Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems". FCC, 11 Agosto 2010. Disponível em: <https://www.fcc.gov/document/revision-part-15-commissions-rules-regarding-ultra-wideband>
- [5] A. Apsel, X. Wang and R. Dokania. "Design of Ultra-Low Power Impulse Radio". Springer, 2014.
- [6] A. -T. Phan, J. Lee, V. Krizhanovskii, L. Quan, S. -K. Han, and S. -G. Lee, "Energy-Efficient Low-Complexity CMOS Pulse Generator for Multiband UWB Impulse Radio", IEEE Trans. Circuits Syst. I, Dezembro, 2008, pp. 3552-3562.
- [7] A. -T. Phan, J. Lee, V. Krizhanovskii, L. Quan, S. -K. Han, and S. -G. Lee, "A 18-pJ/Pulse OOK CMOS Transmitter for Multiband UWB Impulse Radio", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 17, No. 9 Setembro, 2007, pp. 688-690.
- [8] W. Kim, I. Kwon, "CMOS pulse generator based on spectral efficiently gated oscillator for UWB impulse radio", IEICE Electronics Express, Vol.10, No.10, Maio, 2013, pp. 1-6 .
- [9] J. Radić, A. Djugova, L. Nagy, M. Videnović-Misić, "A Low-Complexity and Energy-Efficient IR-UWB Pulse Generator in 0.18µm technology", Informacije MIDEM Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials Vol.43, No.3, 2013, pp. 179-184.
- [10] I. Mahbub, S. K. Islam, "A Low-Power Impulse-Radio Ultra Wideband (IR-UWB) Transmitter for Biomedical Applications", Conference Paper CMOC Symposium 2015, Abril 2015.