



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

CLÁUDIO FRANCO DE MELO JUNIOR

ANÁLISE DA FAIXA DINÂMICA DE ENLACES ÓPTICOS
ANALÓGICOS MULTICANAIS PARA INTEGRAÇÃO DE
REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

TM – 00/2001

UFPA/CT/PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
66.075-900 – BELÉM – PARÁ - BRASIL

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

CLÁUDIO FRANCO DE MELO JUNIOR

**ANÁLISE DA FAIXA DINÂMICA DE ENLACES ÓPTICOS
ANALÓGICOS MULTICANAIS PARA INTEGRAÇÃO DE
REDES DE TELECOMUNICAÇÕES**

**Trabalho submetido à Banca
Examinadora do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Elétrica da UFPA para a obtenção
do Grau de Mestre em Engenharia
Elétrica.**

**UFPA/CT/PPGEE
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ
66.075-900 – BELÉM – PARÁ – BRASIL**

AGRADECIMENTOS

- A toda minha Família, por compreender e apoiar no esforço necessário para realização deste trabalho.
- Ao prof. Dr. João C.W. A Costa, por acreditar e incentivar o meu trabalho
- Aos Prof. Drs Rubem Faria, Maria Teresa Rocco e Maria Aparecida Gomes, por participarem da banca examinadora deste trabalho e pelas contribuições para sua versão final.
- A todos os amigos do LAPS (Laboratório de Processamento de Sinais) e Profs. Aldebaro Klautau, Valquíria Macedo, Evaldo Pelaes, pelo apoio durante o curso de mestrado.
- A todos os amigos do LEA (Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado), pela colaboração e apoio recebidos.

DEDICATÓRIA

Aos Benignos e Inteligentes Leitores :

“Em toda ação humana, quase por necessidade, ocorrem erros; porém onde surgem mais facilmente e são mais numerosos e com diferentes formas é nas impressões. Não posso imaginar outra coisa onde possa haver mais. E parece-me que a empresa de corrigi-los se possa comparar com a luta de Hércules com a Hidra das sete cabeças: por um lado, assim como quando com seu valor e força, cortava uma, nasciam duas, da mesma forma. No entanto com conhecimento e diligência se corrige um erro, e quase sempre surgem não dois mas três ou quatro, com frequência e maior importância que tinha o primeiro.”

Declaração extraída do prefácio da obra de *Achille Fazio Alessandro*, impressa em Veneza em 1563.

SUMÁRIO

Pgs.

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
 CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	 01
 CAPÍTULO 2 – APLICAÇÕES DE SISTEMAS SCM	 04
2.1 - Introdução	04
2.2 – Sistema de distribuição Banda Larga	04
2.3 – Substituição de Enlaces ponto a ponto de RF / Microondas	05
2.4 – Sistemas de Distribuição de Vídeo	06
2.5 – Serviços Banda Larga Comutados.	08
2.6 – Sistemas Rádio – Fibra	10
2.7 – Redes de múltiplo acesso / LANs	13
 CAPÍTULO 3 – O SISTEMA SCM (SUBCARRIER MODULATION) E RUÍDO EM ENLACES ANALÓGICOS	 17
3.1 – Modulação por Subportadoras (SCM)	17
3.2 – Enlaces Analógicos	20
3.3 – Ruído em Enlaces Ópticos Analógicos	21
3.4 – Sistemas de Transmissão Analógicos IM/DD e Coerente.	27
3.5 – Detecção Coerente.	29
3.6 – Detecção Coerente Homódina.	32
3.7 – Detecção Coerente Heteródina	33
3.8 – Sistemas SCM Coerente Com Portadora Digital.	34
3.9 – Detecção Coerente x Detecção Direta.	36
 CAPÍTULO 4 – RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR) E FAIXA DINÂMICA LIVRE DE ESPÚRIOS (SFDR) PARA ENLACES ANALÓGICOS.	 40

4.1 – Relação Sinal – Ruído.	40
4.2 – Faixa Dinâmica Livre de Espúrios Para Um Único Canal	48
4.3 – Faixa Dinâmica Livre de Espúrios em Um Enlace com Multiplexação Por Subportadora (SCM)	51
 CAPÍTULO 5 – RESULTADOS NUMÉRICOS	 55
5.1 – Análise dos enlaces DD, AM, PM e FM.	55
5.2 – Requisitos do Sistema SCM	66
 CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	 78
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 80

LISTA DE FIGURAS

Pgs.

CAPÍTULO 1

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Sistema de Distribuição Banda Larga usando o sistema SCM	04
Figura 2.2 – Estrutura <i>Fiber to the Curb</i> de uma rede de serviços faixa larga usando SCM	09
Figura 2.3 – Evolução dos serviços usando 4 configurações para o enlace de usuário de 100 MHz	10
Figura 2.4 – Diagrama de blocos dos links analógicos no downlink e no uplink para infra-estruturas PCS	11
Figura 2.5 – Uma estrutura de LAN com múltiplo acesso por SCM	14

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Sistema SCM Óptico Multicanal	18
Figura 3.2 – (a) Multiplexação por Subportadoras (SCM) e (b) o espectro óptico resultante	20
Figura 3.3 – Elementos básicos de um enlace analógico e maiores contribuições de ruídos	21
Figura 3.4 – Sistemas de Transmissão Analógicos (a) IMDD (Intensity Modulation Direct Detection) e (b) Coerente	28

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 – Representação esquemática de enlaces ópticos com: (a) Detecção Direta (DD) (b) Modulação em Amplitude AM (c) Modulação em Fase (PM) (d) Modulação em Frequência (FM).	42
Figura 4.2 – Figura 4.2 - Numero total de produtos de intermodulação de terceira ordem para sistemas com diferentes números de canais.	53

CAPÍTULO 5

Figura 5.1 – SFDR de enlaces DD, AM, PM, e FM versus a potência óptica normalizada transmitida do sinal para um laser DFB com os parâmetros da Tabela 5.1	56
Figura. 5.2 - Principais contribuições individuais de ruído para os enlaces (a) detecção direta (DD) e (b) Modulação em Amplitude (AM)	58

Figura 5.3 – Principais contribuições individuais de ruído para os enlaces (a) com Modulação em Frequência (FM) e (b) Modulação em Amplitude (AM) em função da potência óptica normalizada transmitida (P_s)	59
Figura 5.4 – SFDR de enlaces DD, AM, PM, e FM em função da potência óptica normalizada transmitida do sinal para um laser Nd:YAG com os parâmetros da Tabela 5.1	60
Figura 5.5 – SFDR de enlaces PM e FM em função da largura de linha do laser para potências ópticas normalizadas transmitidas de 0, -15 e -30 dBm	61
Figura 5.6 – Principais contribuições de ruído para o enlace com modulação em Frequência (FM) em função da largura de linha do laser para uma potência normalizada transmitida (P_s) de: (a) 0 dBm e (b) -30 dBm	62
Figura 5.7 – Principais contribuições de ruído para o enlace com modulação em Fase (PM) em função da largura de linha do laser para uma potência normalizada transmitida (P_s) de (a) 0 dBm e (b) -30 dBm	63
Figura 5.8 - SFDR de enlaces DD e AM versus RIN para potências ópticas normalizadas transmitidas de 0, -10 e -20 dBm	64
Figura 5.9 – SFDR de enlaces PM e FM em função da Frequência Intermediária (FI) para os dois conjuntos diferentes de parâmetros de laser. A potência óptica normalizada transmitida está fixa em 0.1 mW	65
Figura 5.10 – SFDR para o sistema AM CATV : (a) versus.largura de linha, para FM e PM (b) versus RIN, para DD e AM. Os requisitos mínimos do sistema são marcados pela linha pontilhada	69
Figura 5.11 – SFDR para Antenna Remoting: (a) versus.largura de linha, para FM e PM (b) versus RIN, para DD e AM	70
Figura 5.12 - SFDR para o sistema SCM Digital : (a) versus.largura de linha, para FM e PM (b) versus RIN, para DD e AM	71
Figura 5.13 – SFDR para o sistema FM CATV : (a) versus.largura de linha, para FM e PM (b) versus RIN, para DD e AM.	72
Figura 5.14 - SFDR para o sistema Rádio Fibra : (a) versus.largura de linha, para FM e PM (b) versus RIN, para DD e AM	73
Figura 5.15 – SFDR para LAN: a) versus.largura de linha, para FM e PM b) versus RIN, para DD e AM	73
Figura 5.16 - SFDR para o sistema de Distribuição banda larga : a) versus.largura de linha, para FM e PM b) versus RIN, para DD e AM	74

LISTA DE TABELAS**Pgs.****CAPÍTULO 4**

Tabela 4.1 - Índice de modulação r (valor genérico) e coeficiente não linear b_3 51
para os vários enlaces.

CAPÍTULO 5

Tabela 5.1 - Parâmetros dos lasers usados nos resultados numéricos 55

Tabela 5.2 - SFDR necessária para várias aplicações 68

Tabela 5.3 - Largura de linha máxima para que enlaces PM e FM preencham os requisitos de SFDR mostrados na Tabela 5.2 para vários níveis de potência normalizada transmitida 68

Tabela 5.4 - RIN máximo para que enlaces DD e AM preencham os requisitos de SFDR mostrados na Tabela 5.2 para vários níveis de potência normalizada transmitida 68

RESUMO

Neste trabalho é analisado o desempenho de enlaces analógicos com detecção direta (IM-DD) e comparado com o de enlaces coerentes com modulação em amplitude (AM), em Frequência (FM) e em Fase (PM). Como método de análise é usada a Faixa Dinâmica Livre de Espúrios (SFDR – Spurious Free Dynamic Range), que tem suas expressões derivadas para enlaces monocal e multicanal. Para os enlaces multicanais é usada a modulação por Subportadoras (SCM – Subcarrier Modulation) que tem os seus princípios explicados. Algumas aplicações para sistemas SCM também são mostradas, e servem de ilustração para os sistemas que serão analisados.

Palavras-chaves: Modulação, Faixa Dinâmica Livre de Espúrios, Modulação por Subportadoras.

ABSTRACT

In this work the performance of analog links with Intensity Modulation - Direct Detection (IM-DD) is compared with coherent links with Amplitude (AM), Frequency (FM) and Phase (PM) Modulation. The analysis method is the Spurious Free Dynamic Range, whose expressions are derived for monochannel and multichannel systems. For Multichannel links is used the Subcarrier Modulation (SCM) and its principles are explained. Some applications for SCM systems are shown, as illustrations of the discussed systems.

Keywords: .Modulation, Spurious Free Dynamic Range, Subcarriers Modulation.