

**SÍNTESE DE PULSOS UWB USANDO
A TECNOLOGIA DNAx**

CLEOMÁRCIO ALMEIDA

MARÇO/ 2009

Síntese de pulsos UWB usando a tecnologia DNAx

CLEOMÁRCIO ALMEIDA

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Telecomunicações, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador: PROF. DR. SANDRO ADRIANO FASOLO

Santa Rita do Sapucaí
2009

Dissertação defendida e aprovada em 13/03/2009, pela comissão julgadora:

Dr. Osamu Saotome

ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica IEE

Dr. José Antônio Justino Ribeiro

Inatel

Dr. Sandro Adriano Fasolo

Inatel

Coordenador do Curso de Mestrado

A meus pais.

Agradecimentos

A Deus e Nossa Senhora por me proporcionar saúde e força de vontade para vencer mais esta etapa de minha vida. Aos meus pais, Clemente Bispo de Almeida e Carmina Teixeira Almeida, pelo apoio, incentivo e dedicação prestados em todos os momentos da minha vida. A minha noiva Janielly Cardoso Ramos, pelo apoio, compreensão e paciência dedicados a mim durante esse tempo. A Keli Cristine Almeida minha irmã. O que seria extremamente difícil chegar até aqui sem essas pessoas.

Ao meu orientador professor Dr. Sandro Adriano Fasolo pela excelente orientação, sugestões e pelo tempo dedicado a aclaração de dúvidas, conselhos e amizade.

A todos os colegas, professores e funcionários do curso de Mestrado do Instituto Nacional de Telecomunicações pela amizade. Em especial a meus amigos Matheus Cardoso Moraes e Antônio Alves Ferreira Junior pela ajuda, apoio e companheirismo prestados durante todo esse período.

Índice

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	x
Lista de Abreviaturas e Siglas	xii
Lista de Símbolos	xiv
1 Introdução	1
1.1 Objetivo e motivação do trabalho	2
1.2 Atualidade do tema	2
1.3 Composição do trabalho	3
2 A tecnologia UWB	5
2.1 História UWB	6
2.2 Órgãos reguladores	7
2.2.1 Regulamentação da FCC	7
2.2.2 Regulamentação européia	9
2.2.3 Regulamentação asiática	11
2.3 Vantagens da tecnologia UWB	12
2.3.1 Capacidade de compartilhar o espectro de frequência . . .	12
2.3.2 Transmissão de altas taxas de dados	12
2.3.3 Probabilidade baixa de interceptação e detecção	13
2.3.4 Resistência a interferência	13

2.3.5	Alta resolução em canais com múltiplos percursos	14
2.3.6	Arquitetura simples do transceptor	14
2.4	Desvantagens e desafios dos sistemas UWB	15
2.4.1	Distorção na forma de onda do pulso	15
2.4.2	Estimativa da resposta em frequência do canal	16
2.4.3	Sincronização em alta frequência	17
2.4.4	Interferência de múltiplos acessos	17
2.5	Aplicações UWB	17
2.5.1	Aplicações com baixa taxa de dados	18
2.5.2	Aplicações com alta taxa de dados	18
3	A Técnica DNx	20
3.1	Introdução	20
3.2	Teoria fundamental	21
3.3	Formato básico da equação DNx	22
3.4	Forma geral da equação DNx	22
3.4.1	Função arbitrária $f(x)$	23
3.4.2	Função base x da equação DNx	24
4	Geração de pulsos para sistemas UWB	26
4.1	Introdução	26
4.1.1	Ondas senoidais amortecidas	27
4.1.2	Pulso gaussiano	29
4.2	Métodos para geração de pulsos UWB	32
4.2.1	Arquitetura básica de sistemas UWB	33
4.2.2	Aproximação no formato do pulso	35
4.3	Revisão bibliográfica sobre a geração de pulsos para UWB	37
4.3.1	Transistor operando no modo avalanche	37
4.3.2	Guia de ondas coplanar	38

5	Método para geração de pulsos UWB pela técnica DNAX	41
5.1	A escolha da equação DNAX	41
5.2	Geração do pulso através do método da síntese	42
5.2.1	Aplicação do método	43
5.2.2	Determinação dos parâmetros e resultados obtidos	44
5.2.3	Obtenção da terceira derivada do pulso Gaussiano	45
5.2.4	Obtenção do pulso <i>Doublet</i> Gaussiano	48
5.2.5	Obtenção do pulso Monociclo Gaussiano	51
5.3	Novo pulso para sistemas UWB	56
5.3.1	Método do pulso único	56
5.3.2	Propriedades relacionadas com a forma do pulso	58
6	Simulação de um pulso DNAX no Orcad	62
6.1	Adequação da equação DNAX	62
6.2	Taxa de inclinação dos amplificadores operacionais	64
6.2.1	Simulador e componentes utilizados	64
6.3	Proposta para a geração das funções	65
6.3.1	Proposta para o multiplicador	65
6.3.2	Proposta para o Log e Antilog	67
6.4	Simulação e resultados	68
6.4.1	Valores dos parâmetros	69
6.5	Resultados obtidos	70
7	Conclusões	75
7.1	Sugestões para trabalhos futuros	76
A	Trabalho publicado referente a dissertação	78
	Bibliografia	80

Lista de Figuras

1.1	Conectividade de tudo com todos. Cortesia de <i>The Broadband Home</i> (www.broadbandhomecentral.com)	3
2.1	Evolução histórica da tecnologia UWB.	7
2.2	Pontos de -10dB referentes a medição da largura de faixa, estabelecido pela FCC.	8
2.3	Máscara espectral para ambientes internos e externos estabelecida pela FCC.	9
2.4	Máscara espectral para ambientes internos e externos estabelecida pelo EU.	10
2.5	Comparação entre as máscaras estabelecidas pelo FCC e IDA. . .	11
2.6	Espectro UWB em comparação com o espectro dos demais sistemas convencionais.	12
2.7	Em a) arquitetura de transceptores de banda estreita e em b) UWB.	15
3.1	Gráficos dos polinômios $P_D(x)$ e $P_N(x)$	21
3.2	Gráficos de $y(x)$ em função de a e n	23
3.3	Gráficos de $y(x)$ em função de $f(x)$	24
3.4	Representação de (3.10) para $f(x) = 1$ e função base x variando linearmente com diferentes inclinações.	24
3.5	Representação de 3.9 para para $f(x) = 1$, $a = 1$ e $n = 1$ e a função base x variando em função de um cosseno.	25

4.1	a) Forma de onda de um seno amortecido e b) Magnitude da transformada de Fourier.	28
4.2	Os três pulsos Gaussianos no tempo e na frequência, para $\sigma = 50$ ps.	30
4.3	Bloco esquemático genérico de um transmissor UWB.	33
4.4	Bloco esquemático de um receptor UWB.	34
4.5	Pulsos Gaussiano e suas respectivas 1ª, 2ª e 3ª derivadas.	36
4.6	Resultado da correlação entre os pulsos Gaussiano, Monociclo, Doublet e a 3ª derivada do pulso Gaussiano.	37
4.7	Esquemático de um circuito operando em modo avalanche.	38
4.8	Esquemático de um gerador de pulsos Monociclos baseado em guia de ondas coplanares. Cortesia Xtreme Spectrum (www.xtremespectrum.com).	39
4.9	Forma ideal dos pulsos a serem combinados por uma célula de Gilbert.	40
5.1	Forma dos pulsos gerados pelas variações exponenciais tipo A, B e C da equação DNAX.	43
5.2	Pulsos da 3ª derivada, técnica DNAX e função base $x(t)$	46
5.3	As formas de ondas geradas pela técnica DNAX ponderadas pelo coeficiente C_k e deslocadas de kd	47
5.4	Forma do pulso sintetizado pela técnica DNAX e o pulso desejado.	48
5.5	Espectro do pulso resultante e do teórico.	49
5.6	Ilustra os dois pulsos, o gerado pela DNAX a ser usado no método da síntese e o pulso a ser obtido e a função base $x(t)$ geradora do pulso DNAX atribuído como uma rampa.	50
5.7	Pulsos DNAX ponderados por C_k e deslocadas de kd para a geração do pulso Doublet Gaussiano.	51
5.8	A forma do pulso Doublet obtido pela síntese através da técnica DNAX em comparação com o pulso teórico.	52

5.9	A forma do pulso Doublet tomada a transformada de Fourier, para a comparação com a transformada do pulso teórico.	52
5.10	Pulso DNAX, pulso modelo e a função base $x(t)$	53
5.11	Pulsos DNAX ponderados por C_k e deslocados de kd para a geração do pulso Monociclo Gaussiano.	54
5.12	Pulsos DNAX ponderados por C_k e deslocados de kd para a geração do pulso Monociclo Gaussiano.	55
5.13	Pulso Monociclo obtido pela síntese através da técnica DNAX e o pulso teórico.	55
5.14	Espectros dos pulsos obtidos.	56
5.15	Exemplos da função base geradora $x(t)$	57
5.16	Pulso UWB singelo gerado pela técnica DNAX.	59
5.17	Densidade espectral de potência do pulso singelo.	59
5.18	Pulsos DNAX da 1ª e 2ª derivadas temporais.	60
5.19	Densidade espectral de potência dos pulsos da 1ª e 2ª derivadas temporais.	61
6.1	Diagrama em blocos para a simulação do pulso DNAX.	63
6.2	Forma básica de uma célula de Gilbert.	66
6.3	Estrutura básica de um circuito Log.	68
6.4	Estrutura básica de um circuito Antilog.	68
6.5	Função base $x(t)$	69
6.6	Parte do circuito final proposto para representação da célula DNAX, para executar a função $[a \times x(t)]^2$	71
6.7	Parte do circuito final proposto para representação da célula DNAX, para executar a função $\log[f(x) + (a \times x(t))^2]$	72
6.8	Parte do circuito final proposto para representação da célula DNAX, para executar a função $\log^{-1}\{-(a \times x(t))^2 \times \log[f(x) + (a \times x(t))^2]\}$	73

6.9 Pulso UWB gerado através da representação da célula DNAX por componentes eletrônicos.	74
6.10 Espectro em frequência do pulso UWB gerado através da repre- sentação da célula DNAX por componentes eletrônicos.	74

Lista de Tabelas

2.1	Limites de emissões para várias aplicações UWB.	9
2.2	Limites de radiação estabelecidos pelo ITU para UWB em aplicações em ambientes internos e externos.	10
2.3	Limites de emissão de sistemas UWB em cada faixa de frequência.	11
4.1	Características do pulso $y_a(t)$	28
4.2	Largura de faixa dos pulsos $y_{g1}(t), y_{g2}(t)$ e $y_{g3}(t)$	31
4.3	Largura de faixa dos pulsos Gaussianos e do seno amortecido.	32
4.4	Correlação entre o pulso Gaussiano e suas respectivas derivadas.	36
5.1	Valores para a síntese do pulso da 3ª derivada do pulso Gaussiano.	45
5.2	Valores para a síntese do pulso da 3ª derivada.	47
5.3	Valores dos parâmetros para a síntese do pulso Doublet Gaussiano.	49
5.4	Valores de C_k obtidos para a síntese do pulso Doublet Gaussiano.	50
5.5	Valores para a síntese do pulso Monociclo Gaussiano.	53
5.6	Valores de C_k para a síntese do pulso Monociclo Gaussiano.	53

Lista de Abreviaturas e Siglas

47CFR/e-CFR	<i>Electronic Code of Federal Regulations</i>
AWGN	<i>Additive White Gaussian Noise</i>
BPS	<i>Baseband Signal Processing</i>
BW	<i>Bandwidth</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CEPT	<i>Conference European of Postal and Telecommunications</i>
DNA_x	<i>Nome fantasia patenteado que reúne as letras usadas nas equações, sendo D a constante de deslocamento da função geradora dos pulsos, N é o expoente da equação exponencial e define o tempo de subida dos pulsos, A é a constante que define a largura dos pulsos e x é a função geradora dos pulsos.</i>
DVD	<i>Digital Video Disc</i>
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
EU	<i>European Union</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission</i>
GPS	<i>Global Systems Position</i>
IDA	<i>Infocomm Development Authority</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
LNA	<i>Low Noise Amplifier</i>

PDA	<i>Personal Digital Assistant</i>
PLL	<i>Phase-Locked-Loop</i>
PN	<i>Pseudo-random Noise</i>
PPM	<i>Pulse Position Modulation</i>
PRF	<i>Pulse Repetition Frequency</i>
SNR	<i>Signal Noise Ratio</i>
SRD	<i>Step Recovery Diode</i>
TH-PPM	<i>Time Hopping - Pulse Position Modulation</i>
UWB	<i>Ultra-WideBand</i>
VCO	<i>Voltage Controlled Oscillator</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Lista de Símbolos

a	Constante da equação DNAX
A	Amplitude arbitrária
B_f	Largura de faixa fracionária
c	Velocidade da luz no vácuo
C_k	Coefficiente de ponderação de índice k
d	Fator de deslocamento da equação DNAX
d	Distância entre o receptor e transmissor de sistemas de transmissão
Δt	Taxa Variação do tempo
$\Delta v(t)$	Taxa de variação da tensão
$E1, E2, E3$	Energias dos pulsos
f	Frequência
f_H	Frequência de corte superior
f_L	Frequência de corte inferior
f_o	Frequência de oscilação
$f(x)$	Função arbitrária da equação DNAX
$G(x)$	Função de Gauss com média zero
$g_{DNAX}(t)$	Função que representa a síntese do pulso pela técnica DNAX
$g_{d1}(t)$	Pulso Monociclo Gaussiano
$g_{d2}(t)$	Pulso Doublet Gaussiano
$g_{d3}(t)$	Pulso da terceira derivada do pulso Gaussiano

G_r	Ganho da antena do receptor
G_t	Ganho da antena do transmissor
$G1(t)$	Equação do pulso Gaussiano
$G2(t)$	Equação da primeira derivada do pulso Gaussiano
$G3(t)$	Equação da segunda derivada do pulso Gaussiano
I_c	Corrente de coletor
I_E	Corrente de emissor
I_s	Corrente de saturação
k	Índice definido por $k = \{0, 1, \dots, P - 1\}$
k	Constante de Boltzmann
$K1, K2, K3$	Constantes das amplitudes dos pulsos Gaussianos
λ	Coeficiente de decaimento exponencial
n	Expoente da equação DN _A x
P	Número de pulsos
$P_D(x)$	Polinômio D de x
PG	Ganho de Processamento
P_d	Limite direito do pulso gerado pela equação DN _A x
P_e	Limite esquerdo do pulso gerado pela equação DN _A x
$P_N(x)$	Polinômio N de x
P_r	Potência de recepção
P_t	Potência de transmissão
$q(t)$	Representação matemática de um pulso quadrado
q_e	Carga do elétron
$S1, S2$	Pulsos curtos quadrados
σ	Desvio padrão

SR	<i>Slew Rate</i>
t	Tempo
T	Temperatura
τ	Indica um bloco de um circuito de temporização
T_f	Período de um pulsos básico
t_s	Tempo de transição de subida
V_{be}	Tensão base - emissor
V_i	Tensão de entrada
V_{out}	Tensão de saída
W	Largura da janela operacional do Pulso DNAX
x	função base da equação DNAX
$y_A(t)$	Equação DNAX variação exponencial tipo A
$y_B(t)$	Equação DNAX variação exponencial tipo B
$y_C(t)$	Equação DNAX variação exponencial tipo C
$y(x)$	Forma básica da equação DNAX
$y_a(x)$	Forma geral da equação DNAX tipo A
$y_b(x)$	Forma geral da equação DNAX tipo B
$y_c(x)$	Forma geral da equação DNAX tipo C
$y_a(t)$	Equação que representa um seno amortecido
$y_k(t)$	Equação que representa a síntese do pulso
$y_{alog}(t)$	Equação DNAX representado por funções logaritmas
$y_{log}(t)$	Equação DNAX representado por funções logaritmas

Resumo

Este trabalho tem com objetivo apresentar a utilização da técnica DNAX como uma nova proposta para a síntese de pulsos UWB. A técnica DNAX pode produzir um único pulso do tipo quadrado contínuo no tempo, onde os tempos de subida e descida, instante de ocorrência e a largura do pulso podem ser configurados de uma forma simples. Mostrou-se que é possível gerar os quatro principais pulsos usados em sistemas UWB (Gaussiano e suas três primeiras derivadas temporais) a partir de uma combinação de vários pulsos do tipo DNAX. A contribuição original deste trabalho foi mostrar que um único pulso DNAX e suas derivadas temporais possuem as características e propriedades adequadas a um sinal para sistemas UWB. Duas grandes vantagens do uso de um único pulso DNAX são a capacidade de formatá-lo através da configuração de seus parâmetros e a possibilidade de construção de um circuito eletrônico que implemente fielmente uma célula DNAX. As simulações computacionais e eletrônicas foram feitas através do uso da plataforma MATLAB® e OrCAD.

Palavras-chave: sistemas de transmissão com banda ultra-larga, técnica DNAX, rádio por impulsos, sistemas de comunicação sem-fio.

Abstract

This work has objective to use of the technique DNAX as a new proposal for the synthesis of UWB pulses. The DNAX technique can produce a single square pulse continuous in time, where the times of rise and fall, time of occurrence and the pulse width can be configured in a simple way. In this work is shows that it is possible to generate the four pulses used in UWB systems (Gaussian and its first three time derivatives) from a combination of several pulses of the type DNAX. The original contribution of this work was to show that a single pulse DNAX and its derivatives have the characteristics appropriate for UWB signals. Two major advantages of using a single pulse DNAX are the ability to format it by setting its parameters and the possibility of constructing an electronic circuit that implements a cell DNAX. Electronic and computer simulations were done through the use of the platform MATLAB[®] and OrCAD.

Keywords: Transmission systems, Ultra WideBand, DNAX technique, impulse radio, wireless communication systems.

Capítulo 1

Introdução

A capacidade de fornecer acesso às informações com mobilidade faz a conectividade sem fio desempenhar um papel cada vez mais expressivo em sistemas de comunicações. As tecnologias de acesso sem fios já estão muito difundidas na sociedade moderna, através de diversos dispositivos e aplicações, como a telefonia celular, aplicações de WLAN (*Wireless Local Area Network*), *Bluetooth*, GPS (*Global Systems Position*), etc.

Entre as categorias de redes sem fios, as tecnologias com alcance limitado desempenham um importante papel, realizando a conexão final entre diversos dispositivos [1]-[2]. Existe uma exigência crescente de dispositivos sem fios de alcance limitado com capacidade de transferir altas taxas de dados, para aplicações de acesso a internet e serviços de multimídia, interface entre periféricos, aplicações de geoposicionamento em ambientes como centros comerciais, museus, casas e escritórios.

A utilização de dispositivos sem fios, desenvolvidos com uso da tecnologia de Banda Ultra Larga - UWB, é uma alternativa promissora a ser considerada como solução para curtas distâncias, como as conexões de último quilômetro [1]. A tecnologia UWB permite o compartilhamento dos recursos existentes e a coexistência com as tecnologias sem fio convencionais de banda estreita, evitando a necessidade de novas alocações no espectro de frequências.

1.1 Objetivo e motivação do trabalho

O objetivo deste trabalho consiste na geração de novos pulsos a serem utilizados nas transmissões de sistemas UWB, empregando uma nova técnica denominada de DNAX. Esta técnica foi desenvolvida como uma ferramenta para representar sinais e manipulá-los perante conceitos matemáticos originais e flexíveis, podendo representar sinais do tipo pulso quadrado (e suas variantes), periódicos ou não [3]. Sendo uma técnica pouco explorada e com uma teoria matemática um tanto complexa, este trabalho visa realizar um estudo sobre esta técnica e a viabilidade da sua utilização para a obtenção de novas formas de pulsos para aplicação em sistemas UWB.

O crescente interesse na tecnologia UWB e as suas potencialidades para suprir as necessidades de acesso e mobilidade com altas taxas de dados, uma exigência cada vez maior do mercado consumidor e industrial, oferece uma oportunidade ímpar de pesquisa e desenvolvimento de novas técnicas e métodos. Esta necessidade de superar desafios e gerar novos conceitos resultou no estudo da aplicação da nova e revolucionária técnica DNAX para a geração de pulsos com características de um sinal UWB.

1.2 Atualidade do tema

Os sistemas que utilizam a tecnologia UWB vêm despertando interesse, nos últimos anos, dos meios acadêmicos e da indústria de eletrônicos, por proporcionar e possibilitar novos avanços em sistemas de comunicações sem fio. Os grandes atrativos dos sistemas UWB são a transferência de dados a altas taxas, conectividade, mobilidade e o compartilhamento da mesma faixa do espectro de frequências com os sistemas de comunicações sem fios convencionais. A Figura 1.1 ilustra como a interface aérea pode ser usada na conectividade de diversos dispositivos utilizando sistemas UWB. A tecnologia UWB não é empregada so-

mente em comunicações sem fios, mas também é empregada em radares, sistemas de localização e posicionamento. Esta proposta de combinação das tecnologias UWB e DNAX possui um grande potencial de pesquisa.



Figura 1.1: *Conectividade de tudo com todos.* Cortesia de The Broadband Home (www.broadbandhomecentral.com)

1.3 Composição do trabalho

Este trabalho foi dividido em sete capítulos, de forma a estabelecer uma sequência para seu melhor entendimento. No Capítulo 2 são apresentados os conceitos referentes à tecnologia UWB, com seu desenvolvimento ao longo de sua história, as máscaras espectrais dos principais órgãos reguladores, as vantagens proporcionadas, as desvantagens e algumas aplicações. No Capítulo 3 é apresentada a técnica DNAX com um breve introdução à teoria fundamental, o formato básico da equação DNAX e os seus parâmetros. No Capítulo 4, são relatados os formatos mais comuns de pulsos encontrados e uma revisão dos métodos de geração dos pulsos UWB existentes. No Capítulo 5, são apresentados os métodos de geração

de pulsos UWB utilizando a técnica DNAX, o método da síntese para gerar os três pulsos mais utilizados para sistemas UWB que são: o pulso da terceira derivada do pulso gaussiano, o pulso Doublet e o pulso monociclo Gaussiano e a utilização da técnica DNAX para gerar o pulso de forma direta. No Capítulo 6, são apresentadas as simulações, resultados e as técnicas desenvolvidas para a obtenção do pulso através de um simulador de circuitos. O Capítulo 7 é destinado para as conclusões, sugestões para trabalhos futuros.

Capítulo 2

A tecnologia UWB

Introdução

A tecnologia *Ultra-Wideband* sofreu modificações recentes através de mudanças em sua utilização. Período no qual foi somente usada para aplicações em sistemas de radares e comunicações militares secretas [1]. As comunicações UWB destacam-se em relação aos sistemas convencionais no tocante a faixa de frequência ocupada e as taxas de transmissão de dados, estimulando um interesse nos meios acadêmicos e industriais no seu desenvolvimento. Uma modificação substancial ocorreu em fevereiro de 2002, quando a FCC (*Federal Communications Commission*) [4] estabeleceu uma regulamentação na qual a tecnologia UWB poderá ser utilizada também em comunicações de dados.

A faixa de frequência alocada para a tecnologia UWB está entre 3,1 a 10,6 GHz, fornecendo 7,5 GHz de largura de faixa, superior à alocação de qualquer sistema de comunicação hoje existente. A largura de faixa resultante da transmissão dos pulsos estreitos, com duração de nanossegundos, torna possível conjugar a transmissão de dados digitais com altas taxas e baixa potência de transmissão [5]. As características da tecnologia UWB viabilizam a compatibilidade e a coexistência com sinais de outras tecnologias ocupando a mesma faixa do espectro, o que pode oferecer uma solução para a escassez do espectro de radiofrequência, permitindo

que novos serviços coexistam com sistemas de rádio atuais com o mínimo de interferência.

2.1 História UWB

A tecnologia UWB teve seu ponto de partida entre o final do século XIX e início do século XX, quando Guglielmo Marconi estudou a utilização de pulsos eletromagnéticos para comunicações por rádio para transmitir sinais de telégrafo usando código Morse através do Oceano Atlântico. Os estudos para entender a propagação de pulsos UWB foram inicialmente estabelecidos por Sommerfeld em 1901, quando estudou a difração de pulsos no domínio do tempo [6]. Esse desenvolvimento foi lento até 1960 devido às limitações tecnológicas, onde as comunicações de banda estreita com portadora foram preferidas a UWB. Os estudos na área foram retomados por interesses militares dos EUA, visto que a utilização de sistemas com a tecnologia UWB encaixava-se na necessidade de criação de radares mais eficazes e seguros. A retomada dos trabalhos origina-se do estudo de ondas eletromagnéticas no domínio do tempo, começado em 1962, para descrever totalmente o comportamento transitório de um classe de redes de microonda pela sua resposta ao impulso [7].

O UWB durante determinado período de sua história foi conhecido como uma tecnologia que utilizava transmissão em banda básica ou transmissão de rádio por impulso, passando a ser denominada de *Ultra Wideband* à partir de 1989 pelo Departamento de Defesa dos EUA. No período dos anos de 1960 aos anos de 1990 esta tecnologia foi limitada a aplicações militares e programas secretos de comunicações seguras [8].

Contudo, o avanço na tecnologia de semicondutores e a alta velocidade de comutação de circuitos fizeram da tecnologia UWB uma nova proposta para aplicações comerciais em comunicações de curto alcance. O interesse na comercialização da tecnologia UWB aumentou durante os últimos anos, ocorrendo à busca

pela aprovação para o seu uso comercial. Em fevereiro de 2002, a FCC aprovou o primeiro relatório para o uso comercial da tecnologia UWB [4], definindo um novo período na história desta tecnologia. A Figura 2.1 ilustra a evolução da tecnologia UWB e de sua utilização.

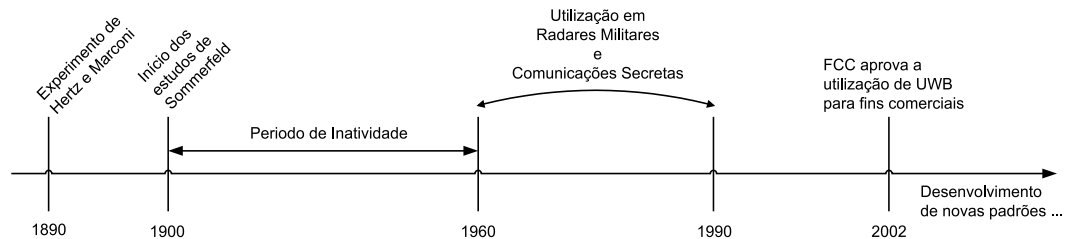


Figura 2.1: *Evolução histórica da tecnologia UWB.*

2.2 Órgãos reguladores

Uma das questões importantes em sistemas de comunicações UWB está na alocação de frequências e a limitação de potência irradiada, com o objetivo de evitar interferências com outras tecnologias existentes. Com o crescente interesse, diversos grupos de empresas e instituições de pesquisas dos Estados Unidos, da Europa e Ásia, vêm discutindo as limitações impostas pelos órgãos reguladores, para estabelecer novos parâmetros atribuídos a sua utilização.

2.2.1 Regulamentação da FCC

Em fevereiro de 2002, a FCC emitiu as regulamentações iniciais para a utilização, que forneceram as primeiras limitações de irradiação de potência e a autorização para comercialização [4]. A primeira definição estabelece que, para um sinal seja classificado como UWB, a largura de faixa fracionária (B_f) deve ser maior ou

igual a 0,25. A largura de faixa fracionária é dada por [9]

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

onde f_L é a frequência de corte inferior e f_H a frequência corte superior considerando o ponto de -10 dB na resposta em frequência.

O primeiro relatório final, publicado pela FCC em abril de 2002, informa a introdução de quatro categorias diferentes de aplicações permitidas para a tecnologia UWB e estabelece máscaras de limitação de irradiação de potência para todas elas. A definição prevalecente reduziu o limite de B_f para no mínimo de 0,20, definida pela aplicação de (2.1). Com isso, ficou estabelecido novos limites para os pontos de especificação de f_H e f_L , dispostos no ponto de -10 dB no espectro em frequência, como ilustrado na Figura 2.2. Segundo as regulamentações, outra maneira de classificar um sinal como UWB é se sua largura de faixa for igual ou superior a 500 MHz.

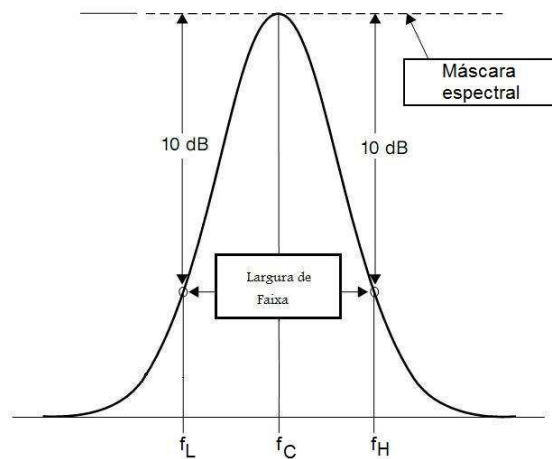
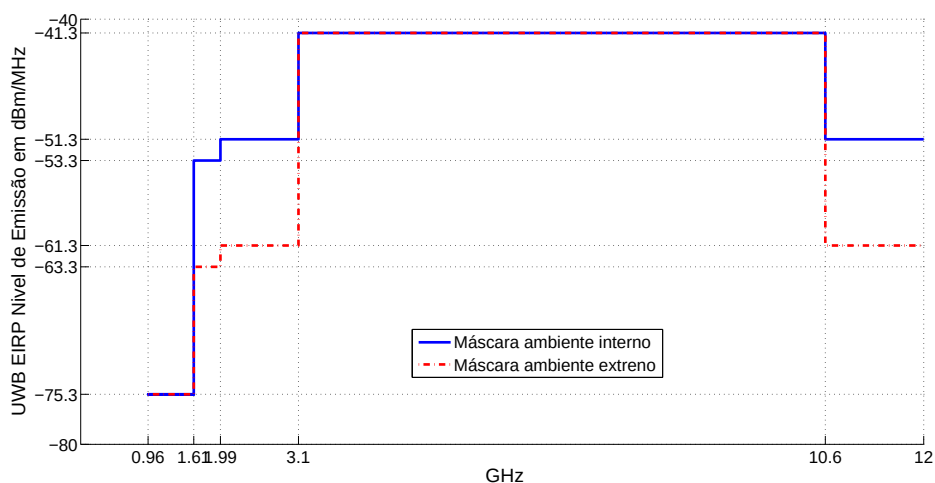


Figura 2.2: Pontos de -10 dB referentes a medição da largura de faixa, estabelecido pela FCC.

Os limites de irradiação impostos são apresentados na Tabela 2.1 para as quatro aplicações permitidas, comunicação de dados em ambientes internos e

Tabela 2.1: *Limites de emissões para várias aplicações UWB.*

Aplicações				
Faixa Operação (GHz)	Comunicações			
	Internas	Externas	Imagens	Radars
EIRP (dBm)				
0,96 - 1,61	-75,3	-75,3	-53,3	-75,3
1,61 - 1,99	-53,3	-63,3	-51,3	-63,3
1,99 - 3,10	-51,3	-61,3	-41,3	-63,3
3,10 - 10,6	-41,3	-41,3	-41,3	-63,3
10,6 - 22,0	-51,3	-61,3	-41,3	-41,3
22,0 - 29,0	-51,3	-61,3	-51,3	-41,3

**Figura 2.3:** *Máscara espectral para ambientes internos e externos estabelecida pela FCC.*

externos, dispositivos de visualização (visualização através de objetos, escombros, etc) e sistemas de radares para veículos automotores. A Figura 2.3 ilustra a máscara espectral para ambientes internos e externos de acordo com os valores expressos na Tabela 2.1.

2.2.2 Regulamentação europeia

As regulamentações da tecnologia UWB proposta pela União Europeia (EU) mostram-se conservadoras quanto aos padrões preliminares para a emissão de potência [1], mais restritivos do que os limites estipulados pela FCC nos Estados

Unidos [10].

As recomendações sobre dispositivos de alcance limitado que utilizam UWB são fixadas pelo *European Telecommunications Standards Institute* (ETSI), pela *European Conference of Postal and Telecommunications* (CEPT) e pela *International Telecommunications Union* (ITU). O esperado é que o ETSI e o CEPT sigam as recomendações da FCC, mas não necessariamente. Os limites pelo ITU em 2002 para aplicações internas e externas são definidos pelos valores e fórmulas apresentadas na Tabela 2.2. A Figura 2.4 ilustra a máscara definida pelo valores fornecidos por estas fórmulas.

Tabela 2.2: Limites de radiação estabelecidos pelo ITU para UWB em aplicações em ambientes internos e externos.

	Faixa Operação (GHz)		
	$f < 3,1$	$3,1 < f < 10,6$	$f > 10,6$
	EIRP (dBm)		
Interno	$-51,3 + 87 \log(f/3,1)$	-41,3	$-51,3 + 87 \log(10,6/f)$
Externo	$-61,3 + 87 \log(f/3,1)$	-41,3	$-61,3 + 87 \log(10,6/f)$

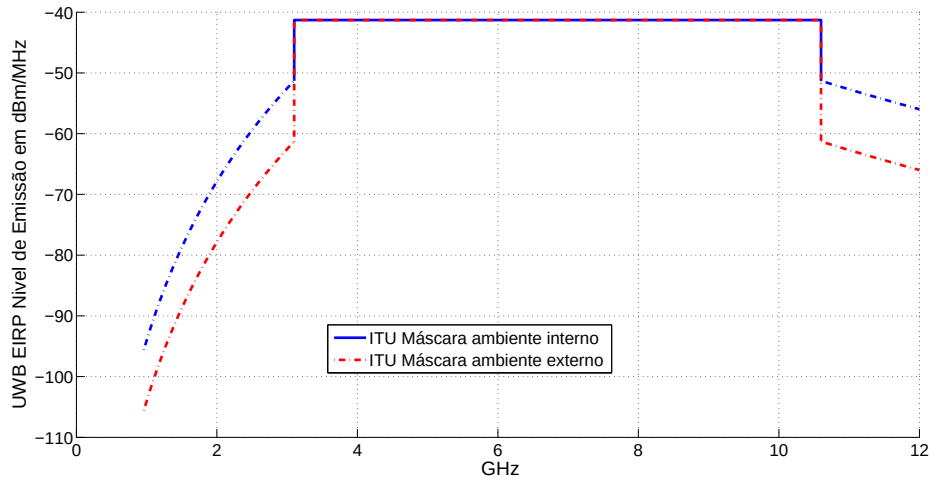


Figura 2.4: Máscara espectral para ambientes internos e externos estabelecida pelo ITU.

2.2.3 Regulamentação asiática

Apesar do crescente interesse do Japão, Coréia, China, Cingapura e Taiwan, atualmente, na Ásia somente a *Infocomm Development Authority* (IDA) em Cingapura permite o uso da tecnologia UWB, através de uma licença especial experimental. A IDA reconhece o potencial de mercado e estimula companhias para o seu desenvolvimento [8]. Em Cingapura permite-se o uso de experiências com limites de emissão de potência com níveis superiores aos permitidos pela FCC e no modo da operação das frequências [5]. A Tabela 2.3 fornece os limites de emissão de potência e as frequências de operação. A Figura 2.5 ilustra a comparação entre a máscara espectral estabelecida pela FCC e a da IDA.

Tabela 2.3: *Limites de emissão de sistemas UWB em cada faixa de frequência.*

Faixa Operação (GHz)	EIRP dBm)
Abaixo 0,96	Sem Especificação
0,96 - 1,61	-75,3
1,61 - 1,99	-63,3
1,99 - 2,20	-61,3
2,20 - 10,6	-35,3
Acima 10,6	-41,3

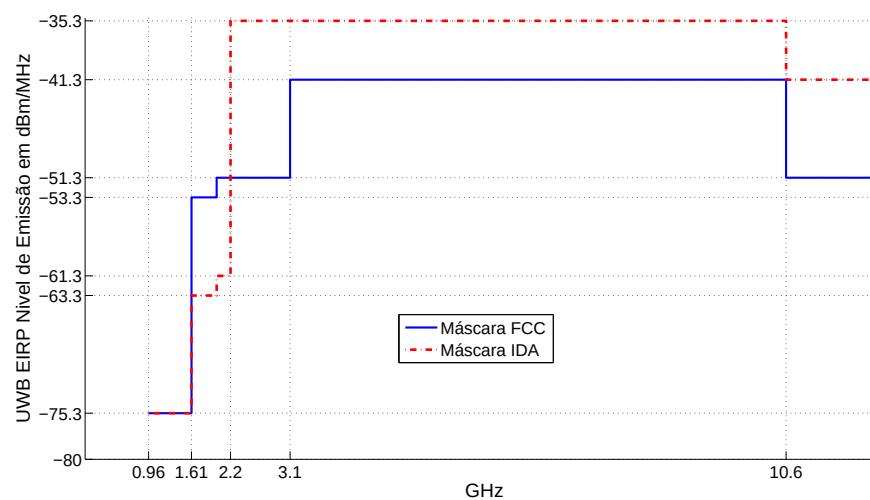


Figura 2.5: *Comparação entre as máscaras estabelecidas pelo FCC e IDA.*

2.3 Vantagens da tecnologia UWB

As características fornecidas pela curta duração dos pulsos utilizados em UWB proporcionam várias vantagens em relação aos sistemas de comunicações sem fio convencionais, como destacadas a seguir.

2.3.1 Capacidade de compartilhar o espectro de frequência

As exigências e restrições para emissão de potência [4] permitem que os sistemas UWB operem abaixo do nível de ruído de um receptor de banda estreita de um sistema de comunicação convencional. Logo sinais UWB podem coexistir com serviços de rádio atuais com pouca ou quase nenhuma interferência. A Figura 2.6 ilustra a coexistência e o compartilhamento do espectro de frequências ocupados por sistemas UWB com o espectro dos demais sistemas convencionais.

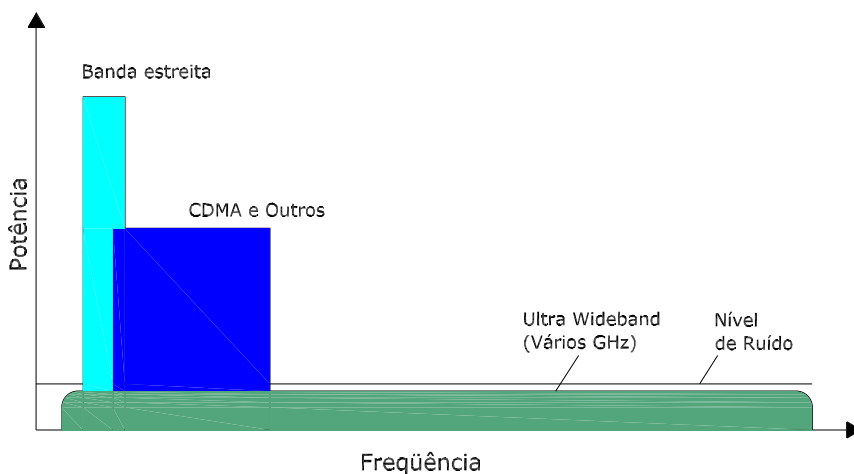


Figura 2.6: *Espectro UWB em comparação com o espectro dos demais sistemas convencionais.*

2.3.2 Transmissão de altas taxas de dados

As altas taxas de dados são, possivelmente, o aspecto mais inelutável, sobre o ponto de vista e observações de especialistas nos meios acadêmicos e da indústria. A largura de faixa de 7,5 GHz ocupada pela tecnologia UWB fornece este poten-

cial, podendo alcançar taxas de dados em torno de gigabits por segundo (Gb/s). No entanto, as limitações de emissão de potência para as transmissões de sinais UWB possibilita uma taxa de dados em torno de 1 Gb/s disponível para distâncias de até 10 metros. Resulta em uma relação de compromisso entre o alcance e a taxa de dados requerida, possibilitando muitas aplicações nos setores militares, comerciais e civis.

2.3.3 Probabilidade baixa de interceptação e detecção

A pequena probabilidade de interceptação e de detecção são atribuídas a baixa densidade espectral de potência de transmissão, como apresentado na Tabela 2.1, que é de $-41,3$ dBm/MHz, correspondente a 75 nanowatts/MHz. Destaca-se que os pulsos UWB são modulados com códigos únicos para cada par de transmissor e receptor aliados aos tempos estreitos de duração dos pulsos, o que acrescenta mais segurança à transmissão dos sinais.

2.3.4 Resistência a interferência

A largura de faixa utilizada pelo espectro dos sinais UWB é de vários GHz, oferecendo um alto ganho de processamento. O ganho de processamento (PG) é uma medida da resistência de um sistema de rádio a interferência e é definido pela razão da largura de faixa do sinal de RF com a largura de faixa das informações transmitida [8]:

$$PG = \frac{\text{Largura de faixa de RF}}{\text{Largura de faixa da Informação}} \quad (2.2)$$

A grande largura de faixa causa um alto ganho de processamento, proporcionando uma alta resistência a interferências intencionais e não.

2.3.5 Alta resolução em canais com múltiplos percursos

Múltiplos percursos é o nome dado ao um fenômeno que ocorre no canal, depois da transmissão um sinal eletromagnético o qual viaja por vários caminhos até chegar ao receptor, degradando a qualidade do sistema. Este fenômeno é causado por múltiplas reflexões, refrações e espalhamento da energia eletromagnética do sinal por objetos entre o transmissor e o receptor.

Os sistemas UWB são altamente resistentes aos múltiplos percursos em ambientes fechados comuns, como escritórios e residências, ou em ambientes externos. Como a duração dos pulsos transmitidos é da ordem de nanossegundos, a probabilidade de o pulso refletido colidir como o pulso original transmitido e causar a degradação do sinal é pequena, em comparação com sinais de banda estreita convencionais [1],[8]. Entretanto, não significam que sistemas de comunicações UWB sejam totalmente imunes às distorções provocadas por múltiplos percursos. Dependendo da resposta impulsiva do canal, do esquema de modulação utilizado, dentre outros fatores [10], os pulsos podem ser significativamente distorcidos, principalmente em ambientes fechados com um grande número de objetos, o que pode possibilitar um grande espalhamento do sinal a ser recebido.

2.3.6 Arquitetura simples do transceptor

A baixa complexidade e o baixo custo de sistemas UWB resultam da natureza da transmissão dos sinais UWB em banda base. Diferentemente de sistemas de rádio convencionais, o transmissor UWB produz um pulso no domínio do tempo de curta duração, capaz de propagar-se sem necessidade de uma portadora adicional [8]. Significa que os dados não são modulados por uma forma de onda contínua com uma frequência de portadora específica. A transmissão sem portadora necessita de menos circuitos de radiofrequência em relação a transmissão com portadora. Por esta razão, a arquitetura do transceptor UWB é mais simples e torna sua implementação mais econômica. A Figura 2.7 ilustra os diagramas de

bloco típicos de sistemas de banda estreita com portadora e de sistemas UWB. A

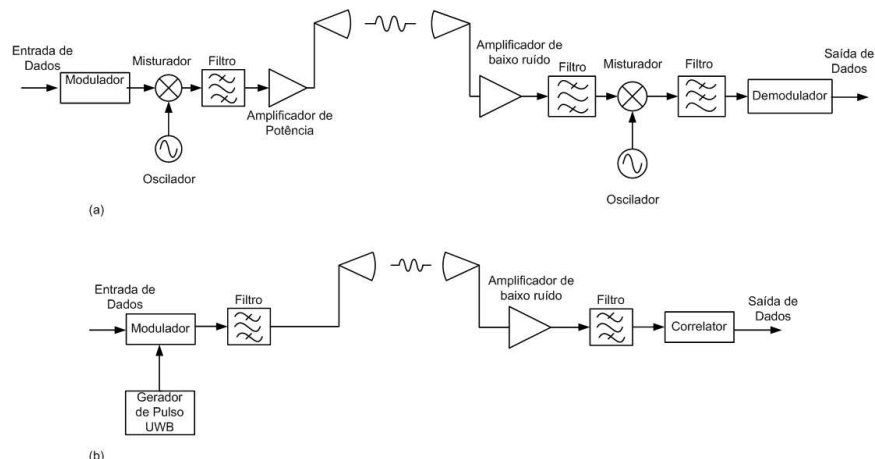


Figura 2.7: Em a) arquitetura de transceptores de banda estreita e em b) UWB.

transmissão dos pulsos com baixa potência elimina a necessidade de um amplificador de potência nos transmissores, evitando, distorções não-lineares no formato do pulso. A transmissão UWB é realizada sem portadora, não havendo necessidade de misturadores e osciladores locais para alocar a frequência de portadora à banda de frequência necessitada. Conseqüentemente, não há necessidade de uma etapa de recuperação da portadora no receptor.

2.4 Desvantagens e desafios dos sistemas UWB

A tecnologia UWB não apresenta só vantagens. Há muitos desafios a serem superados devido ao fato de ser um sistema de comunicações que utiliza pulsos com duração de nanossegundos. As principais dificuldades apresentadas são discutidas a seguir.

2.4.1 Distorção na forma de onda do pulso

A principal distorção é proveniente das características temporal dos pulsos UWB, a curta duração do pulso, o qual difere dos sinais senoidais utilizados nas trans-

missões de banda estreita convencionais. Esta distorção pode ser compreendida matematicamente com a utilização da fórmula de transmissão Friis [11],

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{c}{4\pi df} \right)^2 \quad (2.3)$$

onde P_r e P_t são as potências dos sinais recebido e transmitido respectivamente, G_t e G_r são os ganhos das antenas do transmissor e receptor, c é a velocidade da luz no vácuo, d é a distância entre o transmissor e o receptor e f é a frequência de sinal.

Em (2.3) a potência do sinal recebido é inversamente proporcional ao quadrado da frequência do sinal. Este fenômeno é quase imperceptível em sinais de banda estreita, onde ocorre uma alteração mínima na potência do sinal recebido em relação à frequência de operação. Como uma grande faixa de frequência é coberta pelo espectro de sinais UWB, a potência recebida em cada frequência modifica-se drasticamente, ocorrendo distorções no formato do pulso com limitações no desempenho de receptores [2].

2.4.2 Estimativa da resposta em frequência do canal

A estimativa do canal é um requisito importante no projeto do receptor em sistemas de comunicações. Como não é possível prever a resposta em frequência para todos os canais existentes, é importante usar seqüências de treinamento para estimar os parâmetros do canal, como atenuações, atrasos de percursos e de propagação. Em sistemas UWB, a maior parte dos receptores correlacionam o sinal recebido com um sinal padrão. O conhecimento prévio dos parâmetros do canal comunicação torna-se necessário para estimar a forma padrão do pulso recebido para ser comparado com o sinal recebido. Em decorrência da extensa largura de faixa e energia reduzida, os pulsos UWB sofrem severas distorções e a estimativa do canal torna-se uma tarefa árdua e complicada [10].

2.4.3 Sincronização em alta frequência

Como qualquer outro sistema de comunicações sem fio, o sincronismo entre o receptor e o transmissor é complexo e impõem limitações no projeto de sistemas UWB em decorrência da amostragem e sincronização de pulsos serem da ordem de nanossegundos. A limitação de potência torna os sistemas UWB sensíveis a erros de *jitter* e *drift* [10].

2.4.4 Interferência de múltiplos acessos

Em um sistema de comunicações de múltiplo acesso, diferentes usuários ou dispositivos enviam informações independentes e concorrentes em um meio de transmissão compartilhado. Na recepção, um ou vários receptores devem ser capazes de separar os usuários e detectar a informação de cada usuário. A interferência de outros usuários em um usuário é chamada de interferência de múltiplos acessos (*Multiple Access Interference* - MAI). É um fator restritivo na canalização, capacidade e realização de receptores em sistemas sem fio de múltiplo acesso.

2.5 Aplicações UWB

A tecnologia UWB contribui para indústria das comunicações sem fios permitindo novas aplicações e a integração com sistemas de comunicações sem fios existentes. As aplicações em comunicações sem fio podem ser classificadas em duas áreas: com baixa ou alta taxas de dados. A alta taxa de dados e o baixo consumo de potência impulsionam a promessa de uma larga variedade de aplicações nos setores comerciais e industriais. Isto condiz com as inúmeras aplicações dos setores militares e aplicações em sistemas de radares [12].

2.5.1 Aplicações com baixa taxa de dados

A aplicação com baixa taxa de dados pode ser em dispositivos para inspeção das áreas de difícil acesso, pela distribuição das redes de sensores [13]. O consumo extremamente baixo de energia permite que dispositivos que operem com bateria tenham uma vida útil maior.

O comportamento inerente ao ruído em sistemas UWB viabiliza sistemas robustos de segurança com baixo custo e consumo de energia. Estas características são essenciais, não somente para sistemas de alarme tradicionais de segurança, mas também para as redes sem fio.

Posicionamento com precisão anteriormente não alcançada, rastreamento e técnicas de medição de distância são soluções para ambientes internos que utilizam aproximações com dispositivos de infravermelho ou ultra-sônico. O infravermelho necessita de uma linha de propagação de visada direta que não pode ser garantida sempre e o ultra-sônico tem a desvantagem da propagação limitada. A tecnologia de rádio UWB pode preencher esta fenda entre exigência e confiabilidade para necessidades industriais.

2.5.2 Aplicações com alta taxa de dados

As aplicações para altas de taxas de dados da tecnologia sem fio UWB têm inicialmente atraído muito a atenção, de forma que muitas das aplicações são ajustadas ao mercado consumidor em geral. Implicando no alto interesse da indústria no desenvolvimento da tecnologia, dos padrões e a regulamentação.

O acesso a internet e serviços de multimídias em ambientes como casas, escritórios, indústrias requerem taxas de dados cada vez maiores, para atender uma demanda de altas taxas de dados ou alto números de usuários ou ambos.

Interfaces e periféricos sem fio abrangem um número crescente de dispositivos (laptop, celulares, PDA, headset, etc) para atender a necessidade cada vez maior de mobilidade. A interconexão sem fio padronizada se torna altamente desejável

para substituir os cabos e fios que unem os dispositivos atuais. Entretanto, as soluções sem fio neste contexto serão atrativas, principalmente, para dispositivos movidos a baterias sem a necessidade de uma fonte de alimentação externa.

Os serviços de localização via sistema UWB pode fornecer ao usuário sua localização precisa, em qualquer lugar a qualquer tempo, por exemplo, posição de serviços e atrativos em museus, exposições ou shopping centers. A tecnologia UWB pode ser usada para acomodar técnicas de posicionamento e transmissão de dados em um único sistema de operação.

Uma das áreas de aplicações comerciais mais atraentes da tecnologia UWB é a conectividade sem fio de sistemas eletrônicos de uso doméstico. De forma que muitos fabricantes da indústria de eletrônicos estão investigando a tecnologia UWB como um meio sem fio de unir conjuntos dispositivos, tais como televisores, tocadores de DVD e Blu-Ray, video games, câmaras de vídeo e sistemas de som. Isto é especialmente importante quando consideramos a taxa de bits necessária para a televisão de alta definição que é maior do que 19 MB/s.

Capítulo 3

A Técnica DN_Ax

3.1 Introdução

A busca para alcançar níveis tecnológicos mais elevados para o desenvolvimento produz a necessidade de criar novas ferramentas e novos conhecimentos nas fronteiras da matemática. Permite criar, representar e manipular sinais simples, complexos, periódicos ou não, usando um conceito simples e flexível. Devido estas a técnica pode vir a ser muito útil em diversas áreas, como exemplo:

- O pulso retangular possui uma representação matemática, dada por

$$q(t) = \begin{cases} 1, \text{ se } t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0, \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (3.1)$$

o que acarretava na indefinição de valores nas transições. Através da técnica DN_Ax, será representado por uma expressão matemática, contínua no tempo.

- Na criação de equações que representam sinais que ainda não possuem representação matemática definida, como por exemplo, sinais biológicos e outros existentes.
- Na criação de wavelets mães e suas derivadas, que servem de função de transformação para a transformada Wavelet.

Esses e outros fatores fazem desta técnica promissora e útil para diversas aplicações.

3.2 Teoria fundamental

O ponto de partida para o desenvolvimento do pulso DN_Ax é através da razão entre dois polinômios, $P_D(x)$ e $P_N(x)$, respectivamente definidos por [3]:

$$P_D(x) = 1 + (ax)^{2n} \quad (3.2)$$

$$P_N(x) = 1 - (ax)^{2n} \quad (3.3)$$

onde $n \in N^*$.

As Figuras 3.1(a) e 3.1(b) ilustram os pulsos gerados através do uso dos polinômios dados por (3.2) e (3.3), usando diversos valores de n para $a = 1$. Quanto maior o valor de n , mais acentuada será a variação da amplitude do polinômio nas proximidades do ponto para $x = \pm 1$.

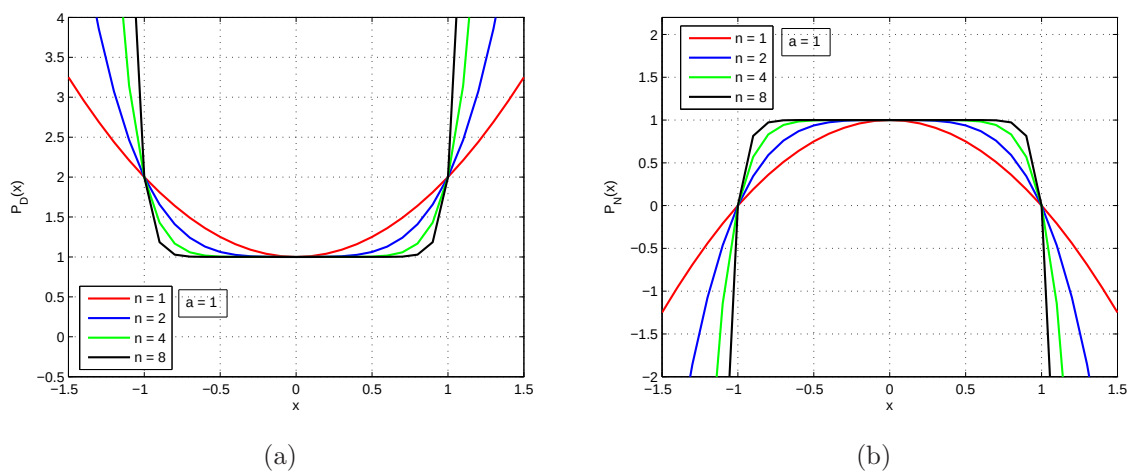


Figura 3.1: Gráficos dos polinômios $P_D(x)$ e $P_N(x)$.

3.3 Formato básico da equação DNAX

A forma básica da equação DNAX foi desenvolvida a partir da divisão dos polinômios P_N e P_D , o que resulta em

$$y(x) = \frac{P_N(x)}{P_D(x)} = \frac{1 - (ax)^{2n}}{1 + (ax)^{2n}} \quad (3.4)$$

Esta equação representa um pulso contínuo centrado na origem dos eixos com tempo de transições e largura variando em função dos parâmetros n e a . O parâmetro a define os pontos onde o valor instantâneo do sinal passa pelo zero, $P_e(-1/a, 0)$ e $P_d(1/a, 0)$, denominados de limites esquerdo e direito do pulso, respectivamente, conforme ilustram as Figuras 3.2(a) e (b). O tempo de transição dos pulsos, idêntico na subida e descida, é dado por:

$$t_s = \frac{1}{a \cdot n} \quad (3.5)$$

e depende dos parâmetros a e n . Na prática, como o parâmetro a já está definindo, a largura do pulso, cabe ao n a função de ajustar os tempos de transições, os quais aproximam-se de zero à medida que $n \rightarrow \infty$, como ilustrado na Figura 3.2(a).

A largura do pulso W , também chamada de largura da janela operacional, é dada por

$$W = \frac{2}{a} \quad (3.6)$$

conforme pode ser visto na Figura 3.2(b).

3.4 Forma geral da equação DNAX

Após algumas manipulações na equação básica dada em (3.4), obtém-se a equação DNAX na forma generalizada

$$y(x) = \frac{f(x) - (ax)^{2n}}{1 + (ax)^{2n}}, \quad (3.7)$$

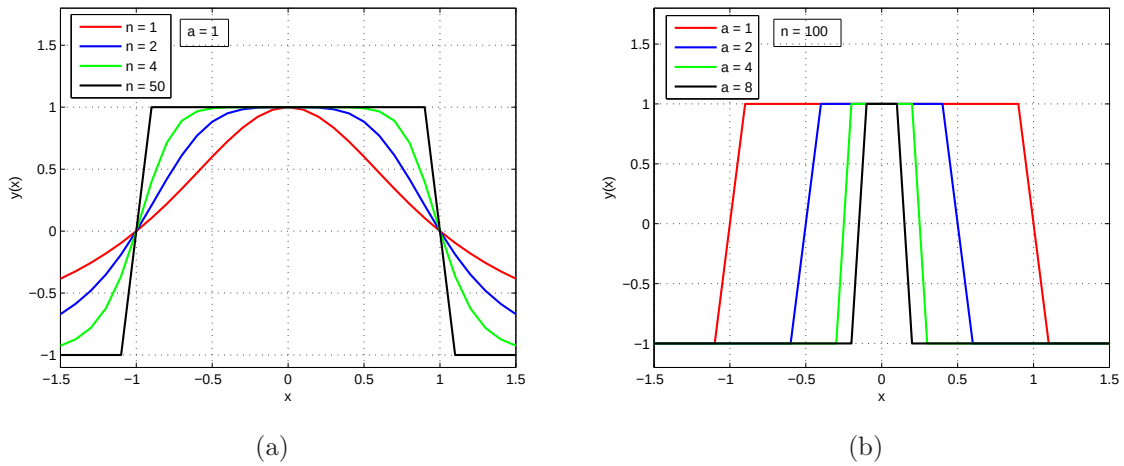


Figura 3.2: Gráficos de $y(x)$ em função de a e n .

a qual agrega uma função $f(x)$ arbitrária. Existem três formas gerais definidas em [3],[14]-[15], dadas por

$$y_a(x) = [f(x) + (ax)^{2n}]^{[1-(ax)^{2n}]} \quad (3.8)$$

$$y_b(x) = [1 + (ax)^{2n}]^{[1-(ax)^{2n}]} \quad (3.9)$$

$$y_c(x) = [f(x) + (ax)^{2n}]^{[-(ax)^{2n}]} \quad (3.10)$$

Estas pequenas variações entre as equações torna uma mais apropriada que a outra, dependendo da aplicação.

3.4.1 Função arbitrária $f(x)$

O emprego das equações (3.7), (3.8) e (3.10) tem como característica representar funções arbitrárias dentro de sua janela de operação dada por (3.6). As Figuras 3.3(a) e 3.3(b) representam (3.7) para $a = 1$, $n = 50$ e $f(x) = 1 + 0.2\cos(2\pi x)$ e $f(x) = 1$, respectivamente, mostrando que qualquer função arbitrária $f(x)$ pode ser representada dentro da janela operacional. Este procedimento é análogo a

operação de janelamento temporal.

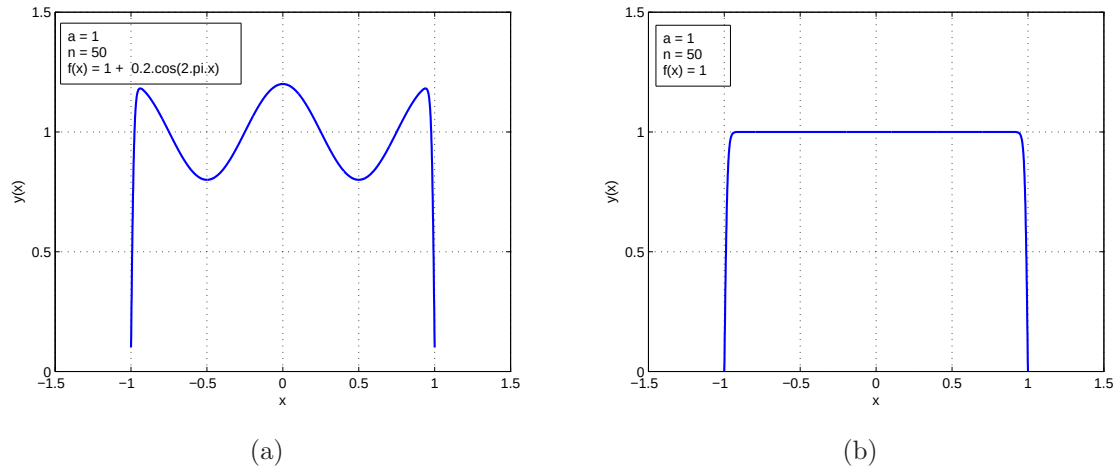


Figura 3.3: Gráficos de $y(x)$ em função de $f(x)$.

3.4.2 Função base x da equação DNAX

Cada pulso é gerado em função de x , função base do pulso DNAX, o pico de cada pulso é centralizado no instante em que função base atinge seu menor valor em módulo. As Figuras 3.4(a) e 3.4(b) representam pulsos DNAX que foram gerados usando rampas com inclinações diferentes como função base e $f(x) = 1$.

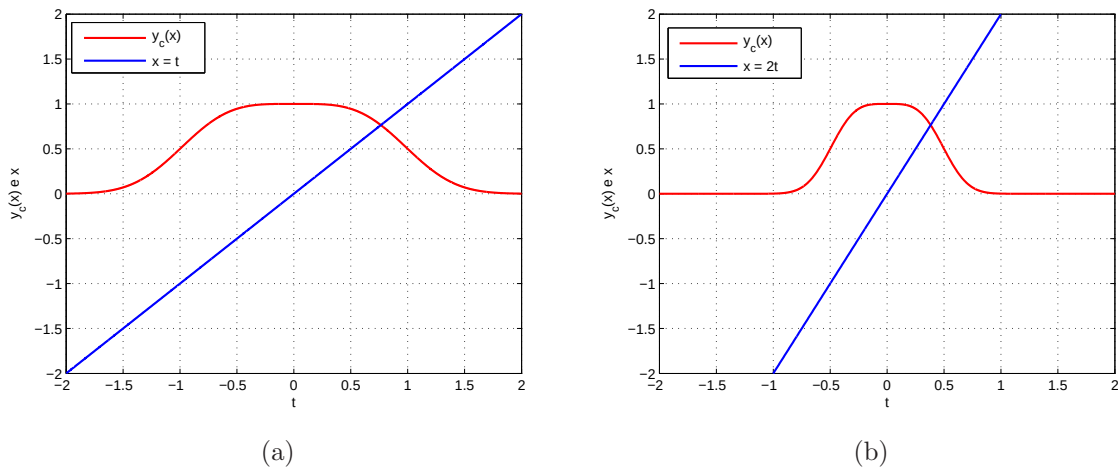


Figura 3.4: Representação de (3.10) para $f(x) = 1$ e função base x variando linearmente com diferentes inclinações.

Outras funções podem servir de função base para gerar os pulsos DNAX. A Figura 3.5 ilustra um pulso DNAX sendo gerado usando um cosseno como função base. Neste caso, vários pulsos DNAX foram gerados porque a função base é periódica.

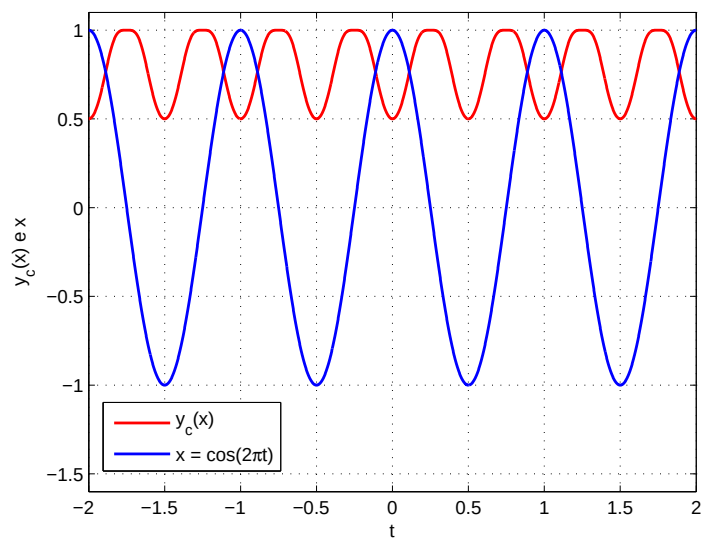


Figura 3.5: Representação de 3.9 para para $f(x) = 1$, $a = 1$ e $n = 1$ e a função base x variando em função de um cosseno.

Capítulo 4

Geração de pulsos para sistemas UWB

Uma das questões mais importantes em sistemas de comunicações está na representação de uma mensagem ou símbolo por uma forma de onda para transmissão em um canal. Nos sistemas UWB, a forma de onda é um pulso irradiado diretamente no ar [10], sem a necessidade de portadoras. Em média, esses pulsos têm tempo de duração inferior 1 ns, resultando em uma largura de faixa acima de 1 GHz.

Neste capítulo serão apresentadas as tradicionais formas de ondas dos pulsos utilizados e faz-se uma revisão bibliográfica das tecnologias existentes para a geração destes pulsos.

4.1 Introdução

No desenvolvimento dos sistemas de radiocomunicação, as portadoras senoidais difundiram-se de maneira generalizada. Entretanto os primeiros sistemas de comunicações foram baseados na transmissão de pulsos, gerados por descargas entre eletrodos de carbono, como demonstrado primeiramente no experimento de Hienrich Hertz e, posteriormente, aperfeiçoado por Guglielmo Marconi. Hoje, esses

pulsos eletromagnéticos seriam chamados de ruído colorido.

O incentivo à utilização de ondas senoidais foi resultado da necessidade de realizar várias transmissões ao mesmo tempo, mas com seletividade na transmissão e recepção, de maneira que as transmissões por pulsos se tornaram cada vez mais restringidas perante as limitações tecnológicas da época. Esta necessidade do uso otimizado do espectro conduziu ao desenvolvimento de transmissores e receptores à base de osciladores senoidais. Desta forma, seguiram-se práticas comuns de regulamentações, levando a definição de faixas de frequências e padrões para vários serviços de rádio usando portadoras senoidais.

Os sistemas UWB só utilizam formas de ondas não senoidais, as quais devem ter certas propriedades quanto a sua transmissão, com relação a potência e o formato do espectro de frequência produzido. As emissões em sistemas UWB são estabelecidas pela regulamentação 47CFR seção 15.5(d) da FCC [16], que afirma que irradiações intencionais que produzem emissões da classe B (ondas amortecidas) são proibidas, em decorrências das características deste tipo de ondas.

Várias formas de ondas não amortecidas são propostas na literatura que descrevem sistemas UWB, como as Gaussianas, Rayleigh, Laplacianas, cúbicas e os monociclos Hermetianos modificado [10]. Em todas estas formas de onda o objetivo é obter um espectro plano de transmissão sobre a largura de faixa do pulso.

4.1.1 Ondas senoidais amortecidas

A forma de onda do tipo seno amortecido é descrita como [17]

$$y_a(t) = Ae^{-\lambda t} \sin(2\pi f_o t) \quad (4.1)$$

onde A é uma amplitude arbitrária, λ é o coeficiente de decaimento exponencial, f_o é a frequência de oscilação da onda senoidal e $t \geq 0$. A Figura 4.1(a) ilustra a forma de onda de um seno amortecido descrita por (4.1).

A eficiência da largura de faixa, ϵ_ω , de uma certa forma de onda é definida

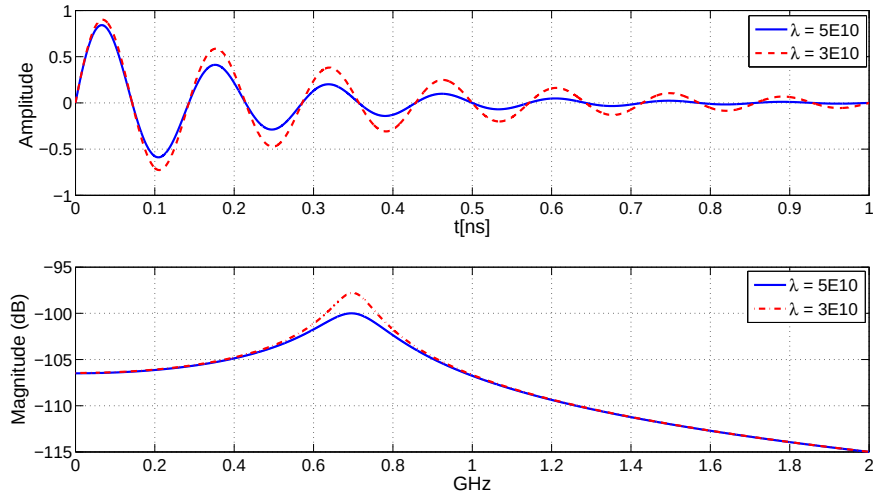


Figura 4.1: a) Forma de onda de um seno amortecido e b) Magnitude da transformada de Fourier.

como

$$\epsilon_{\omega} = f_h - f_l \quad (4.2)$$

onde f_l e f_h são as frequências medidas nos pontos de -3 dB. A Figura 4.1(b) ilustra a magnitude do espectro em frequência de (4.1), mostrando que uma forma de onda oscilante amortecida produz uma pequena eficiência de largura de faixa e uma concentração de energia próximo à frequência central com formato de um pico agudo. Para o sinal senoidal apresentado, a Tabela 4.1 mostra os valores da eficiência da largura de faixa e os pontos de -3 dB.

Tabela 4.1: Características do pulso $y_a(t)$.

λ (s^{-1})	f_l (GHz)	f_h (GHz)	ϵ_{ω} (GHz)
$5 \cdot 10^9$	5,385	8,236	2,851
$3 \cdot 10^9$	2,851	7,750	1,525

Isto entra em contradição com as especificações dos formatos das formas de onda do espectro permitidos pela FCC e outros órgãos reguladores [16]. As formas de ondas amortecidas oscilantes não podem ser usadas em sistemas UWB devido à concentração de energia em uma pequena faixa do espectro, fato que pode causar sérias interferências com os sistemas de comunicações existentes. Não

se pode esquecer que uma das premissas dos sistemas UWB é a coexistência e o compartilhamento das frequências com os outros sistemas convencionais existentes. Desta forma, a modelagem e a escolha da forma de onda são questões importantes a serem consideradas nos projetos para UWB.

4.1.2 Pulso gaussiano

Dentre as formas de ondas dos pulsos que podem ser aplicadas na transmissão de sistemas UWB, os pulsos Gaussianos são os mais explorados. Isto é devido às características no domínio da frequência que possibilitam sua utilização dentro das especificações impostas pela tecnologia UWB. As formas de ondas Gaussianas são caracterizadas por uma definição matemática similar à função de Gauss [18]. A função de Gauss com média zero é descrita por

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (4.3)$$

onde σ é o desvio padrão que controla a largura do pulso. A base destas formas de ondas Gaussianas é um pulso Gaussiano dado por

$$G1(t) = K_1 e^{-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (4.4)$$

onde σ é o fator de escala temporal e K_1 é uma constante. Outras formas de ondas podem ser obtidas através de uma filtragem passa-altas do pulso original no domínio do tempo. O resultado desta filtragem é equivalente ao da derivada temporal de (4.4) [10]. Por exemplo, o pulso monociclo Gaussiano é a primeira derivada do pulso Gaussiano e sua equação é dada por

$$G2(t) = K_2 \frac{-2t}{\sigma^2} e^{-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (4.5)$$

onde K_2 é uma constante. Um pulso monociclo Gaussiano tem um único cruzamento por zero. O processo de derivação produz cruzamentos por zero adicionais. Se o valor de σ permanecer fixo, tomando uma derivada adicional, ocorre a diminuição da largura de faixa fracionária, enquanto a frequência central aumenta de valor.

Um pulso *Doublet* gaussiano é obtido pela segunda derivada de (4.4) que resulta em

$$G3(t) = K_3 \frac{-2}{\sigma^2} \left(1 - \frac{2t^2}{\sigma^2} \right) e^{-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2} \quad (4.6)$$

onde K_3 é uma constante. As Figuras 4.2 (a) e (b) ilustram os pulsos gaussiano, monociclo gaussiano e o *Doublet* gaussiano, respectivamente, no domínio do tempo e da frequência. Em todas as três formas de ondas representadas, adotou-se $\sigma = 50$ ps, para observar a diminuição da largura de faixa fracionária e o respectivo aumento da frequência central.

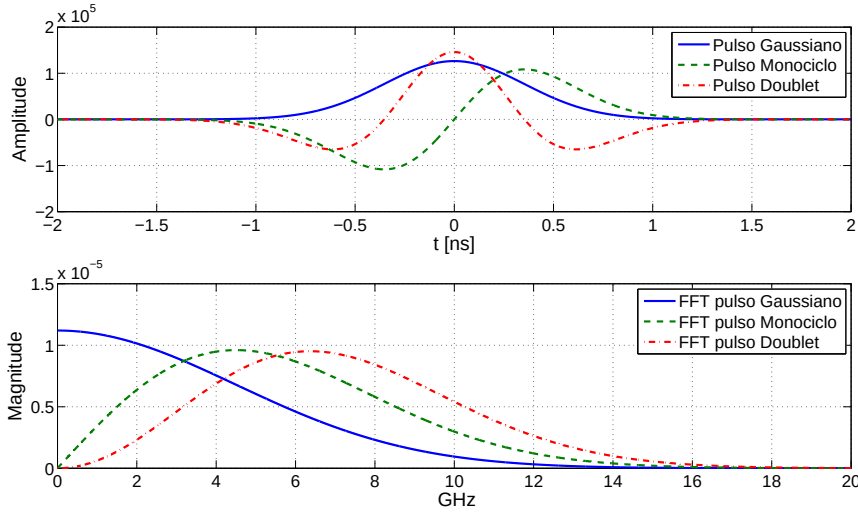


Figura 4.2: Os três pulsos Gaussianos no tempo e na frequência, para $\sigma = 50$ ps.

A largura de faixa de cada um dos pulsos é calculada considerando o ponto de -3 dB, para título de comparação com a forma de onda do seno amortecido analisado no item anterior dado por (4.1). Mas a largura de faixa de formas de onda utilizadas em sistemas UWB são medidas nos pontos de -10 dB [4].

Para o cálculo da largura de faixa é necessário calcular as constantes K_1 , K_2 e K_3 das equações (4.4), (4.5) e (4.6) para normalizar a energia dos pulsos Gaussianos. Usando a definição padrão,

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} y_g(t) dt \quad (4.7)$$

as energias E_1 , E_2 e E_3 , dos sinais $y_{g1}(t)$, $y_{g2}(t)$ e $y_{g3}(t)$, respectivamente, são iguais a:

$$E_1 = K_1^2 \sigma \sqrt{\pi/2} \quad (4.8)$$

Portanto, o resultado obtido para K_1 , em função da energia do pulso, é

$$K_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\sigma \sqrt{\pi/2}}} \quad (4.9)$$

Com um desenvolvimento semelhante, obtêm-se os valores de K_2 e K_3 :

$$K_2 = \sqrt{\frac{\sigma E_2}{\sqrt{\pi/2}}} \quad (4.10)$$

$$K_3 = 3 \sqrt{\frac{\sigma E_3}{3 \sqrt{\pi/2}}} \quad (4.11)$$

Desta forma, as larguras de faixa das três formas de ondas podem ser calculadas. As energias dos pulsos foram consideradas unitárias, o que produz as formas de ondas das Figuras 4.2 a) e b) e as larguras de faixa dos pulsos são apresentadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2: *Largura de faixa dos pulsos $y_{g1}(t)$, $y_{g2}(t)$ e $y_{g3}(t)$.*

Pulso	f_l (GHz)	f_h (GHz)	BW (GHz)
$G1(t)$	0,000	5,288	5,288
$G2(t)$	1,436	8,644	7,208
$G3(t)$	3,071	10,410	7,339

De acordo com a Tabela 4.3, fica evidente a diferença entre as larguras de

faixas proporcionadas pelas ondas Gaussianas em relação a formas de onda do seno amortecido. Também é evidente o aspecto do decaimento e o formato das formas de ondas, como evidenciado nas Figuras 4.1 e 4.2.

Tabela 4.3: *Largura de faixa dos pulsos Gaussianos e do seno amortecido.*

Pulso	σ ou λ	ϵ_ω (GHz)
$G1(t)$	$\sigma = 50$ ps	5,288
$G2(t)$	$\sigma = 50$ ps	7,208
$G3(t)$	$\sigma = 50$ ps	7,339
$y_a(t)$	$\lambda = 5 \cdot 10^9$ 1/s	2,851
$y_a(t)$	$\lambda = 3 \cdot 10^9$ 1/s	1,525

4.2 Métodos para geração de pulsos UWB

O UWB é considerado uma tecnologia de espalhamento espectral, mas difere na forma em que a informação é transmitida, pois emprega pulsos curtos em vez de transmitir um sinal modulado por uma portadora contínua. A informação transmitida por sistemas UWB utilizam métodos de modulação por pulsos, por proporcionar maior eficiência na recepção dos sinais [6].

Algumas arquiteturas utilizadas possuem uma estrutura relativamente simples, não sendo necessárias algumas partes complexas, como as que compõem os sistemas tradicionais com portadoras [1]. Uma das partes considerada crítica de um sistema de transmissão empregando a tecnologia UWB é o gerador de pulsos, responsável pelas formas de ondas transmitidas e pela amostra da forma de onda utilizada no receptor. Avaliar a forma do pulso e o método para gerá-lo de acordo com especificações dos órgãos reguladores torna-se a forma mais eficiente no desenvolvimento e projetos de sistemas de transmissão e recepção. Assim, serão examinadas algumas características da arquitetura UWB, bem como os métodos para a geração de pulsos.

4.2.1 Arquitetura básica de sistemas UWB

Uma definição para a tecnologia UWB é sua interpretação como um sistema de rádio por impulsos de baixa potência para sistemas de comunicações digitais de curto alcance, utilizando TH-PPM (*Time Hopping-Pulse Position Modulation*). O diagrama de bloco do transmissor consiste em um gerador de pulsos e um circuito digital temporizador que controla o tempo de transmissão dos dados. A Figura 4.3 ilustra o diagrama de blocos de um transmissor típico.

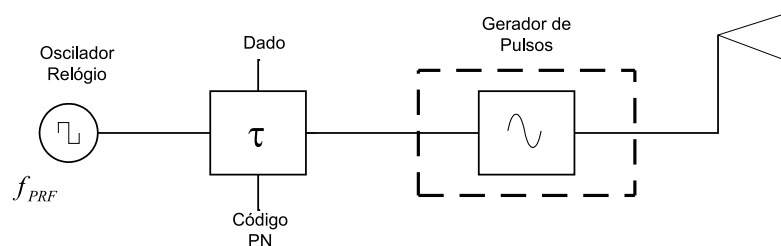


Figura 4.3: Bloco esquemático genérico de um transmissor UWB.

O símbolo τ corresponde ao circuito de temporização responsável pelo código PN (*Pseudo-random Noise*) e a PPM, do qual provém um sinal de sincronismo com o gerador de pulsos. Em algumas representações, o circuito de temporização é substituído por um atraso programável [19]. A frequência de repetição dos pulsos PRF (*Pulse Repetition Frequency*) é determinada pelo relógio (*clock*) do sistema. O gerador de pulsos produz as formas de ondas desejadas e pode ser construído de inúmeras formas.

Um dos benefícios dos transmissores UWB em relação aos transmissores de onda contínua é que não há a necessidade de circuitos complexos, como amplificadores de potência (dependendo da aplicação) e sintetizadores de frequências, que contém circuitos como PLL (*Phase Locked Loop*), VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) e misturadores [9], [20]. Em qualquer transmissor convencional há a

necessidade destes componentes o que torna difícil e oneroso o projeto desses equipamentos. Em contraste, os transmissores UWB são relativamente baratos e com certa facilidade de serem projetados, pelo fato de não necessitarem destes componentes mais complexos.

Um receptor comumente utilizado para a transmissão de sinais em canais AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) é um correlator ou um receptor de filtro casado, em função do seu desempenho na obtenção da máxima relação sinal-ruído SNR (*Signal Noise Ratio*) [21]. A arquitetura básica de receptor UWB consiste de um amplificador de baixo ruído (LNA), um circuito correlator e um circuito que fornece uma amostra da forma de onda para a correlação como o sinal recebido. O diagrama de blocos está representado na Figura 4.4.

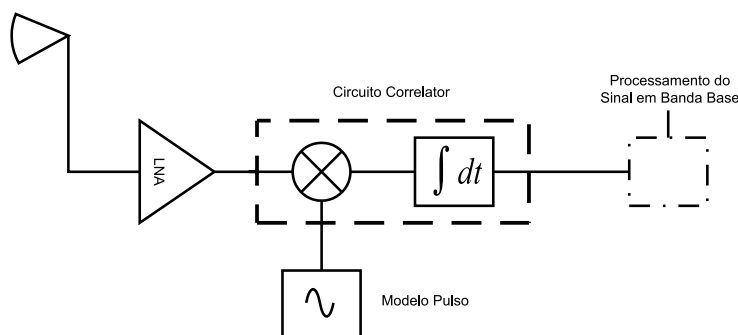


Figura 4.4: Bloco esquemático de um receptor UWB.

Após o sinal ser recebido, este é amplificado e correlacionado com uma amostra da forma de onda gerada no receptor. Na saída do correlator o sinal é processado por um circuito de decisão de símbolo que decodifica os *bits* transportados pelo pulso UWB, decisão atribuída ao processador de sinais em banda base (BPS) [1].

O máximo ganho de processamento e máxima SNR, a forma de onda do pulso gerado no receptor deve ser igual à recebida. Na prática, esse sinal é de difícil geração, dado que o pulso é distorcido tanto pela antena transmissora quanto pela de recepção e pelo canal de transmissão. A necessidade de tornar a forma de onda do pulso gerado no receptor igual a do sinal recebido torna o circuito de

recepção mais complexo. Uma maneira de evitar essa complexidade é fazer uma aproximação da forma de onda do pulso usando no transmissor ou fazer grosseiras aproximações, como um pulso retangular, por exemplo.

O circuito que executa a correlação consiste de um multiplicador e um integrador, o qual multiplica o sinal recebido com o modelo do formato do pulso gerado no receptor. O resultado é integrado ao longo de um curto intervalo de tempo, com o objetivo de maximizar a potência do sinal recebido e minimizar o ruído. Assim, o sinal correlacionado fica destacado em meio ao ruído e os possíveis sinais de interferências de outros usuários. O processo da correlação requer uma sincronização temporal exata entre o pulso recebido e o gerado no receptor, exigindo alta velocidade de comutação dos circuitos que realizam estas funções. Este é um dos maiores problemas na implementação dos sistemas UWB. Desta forma, tanto o multiplicador e integrador devem prover velocidade de operação rápida o suficiente para processar cada um dos pulsos recebidos.

4.2.2 Aproximação no formato do pulso

Em condições ideais, na escolha da transmissão do pulso Gaussiano ilustrado na Figura 4.5 (a), o pulso recebido terá a forma de onda do pulso da segunda derivada do sinal transmitido, ou seja, o pulso Doublbet ilustrado na Figura 4.5(c). Da mesma forma, ao se transmitir o pulso monociclo da Figura 4.5 (b), o pulso recebido será o pulso da terceira derivada do pulso gaussiano ilustrado na Figura 4.5 (d), uma vez que ambas as antenas atuam como um filtro passa-altas, derivando temporalmente formas de ondas dos pulsos transmitidos.

Em algumas propostas para receptores de sistemas de comunicações UWB, a amostra do pulso utilizada no receptor é uma aproximação da forma do pulso recebido [1], em decorrência das dificuldades de gerar um pulso do mesmo formato. Desta forma, são utilizadas as mesmas formas de ondas geradas no transmissor. Por exemplo, uma das formas utilizada na transmissão é o Monociclo Gaussiano.

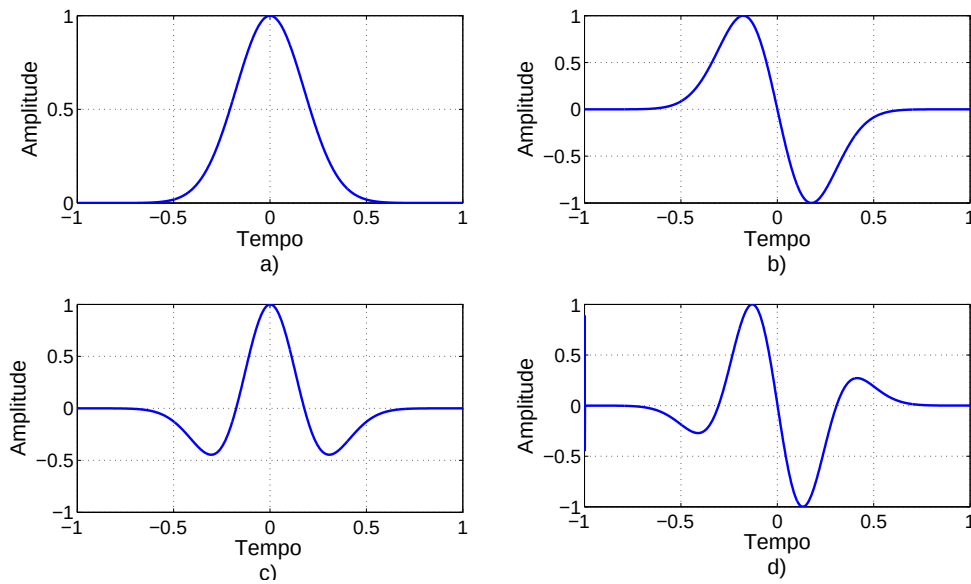


Figura 4.5: Pulsos Gaussiano e suas respectivas 1^a, 2^a e 3^a derivadas.

A correlação deste Monociclo com o pulso obtido pela sua terceira derivada resulta em um valor máximo em torno de 77,46 % da energia do pulso. A Tabela 4.4 contém os resultados das correlações entre os pulsos. Isto significa que a utilização de outra forma de onda no receptor, diferente do formato recebido leva a uma redução do desempenho do correlator, em torno de 1 dB. O resultado pode ser satisfatório nos casos em que a produção no receptor do mesmo formato do pulso recebido é uma tarefa complexa. A Figura 4.6 ilustra a autocorrelação e a correlação entre os pulsos Gaussiano, Monociclo, Doublbet e a terceira derivada do pulso Gaussiano.

Tabela 4.4: Correlação entre o pulso Gaussiano e suas respectivas derivadas.

Valores da correlação entre os pulsos				
Pulsos	G	G1	G2	G3
G	1,0000	0,6065	0,5774	0,3564
G1	0,6065	1,0000	0,7967	0,7746
G2	0,5774	0,7967	1,0000	0,8620
G3	0,3564	0,7746	0,8620	1,0000

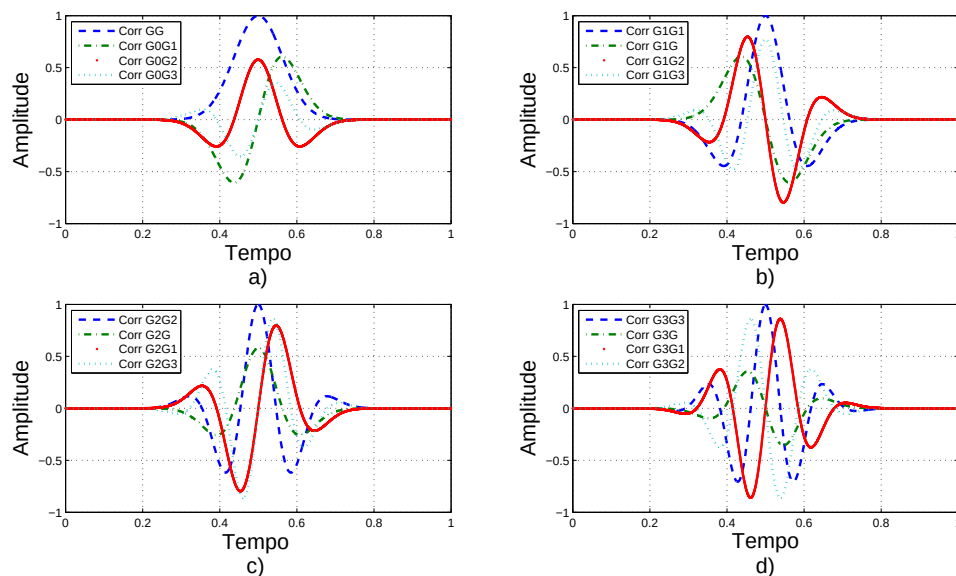


Figura 4.6: Resultado da correlação entre os pulsos Gaussiano, Monociclo, Doublet e a 3ª derivada do pulso Gaussiano.

4.3 Revisão bibliográfica sobre a geração de pulsos para UWB

O foco deste trabalho está na geração de um novo pulso utilizado em sistemas de comunicações que operem com a tecnologia UWB e, por isso, esta seção versará sobre as arquiteturas existentes para a geração de pulsos e formas de ondas utilizadas em sistemas UWB.

As informações são provenientes da literatura atual, patentes, produtos desenvolvidos por empresas e publicações. As arquiteturas são escolhidas para exemplificar as estruturas utilizadas em sistemas de comunicações UWB, com foco sobre o pulso e sua geração.

4.3.1 Transistor operando no modo avalanche

Estudos propõem a utilização de um transistor operando em modo avalanche para a geração de um pulso no formato do Monociclo Gaussiano. A geração do pulso baseia-se no funcionamento do transistor em modo avalanche [22]. Este método

de geração de pulso torna-se viável para aplicações com alta tensão e produz um pulso Monociclo com durações relativamente maiores em relação aos pulsos utilizados para transmissões de dados, sendo comumente utilizados em sistemas de radares.

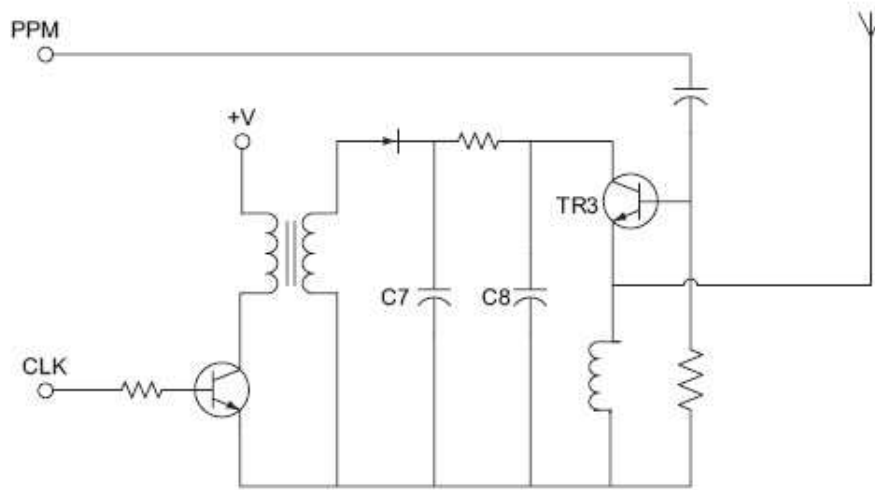


Figura 4.7: Esquemático de um circuito operando em modo avalanche.

4.3.2 Guia de ondas coplanar

Um recente método de geração de pulso é baseado na etapa recuperação do diodo SRD (*Step Recovery Diode*) em um circuito de carga e descarga de diodo Schottky [23], conforme Figura 4.8. O SDR fornece um impulso, que é filtrado por um circuito RC passa-altas. O resultado é um pulso Gaussiano, que é alimentado com um par de linhas de transmissão. O pulso gerado é dividido em dois e propaga em ambos os ramos após o capacitor C. A primeira metade do pulso propaga-se e alimenta diretamente a resistência de carga e a outra metade do pulso propaga-se em direção ao curto-circuito. As linhas de transmissão são concebidas para terem um comprimento para que o tempo de propagação da segunda metade do pulso seja igual a duração do pulso. O pulso será invertido quando refletido com o pulso do curto circuito no final de linha de transmissão. O pulso resultante gerado em toda a carga é a sobreposição dos sinais dos dois ramos. A largura do

pulso é controlada pelo SRD. Empresas como *Time Domain* e *XtremeSpectrum*

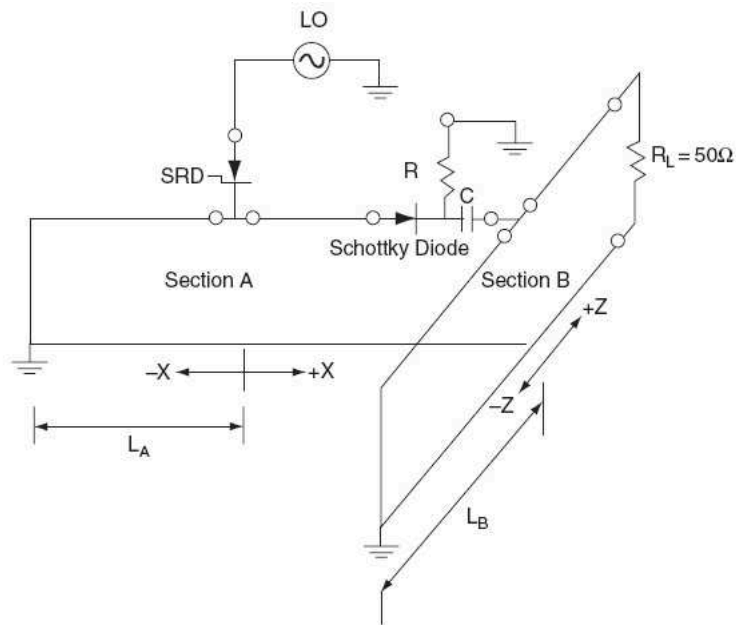


Figura 4.8: Esquemático de um gerador de pulsos Monociclos baseado em guia de ondas coplanares. Cortesia Xtreme Spectrum (www.xtremespectrum.com).

são pioneiras no campo de atuação da utilização da tecnologia UWB para o setor comercial. Ambas as empresas possuem arquiteturas próprias para os transceptores UWB, que consiste em uma interface com três partes: transmissor, receptor de rádio e controlador, projetadas por [23] e [24].

A forma de onda ou pulso gerado para estas arquiteturas são dois pulsos breves, os quais são tem duração de metade do tempo de duração do pulso desejado. Esses pulsos curtos, $S1$ e $S2$, mostrados na Figura 4.9, são combinados por uma célula Gilbert [25]-[26], utilizada como um multiplicador diferencial. Como resultado, o multiplicador produz um pulso Monociclo apresentado na Figura 4.9 pelos sinais $W1$ e $W2$, como redesenhado por [24]. A polarização do pulso Monociclo depende do bit de dados, que é a outra entrada da célula de Gilbert. Quando o *bit* de dados é zero, o Monociclo começa com amplitude negativa, e quando um, o Monociclo começa com amplitude positiva.

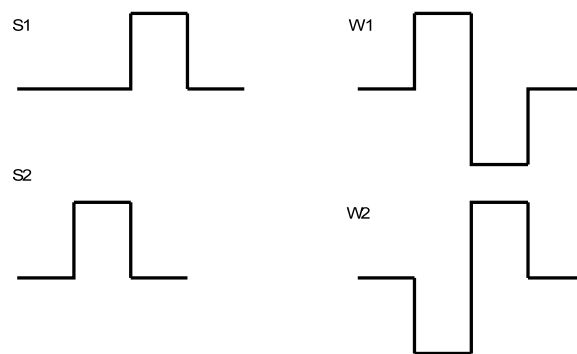


Figura 4.9: *Forma ideal dos pulsos a serem combinados por uma célula de Gilbert.*

Capítulo 5

Método para geração de pulsos UWB pela técnica DNAX

A utilização da técnica DNAX na geração de pulsos UWB é uma abordagem ainda não explorada. Com o objetivo de buscar novos desafios, novos métodos e novas propostas mais eficientes, a técnica DNAX é uma ferramenta que pode atender estas necessidades. Dois métodos serão analisados, o primeiro propõe a geração de um pulso pelo método da síntese [27] e, o segundo o método, empregando um pulso único. As propostas dos dois métodos foram validadas através de simulações com a ferramenta computacional *MATLAB*[®].

5.1 A escolha da equação DNAX

A técnica DNAX, como descrita no Capítulo 3, é definida por uma equação base que dá origem a equação DNAX na forma geral e suas variações do tipo exponencial A, B e C. Como cada uma das variações obtida através da equação DNAX base tem determinada característica e atribuições que permitem inúmeras aplicações, por exemplo, a geração de ondas senoidais com baixa distorção harmônica [3],[14]-[15].

Para a obtenção de pulsos, que possam ser utilizados na tecnologia UWB,

torna-se necessário a escolha adequada de uma das variações da equação DNAX que possibilite o emprego da técnica. Em consequência deste objetivo, é escolhida a equação exponencial tipo C. As três variações da equação DNAX são reescritas a seguir para uma melhor análise da razão pela qual foi escolhida a equação exponencial tipo C.

$$y_A(t) = [f(x) + (ax(t))^{2n}]^{[1-(ax(t))^{2n}]} \quad (5.1)$$

$$y_B(t) = [1 + (ax(t))^{2n}]^{[1-(ax(t))^{2n}]} \quad (5.2)$$

$$y_C(t) = [f(x) + (ax(t))^{2n}]^{[-(ax(t))^{2n}]} \quad (5.3)$$

As formas de ondas produzidas pelas equações exponenciais possuem formatos diferentes, considerando os mesmos valores para os parâmetros e podem ser observadas na Figura 5.1. As equações (5.1) e (5.2) diferem apenas na atribuição da função arbitrária $f(x)$ que na segunda é representada por uma constante unitária. Em (5.3) é atribuído um grau de liberdade a mesmos no expoente em relação as exponenciais tipo A e tipo B. O pulso gerado por (5.2) possui um formato que não é propício para a tecnologia UWB. O pulso produzido por (5.1) possui o mesmo formato que o gerado por (5.3) mas com amplitudes diferentes. A amplitude do pulso produzido pela tipo A fica a cargo da função arbitrária, como é mostrado na Figura 5.1, nesta as formas dos pulsos gerados são obtidas alterando os parâmetros $a = 1$, $n = 1$, $d = 0$, $f(x)$ como uma constante de valor igual a 2 e $x(t)$ uma rampa com variação de -1 a 1. Desta forma, a equação que melhor adapta-se para a síntese do pulso UWB é a do tipo C.

5.2 Geração do pulso através do método da síntese

Esta seção trata da geração de pulsos UWB pelo método da síntese de pulsos tradicionais, em sistemas UWB, a partir de múltiplas ondas quase retangulares

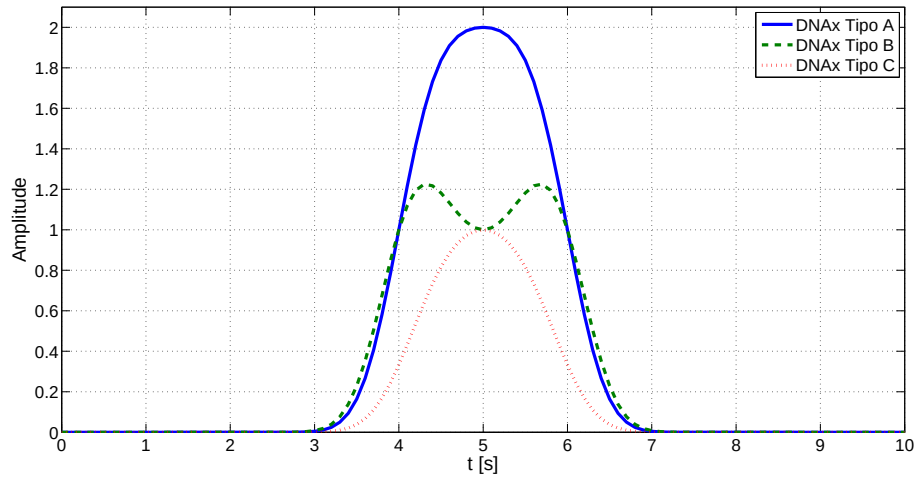


Figura 5.1: *Forma dos pulsos gerados pelas variações exponenciais tipo A, B e C da equação DNAX.*

obtidas através equação exponencial tipo C. O objetivo de gerar pulsos UWB com este procedimento é permitir controlá-los de forma mais exata e eficiente com os parâmetros concebidos pela técnica DNAX e comprovar mais uma de suas aplicações. Os pulsos gerados pela serão os pulsos Gaussiano Monociclo, Doublet e o da terceira derivada.

5.2.1 Aplicação do método

Para a síntese dos pulsos é utilizado um número de ondas básicas P , geradas pela técnica DNAX, que pode variar dependendo do formato do pulso. O deslocamento temporal d entre duas ondas quase retangulares adjacentes é constante e definido por

$$d = \frac{T_f}{4P} \quad (5.4)$$

onde T_f é o período do pulso quase retangular.

Como estabelecido com a teoria da técnica DNAX, os pulsos quase retangulares requerem uma largura específica de acordo com as suas características. Então, a síntese do pulso requer que os parâmetro a e $f(x)$ assumam valores que satisfaçam estes requisitos. O parâmetro n , como descrito no Capítulo 3, estabelece o tempo

de transição de subida e decida do pulso gerado. Quanto maior o valor atribuído a n mais abruptas são as transições. Desta forma, o valor do parâmetro n reflete diretamente na forma do pulso [14]-[15] e na distorção provocada com a somatório dos pulsos. O seu valor deve proporcionar a melhor relação entre a forma do pulso no domínio do tempo com sua resposta em frequência. A função base que dá origem ao pulso $x(t)$, em sua região de menor valor em módulo, também é responsável pela ordem de grandeza assumida pelo pulso[3], o que acarreta que suas características devem ser compatíveis com as características requeridas dos pulsos empregados nos sistemas UWB. Principalmente, no quesito tempo, dado que as transmissões UWB operam com pulsos com tempo de duração de nanossegundos [1].

O pulso desejado é obtido através de uma combinação linear de P pulsos gerados por (5.3), deslocados de $d_k = kd$ e ponderados por um coeficiente de ponderação C_k . A equação para a obtenção dos coeficientes de ponderação C_k é obtido por

$$C_k = \frac{\int_0^{T_f} g(t)y_k(t)dt}{\int_0^{T_f} y_k^2(t)dt} \quad (5.5)$$

onde $y_k(t)$ é o pulso gerado pela técnica DNAX usando (5.3) e $g(t)$ é o pulso que se deseja obter. O índice k é definido em função de P , dado por $k = [0, 1, ..., P - 1]$. Este método permite a obtenção de diversas formas de ondas do pulso [27] ou até de formas de ondas contínuas [3].

5.2.2 Determinação dos parâmetros e resultados obtidos

Esta técnica será aplicada na síntese dos pulsos conhecidos por monociclo, *doublet* e da terceira derivada do pulso gaussiano, respectivamente, dados por

$$g_{d_1}(t) = A \frac{-t}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (5.6)$$

$$g_{d_2}(t) = A \left(\frac{t^2}{\sqrt{2\pi}\sigma^5} - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma^3} \right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (5.7)$$

$$g_{d3}(t) = A \left(\frac{-8t^3}{\sqrt{2\pi}\sigma\sigma^6} + \frac{12t}{\sqrt{2\pi}\sigma\sigma^4} - \right) e^{-\frac{t^2}{2\sigma^2}} \quad (5.8)$$

Os parâmetros a , n , fx e $x(t)$ são configurados para obter um espectro em frequência compatível com um sinal UWB, semelhante aos espectros dos pulsos tradicionais.

Deste modo, a primeira atribuição é a escolha do parâmetro n , que assume valor unitário ($n = 1$) para todos os pulsos gerados pelo método da síntese. Isto em função de que quanto maior o valor atribuído a n , mais o formato do pulso produzido por 5.3 tende a um pulso retangular. O que resulta um espectro de frequência incompatível com a forma esperada para sistemas UWB [10].

A função base, geradora do pulso, é escolhida como uma rampa com 10 ns de duração com variação de amplitude entre -5 a 5 V. O valor de n , a função base e os tempos de transição para $x(t)$ são comuns para os três pulsos escolhidos. Os parâmetros a , d e $f(x)$ assumem valores diferentes para cada um dos pulsos gerados. Para estabelecer um melhor detalhamento da geração de cada um dos três pulsos, os procedimentos serão mostrados nas subseções seguintes.

5.2.3 Obtenção da terceira derivada do pulso Gaussiano

Os valores dos parâmetros são calculados usando a técnica adaptativa do MSE (minimum square error) entre os pulsos dos sinais desejado $y_d(t)$ e estimado $y_e(t)$.

Através da equação

$$MSE = \int_{t_1}^{t_2} [y_d(t) - y_e(t)]^2 dt \quad (5.9)$$

Os valores dos parâmetros são apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Valores para a síntese do pulso da 3ª derivada do pulso Gaussiano.

Parâmetros	Valores
a	0,7230
d	0,025
$f(x)$	10

O número de ondas P necessárias para síntese do pulso é $P = 8$. Por análise do pulso obtido por simulação, este foi o valor mínimo para que o pulso gerado se aproxima-se do pulso desejado. Valores maiores para P geram melhores resultados, mas com a relação de compromisso em que o número de pulsos não proporcione uma melhora tão expressiva.

O valor de P variará de acordo com o formato do pulso que se deseja obter e a sua aplicação. O critério de escolha do número de ondas necessárias foi o de sua minimização para atender os moldes estipulados pelos órgãos reguladores e evitar distorções. As simulações foram realizadas com os valores para P variando de 4 a 12, resultando para uma menor distorção para o menor número de ondas foi para $P = 8$. A Figura 5.2 ilustra as formas dos pulsos a serem gerados, pela equação DNAX variação tipo C dada por (5.3) e a função base $x(t)$ que dá origem ao pulso tipo rampa.

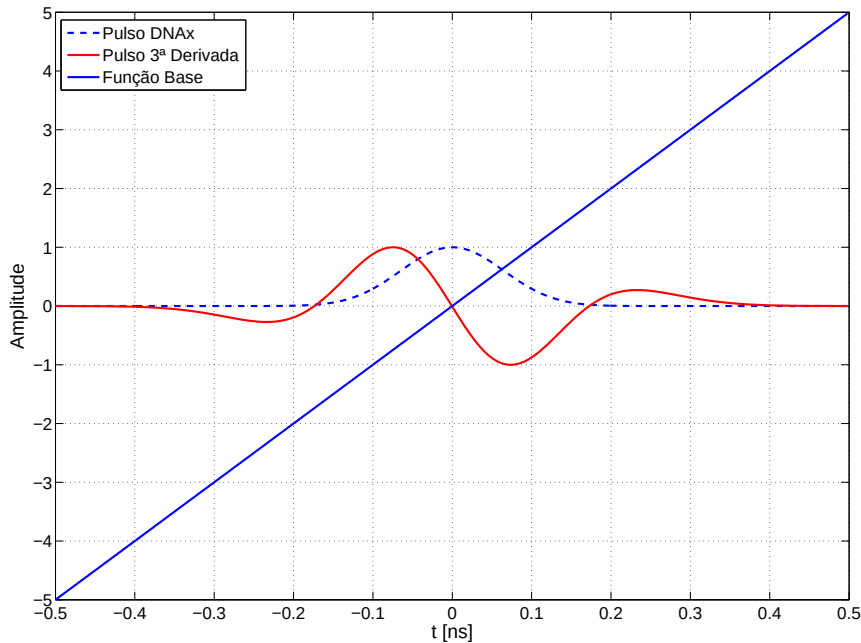


Figura 5.2: Pulsos da 3ª derivada, técnica DNAX e função base $x(t)$.

Através de cálculos realizados por (5.5), obtém-se os valores de C_k mostrados na Tabela 5.2 para $k = [0, 1, 2, \dots, 7]$.

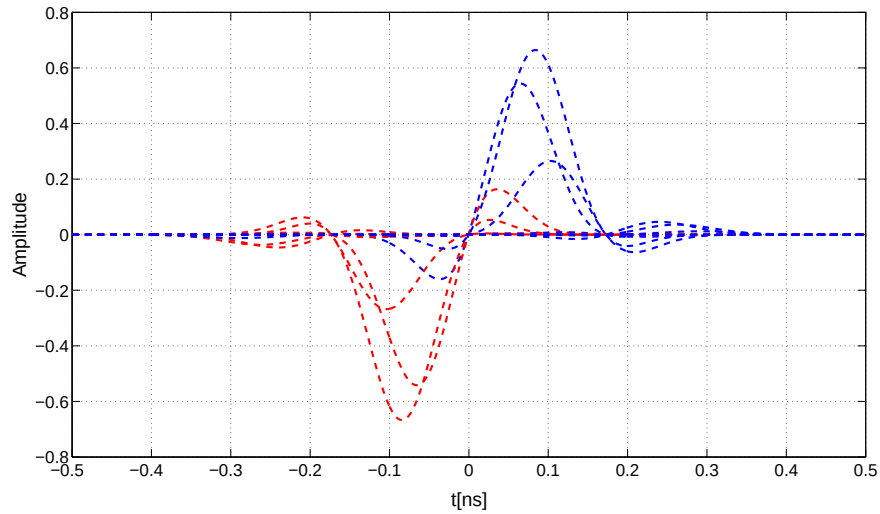
Tabela 5.2: *Valores para a síntese do pulso da 3ª derivada.*

C_k	Valores
C_0	-0,0065
C_1	-0,5672
C_2	-0,6993
C_3	-0,4084
C_4	-0,0290
C_5	0,1730
C_6	0,1818
C_7	0,1111

Os valores de C_k são utilizados para ponderar as amplitudes de cada uma das ondas DNax utilizadas na síntese do pulso descrito por (5.8). Através da equação

$$y_k(t) = C_k [(ax(t - kd))^{2n} + f(t)]^{[-(ax(t-kd))^{2n}]} \quad (5.10)$$

obtem-se as formas de ondas geradas pela técnica DNax ponderadas pelos coeficientes C_k e com deslocamento d entre dois pulso adjacentes. A Figura 5.3 ilustra as formas de onda necessárias a síntese do pulso.

**Figura 5.3:** *As formas de ondas geradas pela técnica DNax ponderadas pelo coeficiente C_k e deslocadas de kd .*

Em função da simetria da forma de onda da terceira derivada e do pulso produzido por (5.8), ilustrado na Figura 5.2, o pulso obtido pelo método da

síntese é expresso por

$$g_{DNAx}(t) = \sum_{k=0}^7 y_k(t - kd) - \sum_{k=0}^7 y_k(t + kd) \quad (5.11)$$

A aplicação de (5.11) gerará o pulso pela técnica DNAX ilustrado na Figura 5.4. Pode ser observado que está em conformidade com a representação no domínio

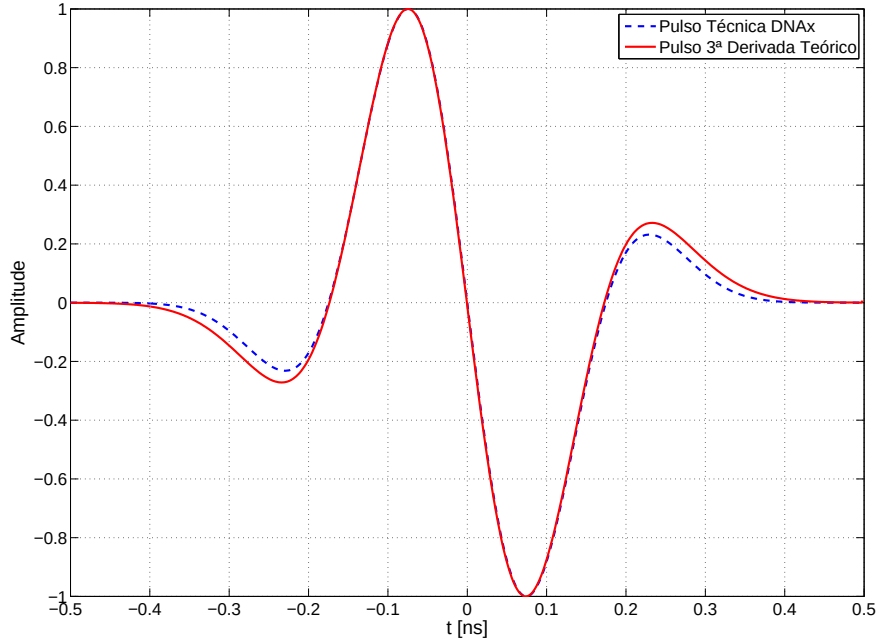


Figura 5.4: Forma do pulso sintetizado pela técnica DNAX e o pulso desejado.

do tempo da terceira derivada do pulso Gaussiano. A aplicação da transformada de Fourier do pulso produzido, para realizar a análise espectral, constata que há uma conformidade do espectro do pulso gerado com o teórico, conforme ilustrado na Figura 5.5. Deste modo, o pulso gerado apresenta um resultado satisfatório comparado com o pulso teórico, nos domínios do tempo e da frequência.

5.2.4 Obtenção do pulso *Doublet* Gaussiano

Esta subseção trata da geração do pulso Doublet Gaussiano pelo método da síntese usando o mesmo método desenvolvido na subseção 5.2.3. O pulso Doublet

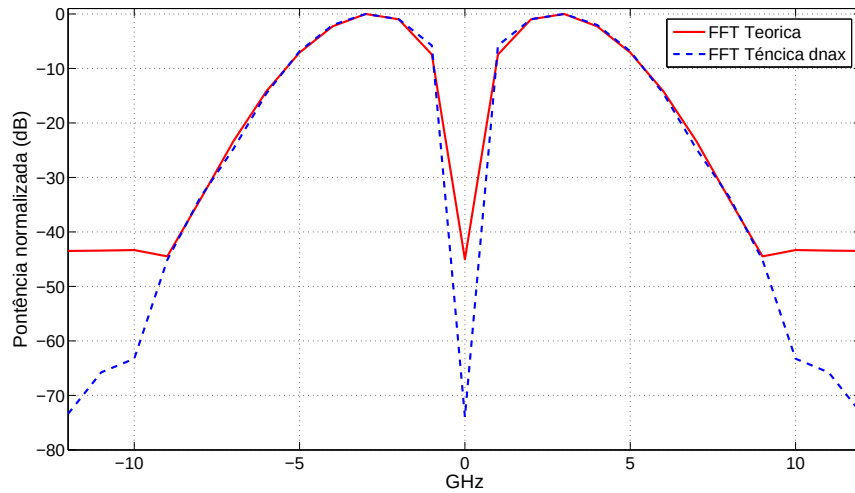


Figura 5.5: Espectro do pulso resultante e do teórico.

é descrito por (5.7). Para este procedimento, o número P de ondas estimadas através de simulações é dado por $P = 6$. O pulso Doublet também será obtido para prover uma conformidade nos domínios, do tempo e frequência. Os valores dos parâmetros que compõem a equação DNAX tipo C para este caso são dados na Tabela 5.3

Tabela 5.3: Valores dos parâmetros para a síntese do pulso Doublet Gaussiano.

Parâmetros	Valores
a	0,6283
d	0,032
$f(x)$	10

Com os parâmetros selecionados tem-se a forma de onda gerada por (5.3), ilustrada na Figura 5.6, juntamente com o pulso Doublet e a função base $x(t)$ geradora do pulso.

Após a execução dos cálculos estabelecidos por (5.5), obtém-se os valores de C_k apresentados na Tabela 5.4 para $k = [0, 1, \dots, 5]$. Os valores de C_k calculados serão utilizados para ponderar as amplitudes de cada uma das ondas utilizadas na síntese do pulso Doublet descrito por (5.7). Com a execução de (5.10) produz-se as formas de ondas geradas pela técnica DNAX ponderadas por C_k e com

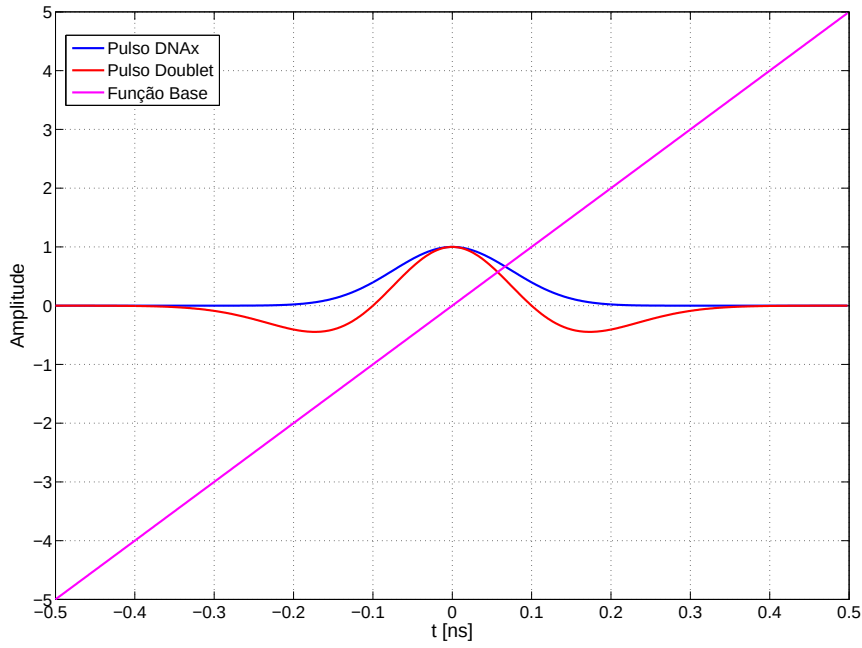


Figura 5.6: *Ilustra os dois pulsos, o gerado pela DNAX a ser usado no método da síntese e o pulso a ser obtido e a função base $x(t)$ geradora do pulso DNAX atribuído como uma rampa.*

Tabela 5.4: *Valores de C_k obtidos para a síntese do pulso Doublet Gaussiano.*

C_k	Valores
C_0	0,7422
C_1	0,5729
C_2	0,1870
C_3	-0,1668
C_4	-0,3252
C_5	-0,2987

deslocamento d entre pulsos adjacentes de acordo com a Figura 5.7

De acordo com o procedimento da subseção anterior, o pulso Doublet gerado através do método da síntese é resultado da aplicação da equação descrita por

$$g_{DNAX}(t) = \sum_{k=0}^5 y_k(t - kd) - \sum_{k=0}^5 y_k(t + kd) \quad (5.12)$$

O resultado da síntese do pulso Doublet pode ser analisado na Figura 5.8, observa-se que o pulso gerado por (5.12) apresenta um resultado que não está em plena

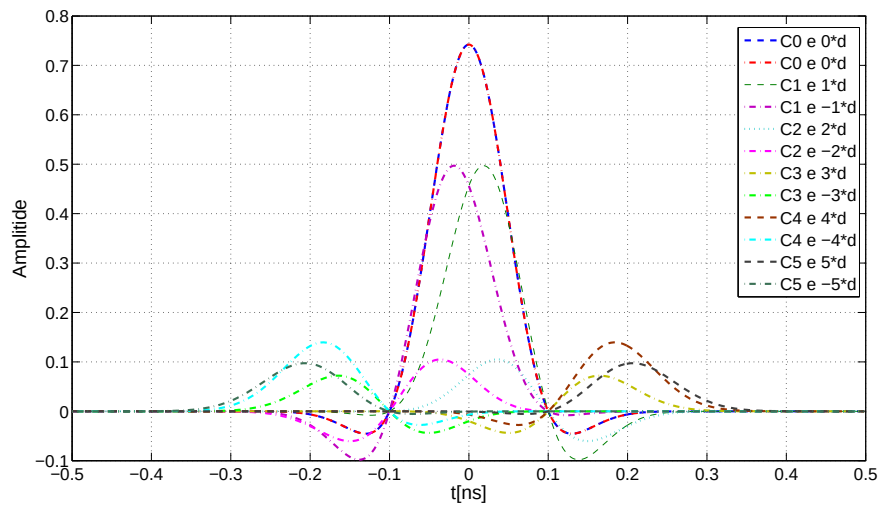


Figura 5.7: Pulsos $DNAx$ ponderados por C_k e deslocadas de kd para a geração do pulso Doublet Gaussiano.

conformidade com a forma do pulso teórico produzido por (5.7). A diferença é justificada em função da relação de compromisso entre a forma do pulso no domínio tempo e sua forma no domínio da frequência, a plena conformidade da forma do pulso com a forma do pulso teórico torna-se factível, atendendo os requisitos da forma do pulso no tempo ocasiona distorções no espectro em frequência produzido. Frente esta relação de compromisso mensurou-se estabelecer um pulso que atendesse uma conformidade com o espectro em frequência. A Figura 5.9 ilustra a magnitude do espectro em frequência produzido pelo pulso gerado por (5.12) em comparação com o espectro do pulso Doublet teórico, produzindo uma forma de onda no domínio da frequência que atenda aos requisitos impostos pela tecnologia UWB.

5.2.5 Obtenção do pulso Monociclo Gaussiano

A obtenção do pulso Monociclo Gaussiano pelo método da síntese requer uma abordagem diferente quanto ao número de ondas P e o índice k que estabelece o deslocamento entre dois pulsos adjacentes. Os parâmetros obtidos através de simulações são apresentados na Tabela 5.5.

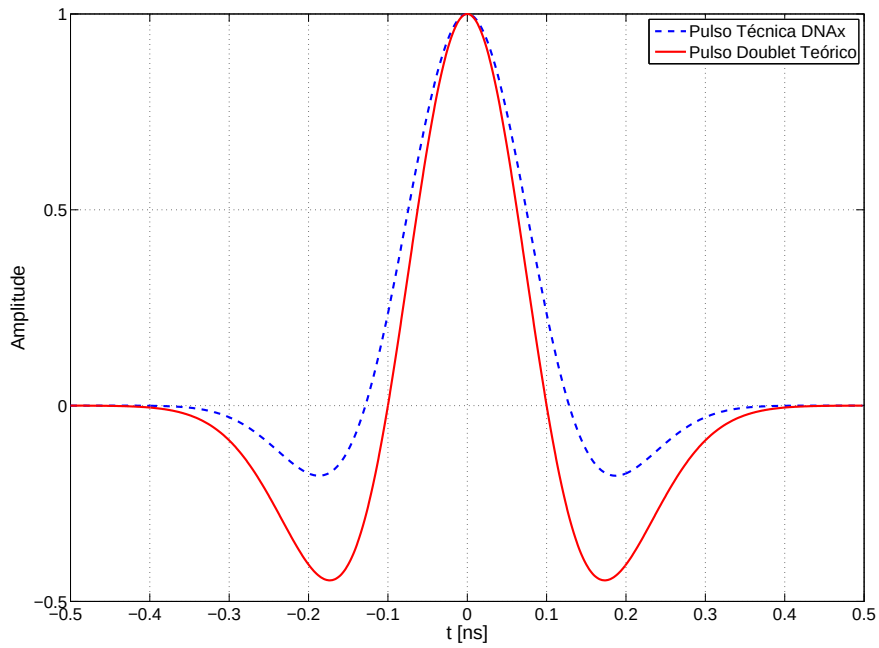


Figura 5.8: A forma do pulso Doublet obtido pela síntese através da técnica DNAX em comparação com o pulso teórico.

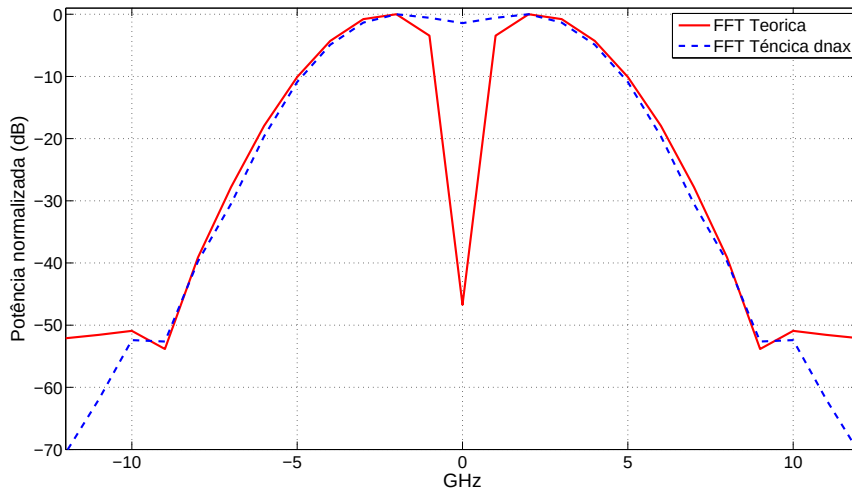


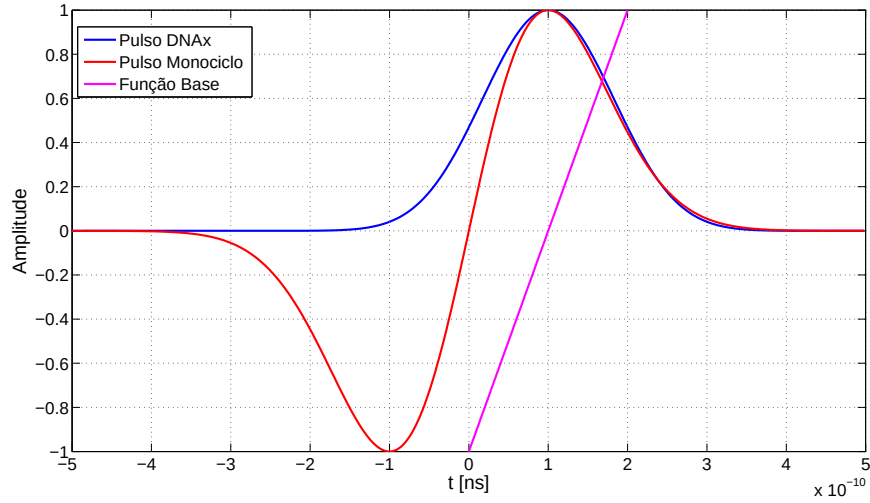
Figura 5.9: A forma do pulso Doublet tomada a transformada de Fourier, para a comparação com a transformada do pulso teórico.

A Figura 5.10 ilustra o pulso Monociclo, o pulso DNAX e a função base $x(t)$. A rampa definida por $x(t)$ que origina o pulso DNAX deve cruzar o eixo dos tempos no instante $t = 1 \cdot 10^{-10}$ s. Isto é necessário para produzir um pulso definido por

Tabela 5.5: Valores para a síntese do pulso Monociclo Gaussiano.

Parâmetros	Valores
a	0,5970
d	0,065
fx	10

(5.3) deslocado para o instante adequado. Este deslocamento proporciona um número menor de ondas P somadas para a obtenção do pulso resultante.

**Figura 5.10:** Pulso DNAX, pulso modelo e a função base $x(t)$.

Através das simulações o número mínimo de ondas p necessário para a síntese é dado por $P = 3$. Através da resolução da (5.5), obtém-se os valores de C_k apresentados na Tabela 5.6 para $k = [0, 1, 2]$.

Tabela 5.6: Valores de C_k para a síntese do pulso Monociclo Gaussiano.

C_k	Valores
C_0	0,8119
C_1	0,7781
C_2	0,4581

Após o cálculo dos valores de C_k e aplicação na (5.10), para $k = [0, 1, 2]$, obtém-se as formas de ondas detalhadas na Figura 5.11. Os pulsos deslocados temporalmente de kd e $-kd$ são ponderados por C_k e $-C_k$ devido à simetria

ímpar apresentada pelo pulso Monociclo. Os pulsos gerado para $k = 0$ e C_0 e $-C_0$ anulam-se em função do deslocamento temporal $kd = 0$ para $k = 0$, desta forma para a geração do pulso Monociclo pelo método da síntese a equação é reescrita para um novo formato com alteração dos índices da somatória.

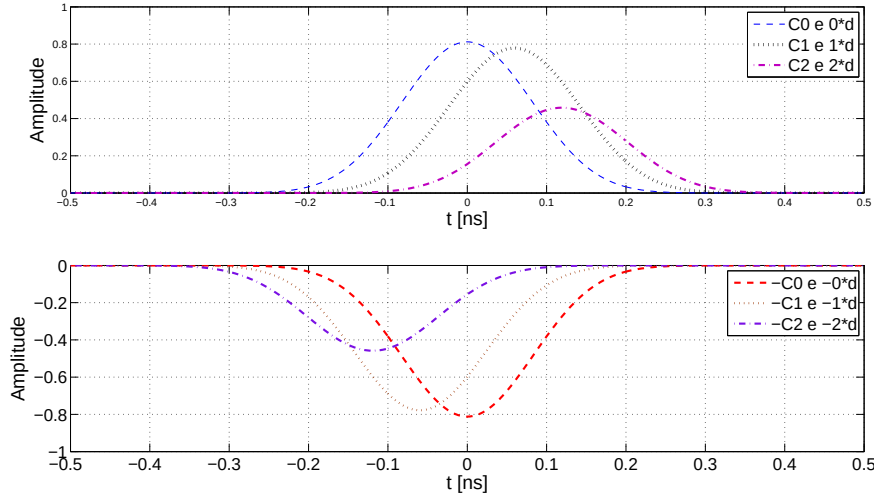


Figura 5.11: Pulsos DNAX ponderados por C_k e deslocados de kd para a geração do pulso Monociclo Gaussiano.

Esta particularidade diminui o número de pulsos para a geração do pulso Monociclo e resulta numa nova Equação dada por

$$g1_{DNAx}(t) = \sum_{k=1}^2 y_k(t - kd) - \sum_{k=1}^2 y_k(t + kd) \quad (5.13)$$

Portanto, é necessário apenas $P - 1$ pulsos para a síntese do pulso Monociclo, tendo o índice valores na faixa de $k = 1$ a $k = P - 1$. A Figura 5.12 ilustra o cancelamento dos pulsos para o valor do deslocamento igual a zero e os dois pulsos provenientes de C_1 , $k = 1$ e C_2 , $k = 2$.

O pulso Monociclo gerado através do método da síntese usando (5.13), com o valor de $k = 1$, é ilustrado na Figura 5.13. O pulso gerado aproxima-se do pulso teórico do Monociclo Gaussiano. A análise dos espectros também mostra uma grande correlação entre os pulsos no domínio da frequência, conforme ilustrado na

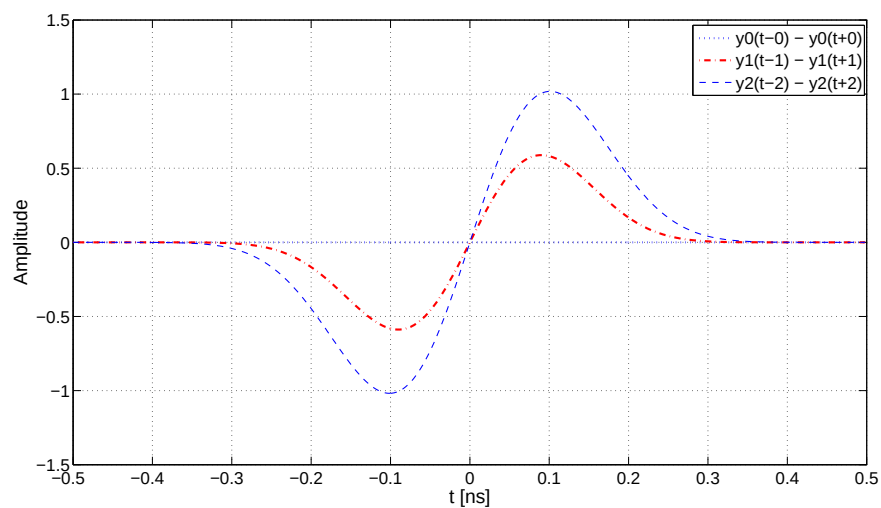


Figura 5.12: *Pulsos DNAx ponderados por C_k e deslocados de kd para a geração do pulso Monociclo Gaussiano.*

Figura 5.14. Desta maneira, o pulso gerado apresenta um resultado satisfatório em ambos os domínios, do tempo e da frequência.

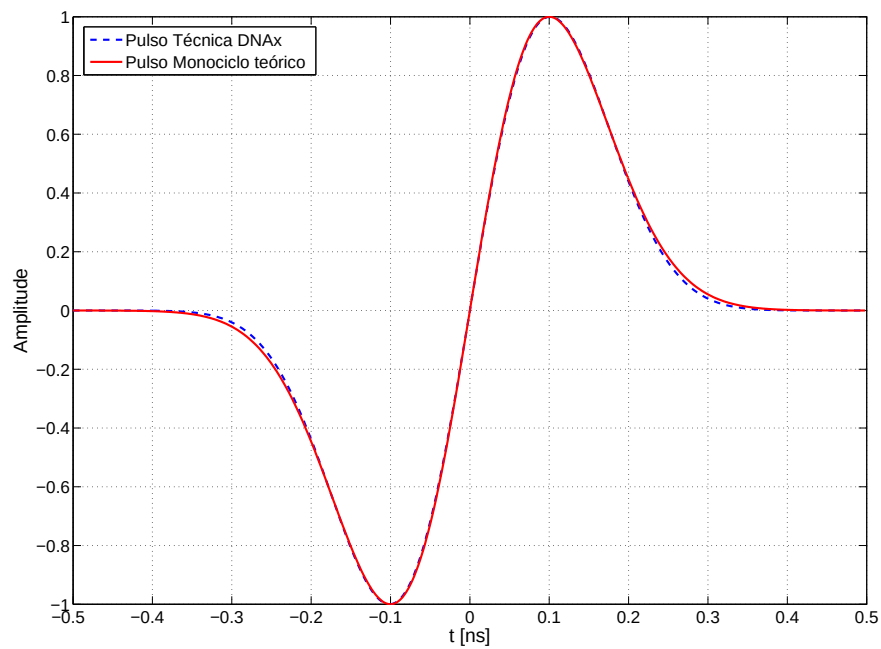


Figura 5.13: *Pulso Monociclo obtido pela síntese através da técnica DNAx e o pulso teórico.*

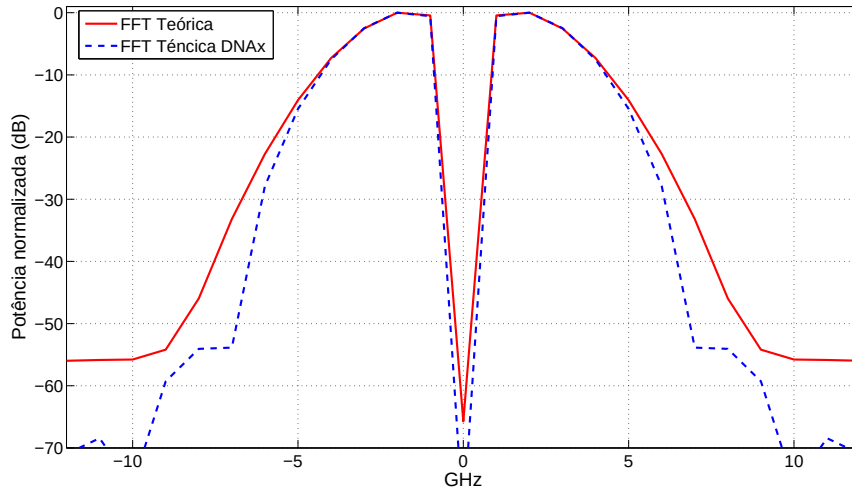


Figura 5.14: *Espectros dos pulsos obtidos.*

5.3 Novo pulso para sistemas UWB

Os pulsos que são utilizados em sistemas UWB são obtidos através de vários métodos. Com a utilização da técnica DNAX é proposto a geração de um pulso que possa atender os requisitos das limitações impostas pelos órgãos reguladores. Aqui será descrito um pulso que é gerado de forma direta pela técnica DNAX, sendo seu formato controlado pelos parâmetros n , a e $x(t)$ e $f(x)$. Como discutido na seção anterior, utilizou-se da técnica DNAX para a obtenção de pulsos pelo método da síntese, através do somatório de vários pulsos produzidos de acordo equação DNAX. Nesta seção será mostrado que é factível obter um pulso UWB usando apenas um pulso DNAX.

5.3.1 Método do pulso único

Para a obtenção do pulso UWB através da técnica DNAX é escolhida a equação exponencial tipo C, em função dos mesmos motivos relatados na seção anterior. Com a aplicação direta de (5.3) há a necessidade de escolher adequadamente os valores dos parâmetros. A escolha da função base geradora do pulso, $x(t)$, é assumida como uma rampa com cruzamento por zero, com tempos de transição

dos pontos de -1 V a 1 V variando de acordo com tempo de duração do pulso UWB desejado. A Figura 5.15 ilustra a função base geradora com diferentes tempos de transição, entre 2 ns e 10 ns.

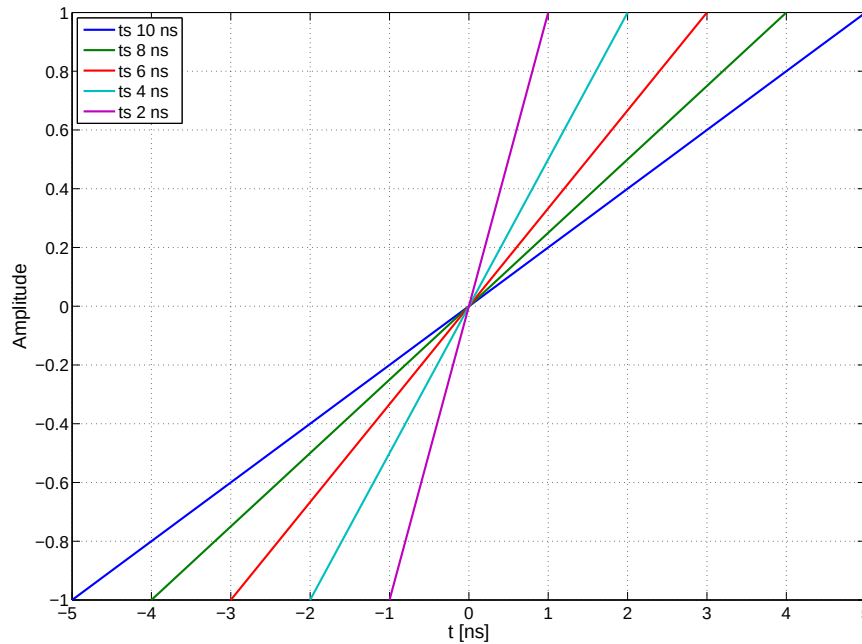


Figura 5.15: Exemplos da função base geradora $x(t)$.

Com a escolha da função base geradora do pulso definida, os parâmetros a , n , d e $f(x)$ devem ser limitados por uma faixa de valores para que o pulso possa atender as limitações estabelecidas pelos órgãos reguladores. Valores obtidos através de simulações empregando algoritmos adaptativos de funções MSE são os seguintes:

$$\begin{cases} 1 \leq a \leq 6 \\ 10 \leq f(x) \leq 25 \\ n = 1 \\ d = 0 \end{cases}$$

O parâmetro n deve assumir o valor unitário em decorrência do impacto negativo no espectro de frequência com o aumento do seu valor. Quando $n \rightarrow \infty$ o pulso gerado por (5.3) tende a uma forma de onda de um pulso quadrado,

resultando em um espectro do tipo $\text{sinc}()$, inadequado para sistemas UWB.

A escolha dos valores dos parâmetros da equação DNAX tipo C, entre a faixa de valores possíveis, é realizada por simulações. Os valores considerados adequados para gerar um pulso em conformidade com espectro de potência da FCC são os seguintes

$$\left\{ \begin{array}{ll} a & = 4 \\ f & = 15 \\ n & = 1 \\ d & = 0 \\ x(t) & \text{rampa com tempo de transição de 2 ns} \end{array} \right.$$

A Figura 5.16 ilustra o pulso gerado por (5.3) com os parâmetros escolhidos. Desta forma, a (5.3) fica igual a

$$y_C(t) = [15 + (4x(t))^2]^{[-(4x(t))^2]} \quad (5.14)$$

O pulso gerado possui um formato similar a um pulso gaussiano, o que condiz com o esperado para a forma de onda de um pulso para transmissões de em sistemas UWB. A verificação da característica em frequência deste novo pulso é ilustrada na Figura 5.17, mostrando uma conformidade com a máscara espectral *indoor* e *outdoor*.

Esta técnica produz um pulso com características, tanto no domínio do tempo como na frequência, que satisfaz os requisitos necessários para ser aplicado em sistemas de transmissão UWB.

5.3.2 Propriedades relacionadas com a forma do pulso

Como descrito em [1], as antenas modificam as formas de onda dos pulsos na transmissão e recepção, executando uma derivada temporal do pulso. Portanto, é

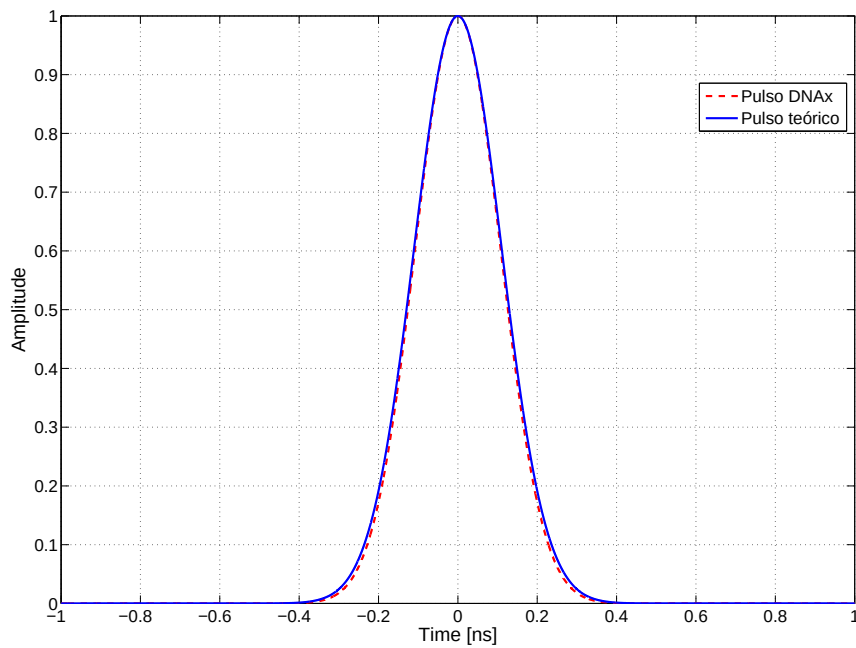


Figura 5.16: *Pulso UWB singelo gerado pela técnica DNax.*

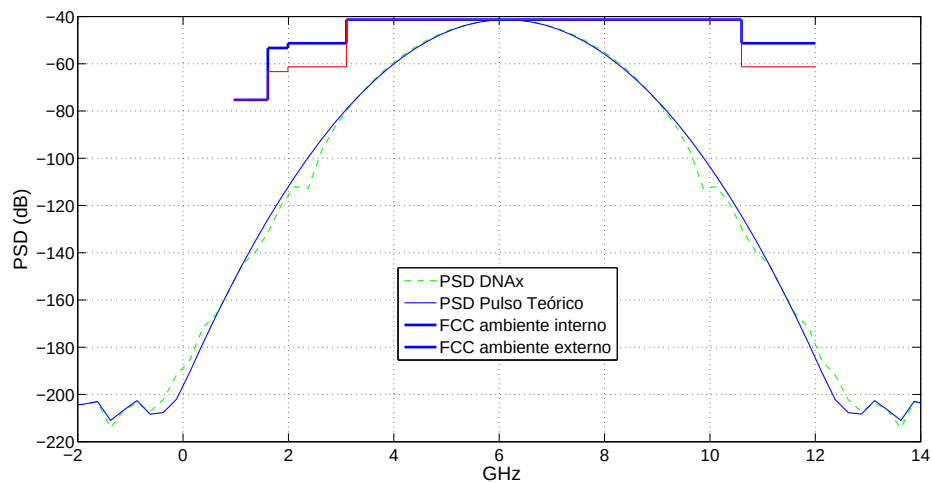


Figura 5.17: *Densidade espectral de potência do pulso singelo.*

necessário que as derivadas do pulso DNax mantenham características adequadas a um sinal UWB, do mesmo modo que as derivadas do pulso Gaussiano e outros.

Desta forma, ao aplicar o processo de uma derivada em (5.14), processo similar efetuado pela antena de transmissão e uma derivada de segunda ordem para

representar a antena de recepção, as seguintes equações

$$\frac{d}{dt}y_C(x(t)) = \frac{d}{dt} \left[[15 + (4x(t))^2]^{-(4x(t))^2} \right] \quad (5.15)$$

$$\frac{d^2}{dt^2}y_C(x(t)) = \frac{d^2}{dt^2} \left[[15 + (4x(t))^2]^{-(4x(t))^2} \right] \quad (5.16)$$

produzem os pulsos ilustrados na Figura 5.18. A Figura 5.19 ilustra o espectro em frequência dos pulsos da 1 e 2 derivadas de (5.14). Estes resultados condizem com as formas de ondas esperadas produzidas por pulso aplicados na tecnologia UWB perante a transposição pelas antenas. A máscara espectral exigida pelo FCC é traçada na Figura 5.19 para comprovar a coerência obtida com a técnica DNAX na geração de pulsos para sistemas UWB.

Uma observação, nesta abordagem não foi considerada a influência do meio de transmissão, quanto a perda de propagação e os efeitos de múltiplos percursos do canal, entre outros.

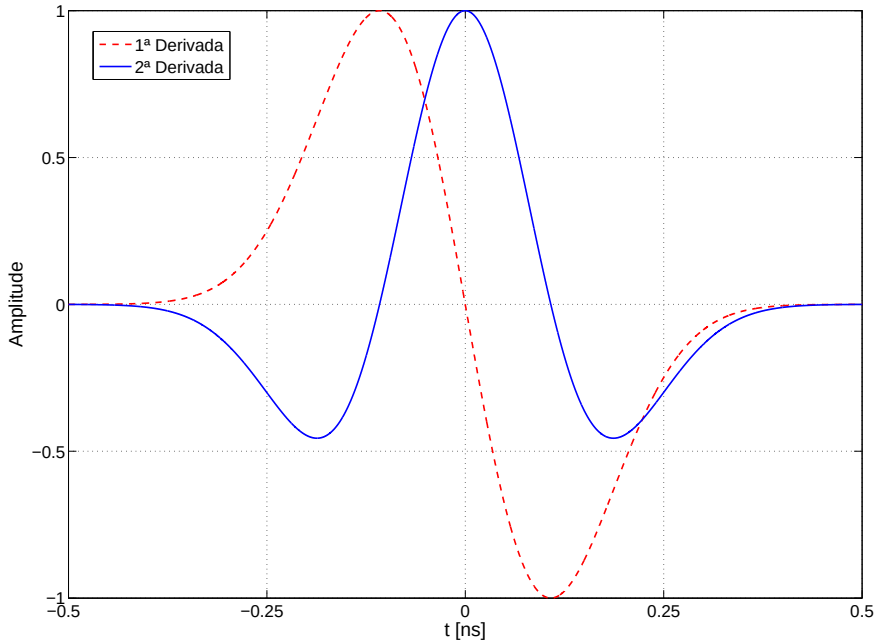


Figura 5.18: Pulsos DNAX da 1ª e 2ª derivadas temporais.

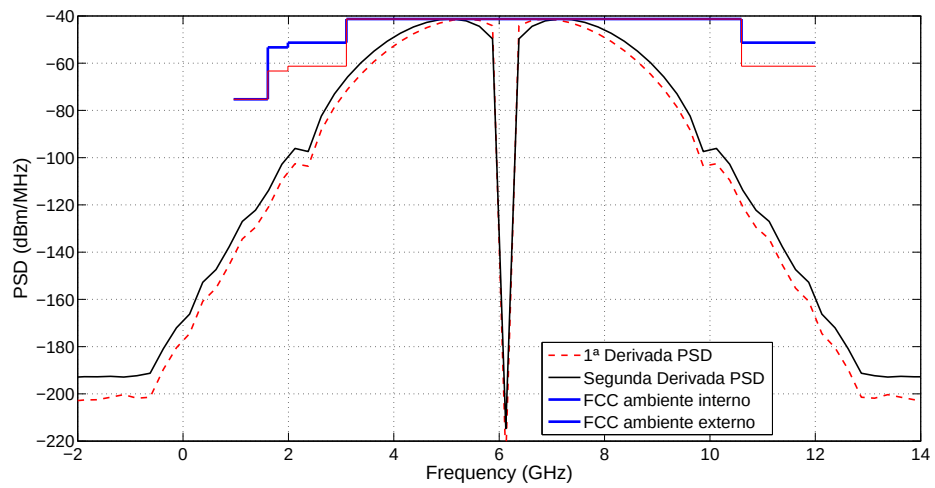


Figura 5.19: Densidade espectral de potência dos pulsos da 1ª e 2ª derivadas temporais.

Capítulo 6

Simulação de um pulso DN_{Ax} no Orcad

O propósito desta simulação consiste no estudo da implementação de (5.3) utilizando um simulador computacional de dispositivos eletrônicos. Espera-se verificar a semelhança entre o modelo matemático para o pulso UWB gerado pela técnica DN_{Ax} e sua obtenção através de um circuito eletrônico.

6.1 Adequação da equação DN_{Ax}

Para que o sinal descrito por (5.3) possa ser obtido com um circuito eletrônico, há a necessidade de modificar a equação de forma que tenha-se um formato possível de ser gerado por componentes encontrados em simuladores.

As equações que envolvem a técnica DN_{Ax} são funções exponenciais, o que dificulta a obtenção por meios de circuitos eletrônicos. Esta característica agrega um fator de complicação a mais: a função base geradora do pulso está presente tanto na base como no expoente da equação. Em função desta característica e da dificuldade em encontrar dispositivos eletrônicos que executem esta operação, nas frequências e com a velocidade de comutação necessárias, é proposta uma nova forma para expressar (5.3), com o objetivo de substituir a operação de potenciação

por outra operação matemática equivalente.

O novo formato é obtido, primeiramente, aplicando o logaritmo em (5.3). Após a execução de alguns cálculos é tomada a operação logarítmica inversa *, expressas pelas seguintes equações:

$$y_{\log}(t) = -[ax(t)]^{2n} \times \log \{f(x) + [ax(t)]^{2n}\} \quad (6.1)$$

$$y_{\text{alog}}(t) = \text{alog}[y_{\log}(t)] \quad (6.2)$$

As equações (6.1) e (6.2) as operações que envolviam as propriedades exponenciais, forma convertidas para operações com logaritmos e anti-logaritmos, o que torna factível sua implementação através de dispositivos eletrônicos. A Figura 6.1 apresenta o diagrama em blocos para simulação das equações (6.1) e (6.2) com as principais funções envolvidas.

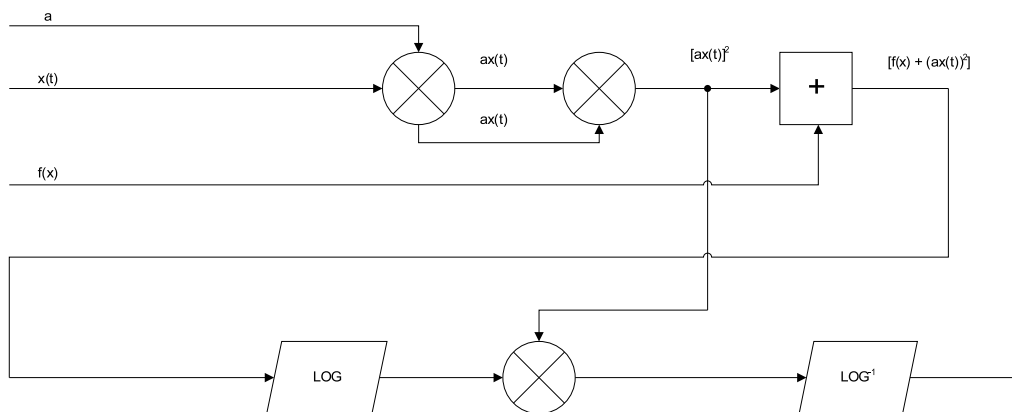


Figura 6.1: Diagrama em blocos para a simulação do pulso DNAX.

*alog($y(t)$) = $10^{y(t)}$

6.2 Taxa de inclinação dos amplificadores operacionais

De acordo com o ilustrado na Figura 6.1 os pontos críticos para representar (6.1) e (6.2) nas formas de circuitos eletrônicos estão nas funções log, anti-log e multiplicação. A característica intrínseca dos pulsos UWB, tempo de duração na faixa de nanossegundos, requer dispositivos com alta velocidade de comutação e faixa de frequência de operação acima de 1 GHz. Outro fator o qual deve ser levado em consideração para que não ocorram distorções no formato do pulso é a taxa de inclinação SR (*Slew Rate*) dos componentes envolvidos na simulação. A taxa de inclinação é definida como a taxa máxima de variação da tensão de saída no tempo do dispositivo [26], dada por

$$SR = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} \quad (6.3)$$

Para os componentes envolvidos na simulação, a taxa de inclinação mínima é definida em função do valor (forma de onda) do parâmetro $x(t)$ da equação DNAX. O valor de $x(t)$, como definido anteriormente, é atribuído a uma rampa com variação de tensão entre -1 V a 1 V durante 2 a 10 ns. Desta forma, a taxa de inclinação é calculada para o pior caso fornecendo o valor mínimo para a SR, é obtido por

$$SR = \frac{\Delta v(t)}{\Delta t} = \frac{1V - (-1)V}{2ns - 0ns} = 1000 \text{ V}/\mu s \quad (6.4)$$

6.2.1 Simulador e componentes utilizados

O simulador utilizado foi o OrCAD versão 15.7.0.p001 da empresa *Cadence Design Systems, Inc.* Disponível sob licença no Inatel. A proposta inicial era buscar componentes que efetuassem as principais funções envolvidas na produção do pulso UWB utilizando a técnica DNAX. Componentes que realizassem as funções Log, Antilog e a multiplicação, dentro das necessidades dos sistemas UWB e

estivessem disponíveis nas bibliotecas do simulador. Foram encontrados três dispositivos que atendiam os requisitos mínimos:

- ICCLLWP-750 do fabricante M/ACom, executa a função Log de sinas até 1 GHz .
- ICLAP-371 do fabricante M/ACom, executa a função Antilog de sinas até 1 GHz.
- ADL5391, fabricante Analog Device, executa a multiplicação de sinais de DC a 2 GHz, com taxa de inclinação de $8800 \text{ V}/\mu\text{s}$.

Porém, a utilização destes componentes na simulação não foi possível, em decorrência de não estarem disponíveis nas bibliotecas do programa escolhido. As várias tentativas de adicionar os modelos matemáticos desses componentes e a busca por suporte junto aos seus fabricantes foram sem sucesso, inviabilizando seu uso. Por isto, desenvolveu-se uma simulação utilizando componentes com amplificadores operacionais e transistores disponíveis nas bibliotecas do OrCAD.

6.3 Proposta para a geração das funções

As funções matemáticas serão simuladas com amplificadores operacionais e transistores.

6.3.1 Proposta para o multiplicador

Para a simulação da função do multiplicador foi escolhido a representação no formato de uma célula de Gilbert [†], topologia predominante nas arquiteturas dos circuitos integrados. Esta célula resulta numa estrutura balanceada, que dispensa

[†]A concepção deste circuito é atribuída a Barriet Gilbert em seu trabalho publicado no *IEEE Journal of Solid State Circuits* em 1968 com o título *A precise Four- Quadrante Multiplier with Subnanosecond Response*. Neste artigo Gilbert descreve e analisa esta topologia, com base nas características exponenciais $I \times V$ dos transistores bipolares, para funcionar como um multiplicador de quatro quadrantes

elementos reativos, o que possibilita um bom desempenho com relação ao ruído e ganho de conversão [26]. A estrutura tradicional da célula de Gilbert é ilustrada na Figura 6.2. A corrente de saída é proporcional a multiplicação das tensões de entrada [25]-[26]. De acordo com as equações seguintes

$$I_a - I_b \approx I_E \left(V_1 \frac{q_e}{2kT} \right) \left(V_2 \frac{q_e}{2kT} \right) \quad (6.5)$$

$$I_a - I_b \approx V_1 V_2 A \quad (6.6)$$

Onde I_a e I_b são correntes de coletor, V_1 e V_2 são as tensões de entrada a serem multiplicadas, I_E corrente de saturação, q_e carga do elétron, k constante de Boltzman, T temperatura em Kelvin e A uma constante de proporcionalidade.

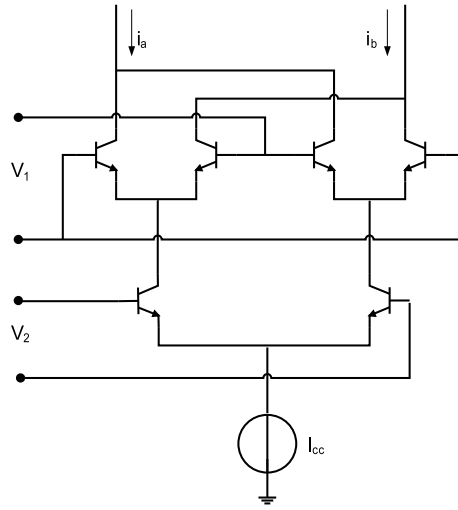


Figura 6.2: *Forma básica de uma célula de Gilbert.*

O transistor escolhido é o NE68033, em função de suas características e frequência de operação atenderem os requisitos mínimo para sinais UWB e por estar disponível nas bibliotecas do programa.

6.3.2 Proposta para o Log e Antilog

Para as funções Log e Antilog, também, busca-se uma estrutura que possibilita suas representações com base nas características inerentes dos transistores, entre a relação logarítmica da corrente de coletor I_c e a tensão entre a base e emissor V_{be} . Partindo desta análise, pode-se configurar circuitos que possibilitam em implementar as funções procuradas.

Célula para a função logarítmica (célula log)

A Figura 6.3 ilustra a estrutura básica de um amplificador logaritmo. As equações seguintes descrevem o comportamento e nas relações entre as variáveis I_c , I_s , V_i e V_{out} , onde I_s é a corrente de saturação do emissor, em torno de 10^{-16} A, $V_T = 26$ mV (kT/q) na temperatura ambiente de aproximadamente 300K [26] e R_1 deve ser escolhido para manter a excursão do nível da tensão de entrada com a tensão de saída.

$$I_c \approx I_s e^{V_{be}/V_T} \quad (6.7)$$

$$-V_{be} = V_{out} \quad (6.8)$$

$$V_{out} = -V_T \ln \left(\frac{V_i}{R_1 I_s} \right) \quad (6.9)$$

A tensão de saída depende do logaritmo da tensão de entrada. Os componentes utilizados para representar a célula Log na simulação foram o amplificador operacional da Analog Device o AD8009 com frequências de operação de 1 GHz e taxa de inclinação de 5500 V/ μ s e o mesmo transistor utilizado na formulação da célula de Gilbert.

Célula antilogarítmica (célula antilog)

A estrutura básica de um circuito antilog é ilustrada na Figura 6.4, com o mesmo procedimento adotado para a obtenção da estrutura da função log. Aproveita as características logarítmicas e exponenciais de um transistor bipolar. Os compo-

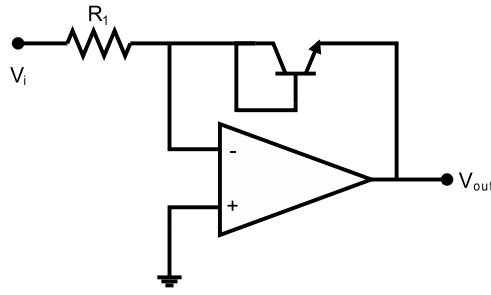


Figura 6.3: *Estrutura básica de um circuito Log.*

nentes utilizados são os mesmos da célula logarítmica [26].

$$I_c \approx I_s \exp \left(V_{be}/V_T \right) \quad (6.10)$$

$$V_{out} = I_C R_1 = I_S R_1 \exp \left(-V_i/V_T \right) \quad (6.11)$$

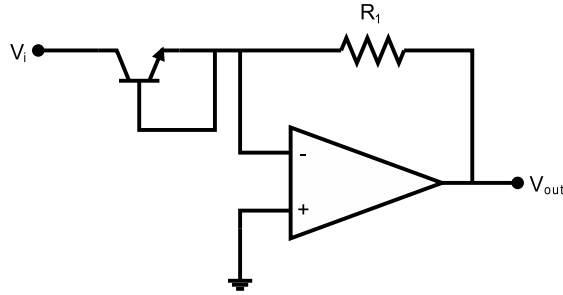


Figura 6.4: *Estrutura básica de um circuito Antilog.*

6.4 Simulação e resultados

Os procedimentos para a simulação seguem em função da escolha dos valores dos parâmetros utilizados e do tempo estimado de duração do pulso, dado que pulso UWB possuem duração na ordem de nanossegundos. Desta forma, para esta simulação estima-se um pulso com duração entre 2 ns e 0,5 ns.

6.4.1 Valores dos parâmetros

Os valores dos parâmetros da função DNAX, a , n , $f(x)$, d e $x(t)$ são obtidos em função do tempo de duração estimado do pulso e das limitações de tensão de entrada dos componentes utilizados.

Função base geradora do pulso $x(t)$

A função base geradora do pulso $x(t)$ tem sua forma definida como uma rampa com tempo de transição de -1 V a 1 V em $2,2$ ns. A Figura 6.5 ilustra a função $x(t)$ que dá origem ao pulso, gerado no programa de simulação.

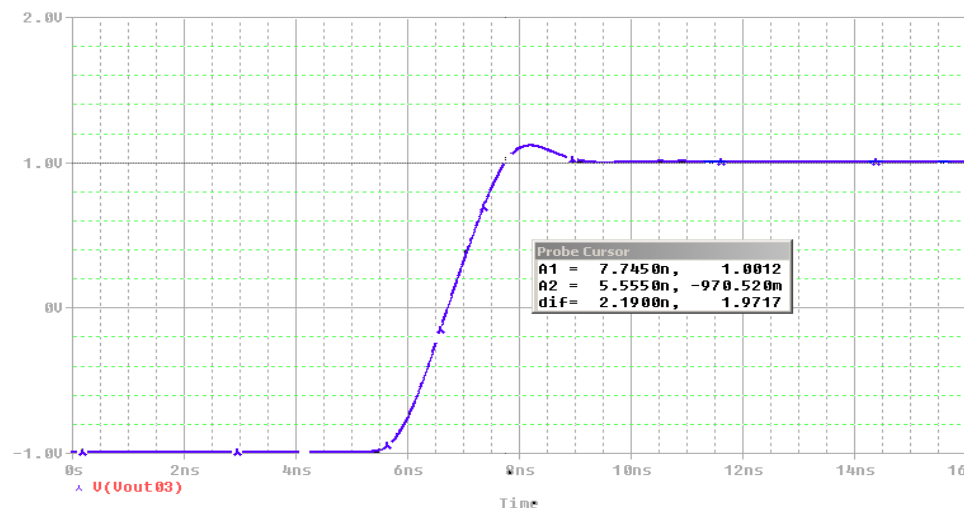


Figura 6.5: Função base $x(t)$.

Valor do parâmetro a

O parâmetro a pode assumir valores entre 1 V a 5 V, em função das limitações das tensões de entrada dos componentes e dos circuitos utilizados para representar as funções log, antilog e multiplicação.

Valor do parâmetro n

O parâmetro n tem valor fixo de 1, com nas simulações dos modelos matemáticas apresentadas no capítulo anterior, em decorrência das distorções provocadas.

Valor do parâmetro $f(x)$

O parâmetro $f(x)$ assume o valor constante como apresentado nas simulações com as modelos matemáticos, com variações entre 1 V a 5 V. A faixa de valores fica limitada pelas tensões de entrada dos componentes utilizados na simulação.

Valor do parâmetro d

Como o objetivo é a produção de um pulso UWB utilizando componentes eletrônicos, pelo método do pulso único apresentado no capítulo anterior, o valor do parâmetro d assume valor zero.

6.5 Resultados obtidos

Definidos os valores dos parâmetros a serem utilizadas, configurou-se o circuito final apresentado nas Figuras 6.6, 6.7 e 6.8, o circuito completo representa o diagrama em blocos ilustrado na Figura 6.1, onde os três multiplicados, as funções log e antilog e as soma e subtração são representados apenas por componentes como transistores, amplificadores operacionais, dentre outros. Com o objetivo de verificar a possibilidade da execução da técnica DNAX através dos componentes citados. O pulso produzido pelos circuitos das Figuras 6.6, 6.7 e 6.8, com a valores dos parâmetros é ilustrado na Figura 6.9, com tempo de duração de aproximadamente de 2 ns o que condiz com o resultado esperado e dentro das limitações impostas pelas tensões de entrada dos componentes e complexidade dos circuitos. A Figura 6.10 ilustra o espectro do pulso da Figura 6.9

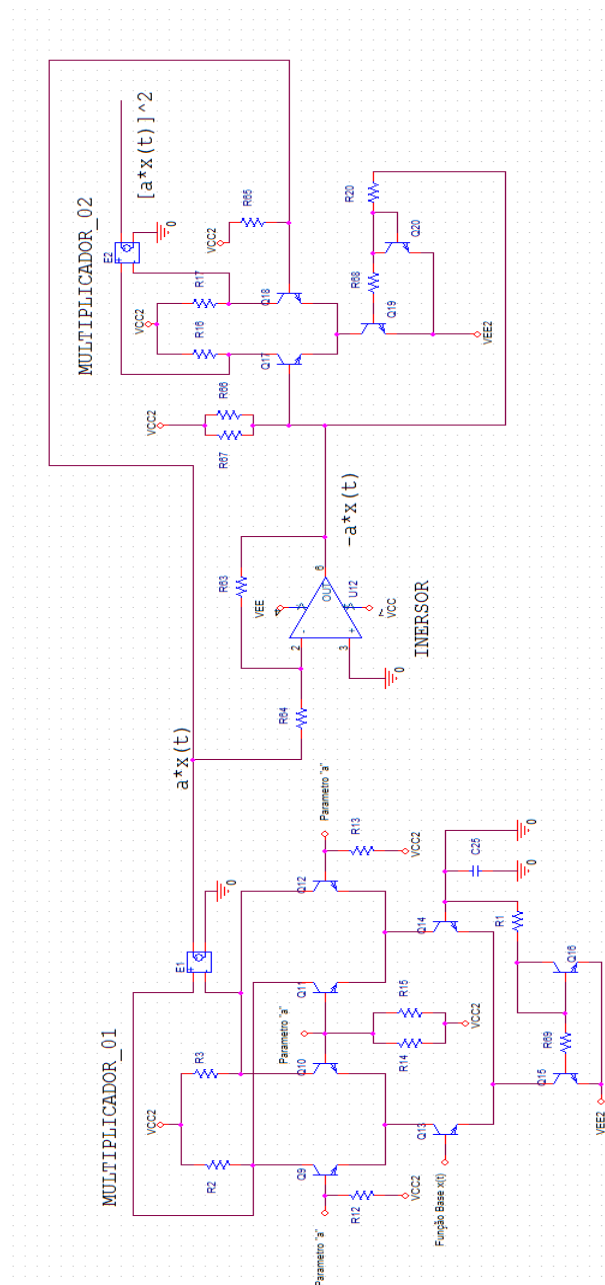


Figura 6.6: Parte do circuito final proposto para representação da célula DNAx, para executar a função $[a \times x(t)]^2$.

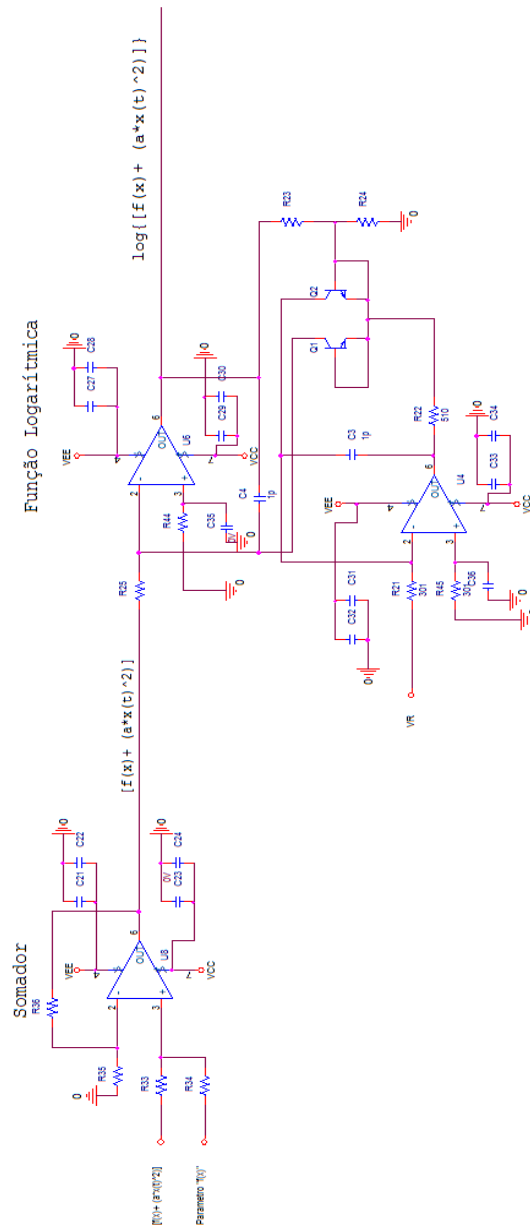


Figura 6.7: Parte do circuito final proposto para representação da célula DNaX, para executar a função $\log[f(x) + (a \times x(t))^2]$.

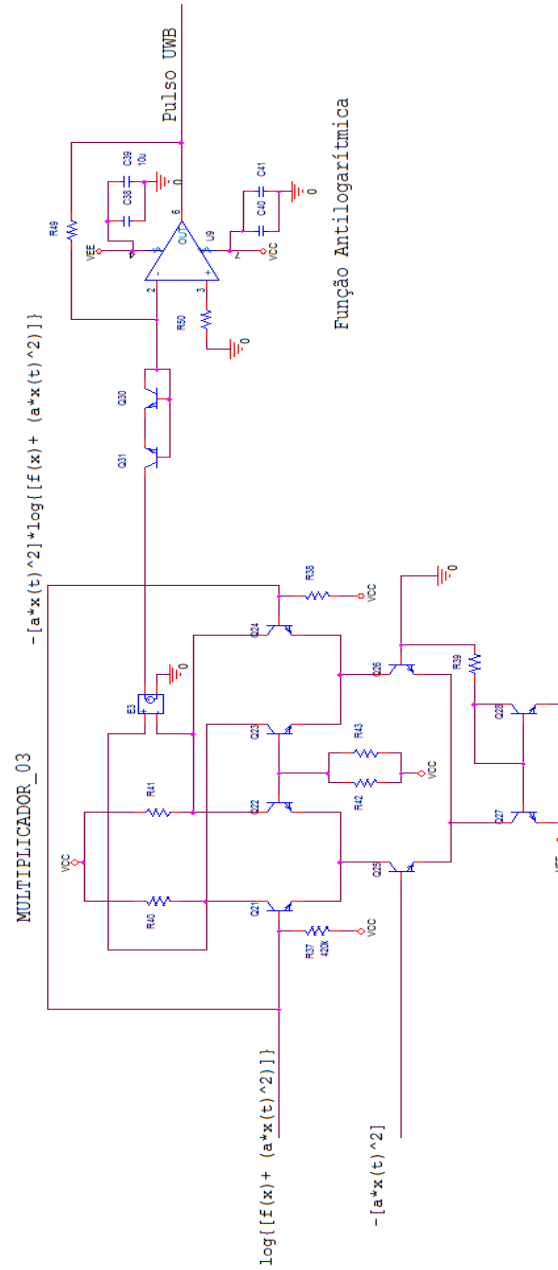


Figura 6.8: Parte do circuito final proposto para representação da célula DNAx, para executar a função $\log^{-1}\{-(a \times x(t))^2 \times \log[f(x) + (a \times x(t))^2]\}$.

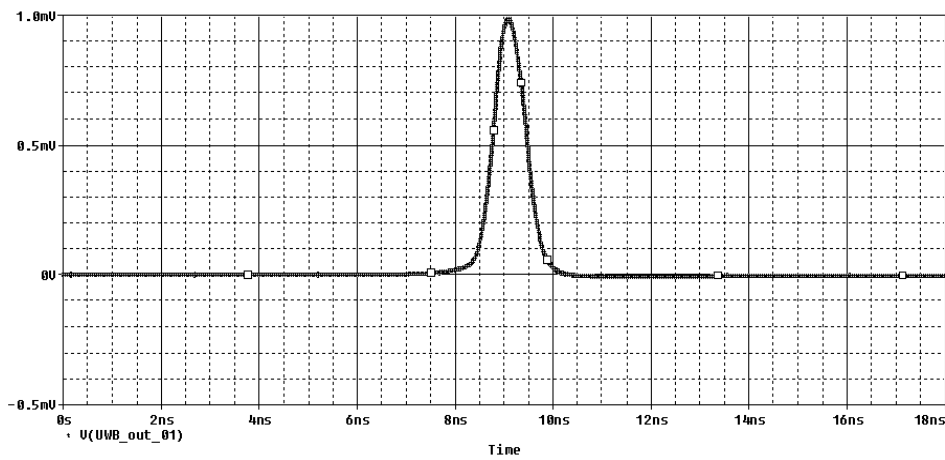


Figura 6.9: Pulso UWB gerado através da representação da célula DNAX por componentes eletrônicos.

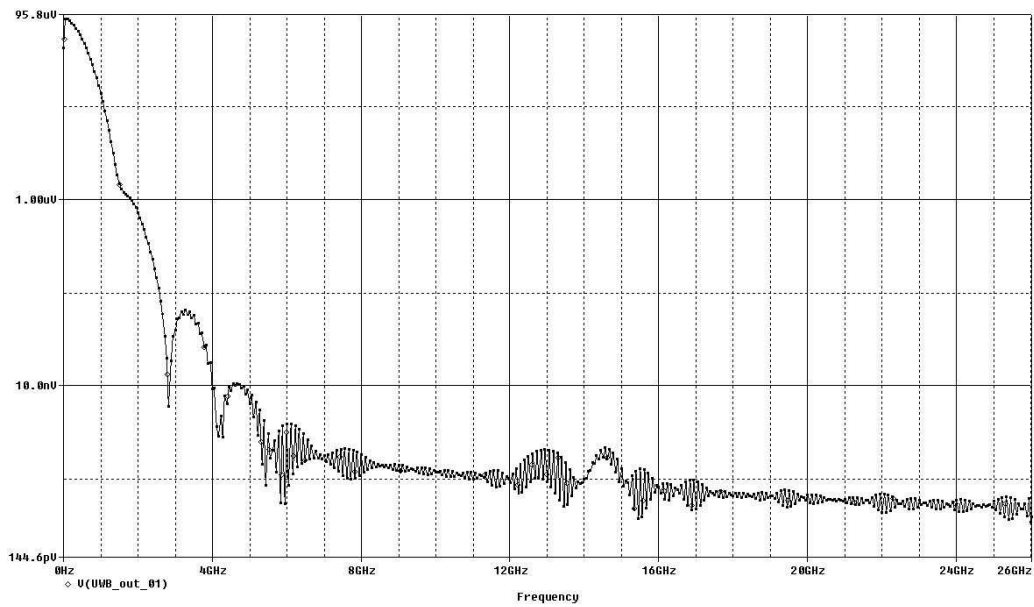


Figura 6.10: Espectro em frequência do pulso UWB gerado através da representação da célula DNAX por componentes eletrônicos.

Capítulo 7

Conclusões

A proposta de geração de pulsos que possam ser aplicados em sistemas UWB através da técnica DNAX demonstrou-se factível de duas formas, com a utilização do método da síntese e da forma direta.

A produção de pulsos UWB pelo método da síntese consiste na combinação de vários pulsos deslocados no tempo e com amplitudes ponderadas. De acordo com o formato proposto verifica-se a necessidade de uma menor ou maior quantidade de pulsos e, desta forma, pode-se escolher a empregabilidade do pulso produzido pelo método da síntese, em aplicações de transmissão ou de recepção. Na primeira abordagem deste trabalho aplicou-se o método da síntese para geração de pulsos, com resultados satisfatórios, em especial considerando a resposta em frequência obtida, em função das limitações impostas pelo espectro de transmissão. Entre os três pulsos sintetizados, destaca-se o Monociclo Gaussiano, gerado com o menor número de componentes. O pulso Doublet apresentou a maior diferença em sua forma no tempo, em comparação ao pulso teórico. A diferença é justificada para obter uma melhor conformidade com o espectro de transmissão - um dos principais fatores requeridos dos pulsos transmitidos. O método da síntese para gerar pulsos utilizados como amostras dos pulsos recebidos não foram tratados neste trabalho, mas nada impede de ser utilizado como forma de gerar pulsos no receptor, onde a forma do pulso é o fator primordial a ser considerado.

A principal contribuição deste trabalho foi a geração de pulsos UWB pela forma direta. O trabalho mostrou que o próprio pulso DNAX, e suas derivadas, resultou em um pulso com todas as características e propriedades adequadas a um sinal para sistemas UWB. Duas grandes vantagens do uso de um único pulso DNAX são a capacidade de formatá-lo através da configuração de seus parâmetros e a possibilidade de construção de um circuito eletrônico que implemente fielmente uma célula DNAX.

A simulação computacional da técnica DNAX através da modelagem matemática por dispositivos eletrônicos, tais com, amplificadores operacionais, transistores, condiz com a viabilidade da implementação de uma célula DNAX.

A técnica DNAX demonstrou ser uma proposta promissora, a sua utilização em conjunto com a tecnologia UWB é um ponto de partida para novas concepções na área de telecomunicações, pois essa técnica é pouco conhecida e, por esse motivo, também pouco explorada.

7.1 Sugestões para trabalhos futuros

Visto que há muito para desenvolver sobre os estudos e aplicações da técnica DNAX, serão feitas algumas sugestões para trabalhos futuros.

- Pesquisar o comportamento do pulso DNAX considerando a função $f(x)$ não constante e a função $x(t)$ diferente de uma rampa.
- Estudo para a aplicação do método da síntese de maneira adaptativa como forma de gerar pulsos modelos utilizados nos correlatores dos receptores, como forma de compensar as distorções provocadas pelas antenas e pelo canal de transmissão.
- Tratamento e modelamento das funções Log e Antilog, levando em considerações a alta velocidade de comutação necessária para sistemas UWB, ponderando um forma mais eficiente de implementação.

- Realizar estudos sobre a viabilidade de concepção e implementação um chip DNAX possa realizar a função de uma célula DNAX.

Anexo A

Trabalho publicado referente a dissertação

- *Synthesis of UWB Pulse Using DNAx Technique.* Cleomárcio Almeida and Sandro Adriano Fasolo. 17th Annual Symposium on WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS and 3rd Annual Wireless Summer School. June 6-8, 2007, Blacksburg, Virginia.

Apenas os Mortos Viram
o Fim da Guerra.
”Platão (427-347ac)”

Referências Bibliográficas

- [1] Ian Oppermann; Matti Hamalainen; Jari Iinatti. ” *UWB Theory and Applications*”, John Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [2] Stanley Bo-Ting Wang. ” *Design of Ultra-Wideband RF Front-End*”. Doctor Thesis, Engineering - Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, Berkeley - 2005
- [3] R. G. Caputo. ” *Um Novo Método de Geração de Sinais Complexos*”. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Telecomunicações - Inatel, 2006,
- [4] Federal Communications Commission (2002a). ” <http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering-Technology/News-Releases/2002/nret0203.html>”, FCC press release, Feb 2002.
- [5] Robert J. Fontana; Edward Richley; JoAnn Barney. ” *Commercialization of an Ultra Wideband Precision Asset Location System*”, Proc. IEEE Conference UWB systems and Technologies, Reston, VA, 2003.
- [6] Xuemin Sherman Shen; Mohsen Guizani; Robert Caiming Qiu; Tho Le-Ngoc. *Ultra-WidBand Wireless Communications and Networks*, John Wiley and Sons Ltd, 2006.
- [7] R. Fontana. ” *A Brief History of UWB Communications*”, online article, disponível em : <http://www.multispectral.com/history.html>

- [8] Faranak Nekoogar. " *Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications*", Prentice Hall, 2005.
- [9] Taylor J. D. (ed.) (1995). " *Introduction to ultra wideband radar systems*". CRC Press, Inc., Boca Raton, FL USA, 670 p.
- [10] M. Ghavami; L. B. Michael; R. Kohno. *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, John Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [11] I. J. Lahaie. " *Ultrawideband Radar: SPIE Proceedings*", vol. 1631, January 1992.
- [12] Kazimierz Siwiak; Debra McKeown. " *Ultra-Wideband Radio Technology*", John Wiley and Sons Ltd, 2004.
- [13] I. Akyildiz et al. " *A Survey on Sensor Networks*", IEEE Comm. Magazine, August 2002.
- [14] R. G. Caputo. " *Complex waveforms generator*". US Provisional Patent Application serial n.60/543,191.
- [15] R. G. Caputo. " *Method of generations complex waveforms and modulating signals*". US Patent n.10/463,482.
- [16] Federal Communications Commission (2002b). " *First Report and Order in the matter of revision of Part 15 of the Commissions rules regarding ultra-wideband transmission systems*", ET-Docket 98 153, FCC 02 48, released April 22, 2002.
- [17] J. Mills, editor. " *Radio Communication Theory and Methods*". McGraw-Hill, 1917.
- [18] Murray R. Spiegel; José M. L. Silva. " *Manual de Fórmulas, Métodos e Tabelas de Matemática*", Pearson Education do Brasil - 2002

- [19] Withington P. " *Impulse Radio Overview* ". <http://www.time-domain.com>. 2004
- [20] Foerster J.; Green E.; Somayazulu S.; Leeper D. (2001). " *Ultra-wideband technology for short- or mediumrange wireless communications*", Intel Technology Journal, Q2, 11 p 2001.
- [21] Proakis J. G. (1995). " *Digital communications*", McGraw-Hill Inc., Singapore, 928 s 1995.
- [22] Morgan. " *Ultra-wideband impulse scattering measurements*". IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 42, 840?846. 1994
- [23] Lee J.S.; Ngyuen C.; Sullicon T. (2001a). " *New uniplanar subnanosecond monocycle pulse generator and transformer for time-domain microwave applications*". IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 49, No. 6.
- [24] McCorkle J.W. (2001). " *Ultra wideband communication system, method, and device with low noise pulse formation*". World Intellectual Property Organization WO 01/93520 A2.
- [25] Eversom Martins. " *Projeto de Misturadores com Topologia Célula de Gilbert Utilizando pHEMT*", Tese de doutorado, Departamento de Semicondutores, Instrumentos e Fotônica da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp. Outubro de 2002.
- [26] Paul R. Gray; Paul J. Hurst; Stephen H. Lewis; Robert G. Meyer. *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*, Wiley; 4 edition, 2001.
- [27] Almeida, Cleomárcio; Fasolo, Sandro Adriano. " *Synthesis of UWB Pulse Using DNAX Technique*". 17th Annual Symposium on Wireless Personal Communicatios. June 6-8, 2007, Blacksburg, Virginia.