

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

Claudio F.M. Júnior, João C. W.A. Costa.

Departamento de Engenharia Elétrica – Centro Tecnológico
Universidade Federal do Pará
CP: 8619, CEP 66075, Belém – Pa.
e-mail: jweyl@ufpa.br

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). 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 multicanal é usada a modulação por Subportadoras (SCM – Subcarrier Modulation) que tem os seus princípios comentados. Algumas aplicações para sistemas SCM também são mostradas, e servem de ilustração para os sistemas que serão analisados

1. INTRODUÇÃO

Os dois pontos tecnológicos atualmente enfrentados pelos projetistas de sistemas ópticos são a utilização da largura de banda e a combinação de vários tipos de tráfego (voz, vídeo, dados). Ainda é uma barreira a total utilização da enorme largura de banda disponível em uma fibra, em contraponto com a largura de banda restrita disponível para os sistemas com modulação em intensidade / detecção direta (IM/DD). As técnicas de multiplexação por subportadoras (SCM) têm aparecido como uma alternativa promissora para serviços banda larga com combinação de tráfego, mas também possui seus problemas e limitações[1]. Uma importante medida de desempenho para enlaces analógicos é a faixa dinâmica, definida como a relação entre o maior sinal que o sistema pode transportar e o menor sinal. Devido a não-linearidades de sistema, são criados produtos de intermodulação espúrios que podem mascarar ou imitar sinais reais. Então, a faixa dinâmica livre de espúrios (SFDR) é freqüentemente usada como uma medida de desempenho de sistema. A SFDR é a faixa dinâmica onde o máximo nível de sinal é limitado pelos produtos de intermodulação. Neste trabalho será analisado o desempenho de faixa dinâmica de sistemas analógicos coerentes PM, FM, e AM, e este comparado com sistemas IM/DD. Estes sistemas utilizam modulação externa em todos os casos. Embora sistemas analógicos coerentes tenham sido investigados previamente [2], esta investigação contém alguns aspectos particulares:

1) São derivados a relação sinal-ruído (SNR) e a Faixa Dinâmica Livre de Espúrios (SFDR) para enlaces ópticos analógicos DD e AM, FM e PM coerentes, para enfatizar semelhanças e diferenças.

2) A análise do impacto do ruído de intensidade relativa do laser (RIN) inclui a natureza da dependência de freqüência da densidade espectral de potência (PSD) do RIN [2].

3) Em sistemas PM e FM, são consideradas não-linearidades do circuito de demodulação do receptor.

4) Além de considerar sistemas monocal é analisada a SFDR de sistemas DD e sistemas coerentes usados para transmissão de sinais com multiplexação de subportadora (SCM). Baseado na análise de SFDR, são estimados os parâmetros de laser necessários para satisfazer as necessidades de faixa dinâmica de várias aplicações importantes.

2. APLICAÇÕES DE SISTEMAS SCM

2.1 Sistemas de Distribuição de Vídeo

Provavelmente a maior área de aplicação para sistemas SCM por fibras ópticas até o momento tenha sido em distribuição de vídeo ou serviços de CATV [3]. As distâncias de transmissão em tais redes são relativamente pequenas, e os níveis de potência óptica recebida são tais que o ruído balístico ou o RIN são os tipos de ruído dominantes. Linearidade é uma importante preocupação mesmo para profundidades de modulação moderadas porque os sistemas tipicamente envolvem a distribuição de vários canais. Um grande número de produtos de intermodulação cai em cima ou próximo das freqüências das subportadoras e o efeito cumulativo ou *composto* destes produtos - composto de Segunda ordem (CSO) e composto de terceira ordem (CTB) - devem ser levados em consideração. Por exemplo, com a multiplexação de 60 canais igualmente espaçados, mais de 100 produtos de intermodulação podem cair em várias subportadoras (predominantemente na banda central) enquanto que algumas dezenas de produtos de segunda ordem surgirão em algumas freqüências (predominantemente na extremidade da banda).

2.2 Sistemas Rádio-Fibra

Um dos fatores que limitarão o uso de *Fiber-to-the-home* em curto prazo é o custo, e *loops* de assinante por par metálico são mais prováveis neste íterim. Uma alternativa para o enlace final por par metálico pode ser um enlace de rádio. A estrutura da rede, com um *backbone* da fibra óptica conectando os transceptores das estações rádio base, é bastante similar aos usados em uma variedade de aplicações desde a telefonia sem fio [e redes de comunicações pessoais (PCN) até *Antenna Remoting*

para estações terrestres de satélites. As frequências e tamanho das células serão diferentes, mas basicamente estes sistemas são de um tipo conhecido genericamente como rádio-fibra [4]. A multiplexação por subportadoras tem um papel importante na distribuição da rede de fibra destes sistemas. Para uma infraestrutura PCS centralizada, a Fig 1 mostra um diagrama de blocos das estações remotas e uma estação base. A configuração mostrada não permite o compartilhamento de fibras entre o up/downlink ou entre diferentes antenas remotas. No downlink, um sinal modulado em uma única portadora de RF, composta de vários canais de voz TDMA, é amplificado e então usado para modular um laser ou modulador externo. Esta luz modulada é transmitida pela fibra para uma antena remota, detectada, e então amplificada e transmitida para o usuário.

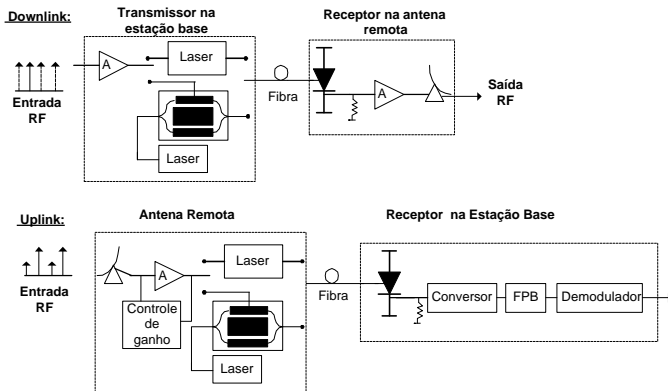


Figura 1 – Diagrama de blocos dos Enlaces analógicos no downlink e no uplink para infra-estruturas PCS

2.3 Redes de Múltiplo Acesso / LANs

Uma das aplicações da SCM em redes de múltiplo acesso é o uso da subportadora como canal de dados. Os quadros de dados podem ser modulados na subportadora usando técnicas de modulação digital como ASK, FSK ou PSK. Protocolos típicos de acesso a LAN podem ser usados em alguns casos, por exemplo com a detecção de colisão incorporando algumas modificações devido às diferenças do meio de transmissão e das técnicas de transmissão. Várias subportadoras diferentes podem ser usadas para sobrepor um número de redes de acesso no mesmo meio físico. Porém, o tipo de superposição que seria mais atraente é a rede de dados e outros tipos de redes, como a distribuição de TV em circuito fechado. A multiplexação de subportadora pode também ser usada como parte da própria técnica de múltiplo acesso. Tal estrutura de rede é mostrada esquematicamente na Fig 2, onde um acoplador estrela é usado para interconectar N usuários. Cada usuário recebe uma frequência de subportadora pré-alocada correspondente ao destino requerido. Os usuários transmitem em um lado da estrela e recebem a soma de todos os sinais transmitidos do outro lado. Circuitos de comunicação diferentes são estabelecidos através da transmissão em uma frequência de subportadora que corresponda ao usuário de destino desejado. A análise de desempenho deste tipo de rede considerando a divisão de potência e as limitações do ruído balístico sugerem um potencial significativo [3].

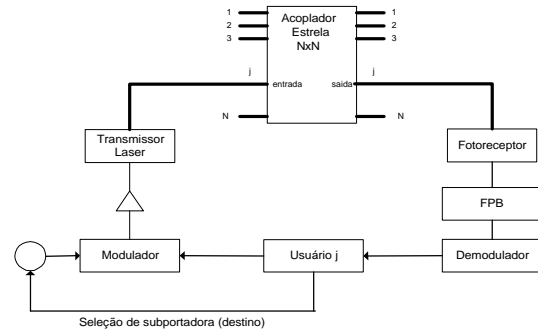


Figura 2 – Uma estrutura de LAN com múltiplo acesso por SCM

3. O SISTEMA SCM

3.1 Multiplexação por Subportadoras (SCM)

O conceito básico que sustenta a Multiplexação por Subportadoras é emprestado da tecnologia de comunicações, a qual emprega múltiplas portadoras de microondas para a transmissão de múltiplos canais (FDM elétrico) sobre cabos coaxiais ou espaço livre. A largura de banda total é limitada bem abaixo de 1 GHz quando cabos coaxiais são usados para transmitir o sinal multicanal de microondas. Porém, se este sinal for transmitido opticamente por fibras ópticas, a largura de banda do sinal pode facilmente exceder os 10 GHz com o uso de uma única portadora óptica. Também, a combinação do SCM com o FDM Óptico (pelo uso de múltiplas portadoras) tem o potencial de atingir largura de banda excedente a 1 THz. Desde que o sinal é transmitido opticamente, a portadora de microondas age como uma subportadora para a portadora óptica, e esta é a técnica conhecida como SCM. Modulações analógica ou digital podem ser usadas, ou uma combinação das duas, para a transmissão de múltiplos sinais de voz, dados, ou vídeo para um grande número de usuários. Cada usuário pode ser atendido por uma única portadora, como no caso de aplicações de telecomunicações em *loop* de assinante, ou o sinal multicanal pode ser distribuído para todos os usuários, como no caso das empresas de CATV. A implementação da multiplexação por subportadora é razoavelmente simples e é uma técnica de fácil realização prática. Um sinal de microondas ou RF (a subportadora) é usado para modular uma portadora óptica. Isto resulta em um espectro óptico consistindo da portadora óptica original mais dois tons localizados em $f_o \pm f_s$ onde f_o é a frequência da portadora óptica e f_s é a frequência da subportadora de RF. Se a subportadora é então modulada com dados (ou vídeo, ou tráfego telefônico), então tons centrados em $f_o + f_s$ e $f_o - f_s$ são produzidos. Múltiplos canais podem ser multiplexados em uma mesma portadora óptica através do uso de múltiplas subportadoras. No receptor os canais são demultiplexados usando detecção direta e então aplicando heterodinagem e filtragem ao sinal de RF resultante. O processo é ilustrado na Figura 3.(a) e (b).

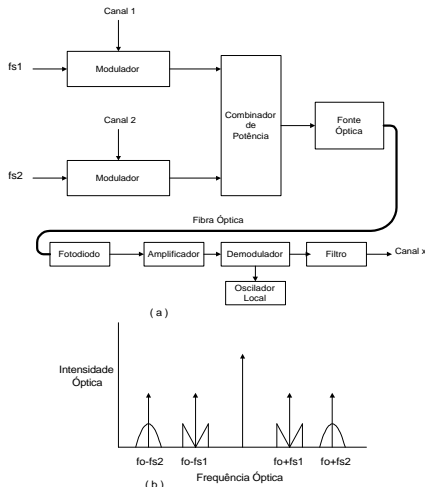


Figura 3 – (a) Multiplexação por Subportadoras (SCM) e (b) o espectro óptico resultante

A modulação analógica de portadoras ópticas pode ser seguida pelo uso de moduladores externos ou pela modulação direta de diodos laser semicondutores. As taxas limites atualmente estão em torno de 20 GHz. Para usar mais da largura de banda é necessário combinar a SCM com outros métodos e a faixa larga de divisão do espectro óptico como o WDM. A maior vantagem da SCM é que muitos dos componentes necessários para um sistema deste tipo já estão disponíveis comercialmente. Moduladores, mixers e amplificadores usados em CATV e TV via satélite podem ser usados permitindo uma solução de baixo custo ao problema de aproveitamento da banda óptica. Uma característica da SCM é que pode ser usada para uma ampla faixa de aplicações, como já comentado na seção 2. Também existe vantagem de que é bastante fácil a mistura de vários tipos de tráfego, por exemplo: vídeo analógico, telefonia digital e transmissão de dados podem ocupar a mesma fibra.

4. RELAÇÃO SINAL RUÍDO (SNR) E FAIXA DINÂMICA LIVRE DE ESPÚRIOS (SFDR) PARA ENLACES ANALÓGICOS

4.1 Relação Sinal - Ruído

Diagramas de bloco de enlaces com detecção direta (DD), modulação em amplitude (AM), modulação em frequência (FM) e modulação em fase (PM), os três últimos casos com detecção coerente, são mostrados na Figura 4. No enlace DD, o sinal de entrada é aplicado a um modulador de Mach-Zehnder. No receptor, o sinal óptico é detectado e é passado por um amplificador banda base. No sistema AM coerente, o sinal é combinado com a luz de um laser oscilador local (OL), que usa um acoplador direcional de 3 dB. Este sinal óptico é então detectado, amplificado em frequência intermediária (FI), e aplicado a um dispositivo quadrático para recuperar o sinal banda base. No sistema PM, o sinal de entrada é a fase modulada de uma portadora óptica. No receptor, sinal é combinado com a luz do laser OL e detectado. É então amplificado em FI, limitado, passado por um filtro de atraso de linha, detectado em envelope, e integrado. O receptor FM é idêntico ao PM, exceto que não há nenhum integrador antes da saída. É definida uma potência óptica normalizada transmitida $P_S = P_{laser} \cdot L_e$, onde P_{laser} é a

potência de saída do laser transmissor, L_e é a perda de excesso do enlace e esta é usada nas comparações de enlace deste trabalho.

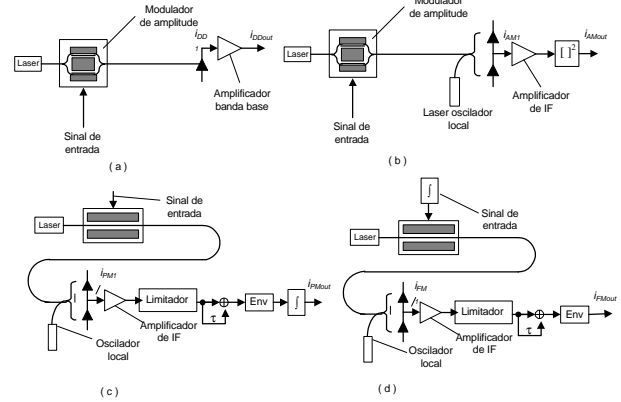


Figura 4 - Representação de enlaces ópticos: (a) Detecção Direta (DD) (b) Modulação em Amplitude AM (c) Modulação em Fase (PM) (d) Modulação em Frequência (FM).

Com base na figura 4 são derivados os campos elétricos e as correntes de saída de cada enlace.[2]. Com estas informações deriva-se então a relação sinal ruído para os enlaces, das pelas equações seguintes:

$$SNR_{DD} = m^2 \frac{(RP_S)^2 \langle x^2(t) \rangle}{(RP_S)^2 \langle n_{RShb}^2 \rangle + 4 \langle n_{Dbb}^2 \rangle} = m^2 SNR_{DDo} \quad (1)$$

$$SNR_{AM} = m^2 \frac{R^2 P_S P_{LO} \langle x^2(t) \rangle}{R^2 P_S P_{LO} (\langle n_{RShb}^2 \rangle + \langle n_{RLObb}^2 \rangle) + \frac{1}{4} b(RP_S)^2 \langle n_{RShp}^2 \rangle + b(RP_{LO})^2 \langle n_{RLOhp}^2 \rangle + 4 \langle n_{Dbb}^2 \rangle} = m^2 SNR_{AMo} \quad (2)$$

$$SNR_{PM} = j_{\Delta}^2 \frac{4R^2 P_S P_{LO} \langle x^2(t) \rangle}{4R^2 P_S P_{LO} (\langle j_{ns} - j_{nLO} \rangle^2) + (1/4)b(RP_S)^2 \langle n_{RShp}^2 \rangle + \frac{1}{4}b(RP_{LO})^2 \langle n_{RLOhp}^2 \rangle + 4 \langle n_{Dbb}^2 \rangle} = j_{\Delta}^2 SNR_{PMo} \quad (3)$$

$$SNR_{FM} = \left(\frac{w_{\Delta}}{B} \right)^2 \frac{4B^2 R^2 P_S P_{LO} \langle x^2(t) \rangle}{4R^2 P_S P_{LO} (\langle j_{ns} - j_{nLO} \rangle^2) + \frac{1}{4}b(RP_S)^2 \langle n_{RShp}^2 \rangle + \frac{1}{4}b(RP_{LO})^2 \langle n_{RLOhp}^2 \rangle + 4 \langle n_{Dbb}^2 \rangle} = \left(\frac{w_{\Delta}}{B} \right)^2 SNR_{FMo} \quad (4)$$

Onde B é a largura de banda do sinal banda base $x(t)$, R é a responsividade do fotodetector, P_S é a potência óptica normalizada transmitida, P_{LO} é a potência total do oscilador local recebida no fotodetector. Os termos de ruído (no denominador) são definidos em [2].

4.2 Faixa Dinâmica Livre de Espúrios (SFDR)

Um parâmetro importante na medida do desempenho de um enlace analógico é a faixa dinâmica, definida como a razão entre a maior e a menor intensidade de sinal que um sistema pode transportar. Porém, devido a não linearidades nos sistemas, são criados produtos de intermodulação espúrios, os quais podem mascarar ou imitar sinais reais. Portanto, a SFDR (Spurious Free Dynamic Range) é normalmente usada como medida de desempenho para um sistema analógico.

De maneira simplificada, a SFDR é faixa dinâmica onde o máximo nível de sinal é limitado pelos produtos de intermodulação. A potência mínima de RF de entrada para esta faixa é aquela que resulta no sinal recebido com o mesmo nível do ruído gerado pelo receptor e pelo ruído de intensidade relativa do laser (RIN). A potência máxima de RF de entrada nesta faixa é aquela onde o produto de intermodulação de terceira ordem gerado pelas não linearidades do laser ou do modulador externo está no mesmo nível do ruído. Na derivação da SFDR é assumido um sinal de teste normalizado da forma[2]

$$x(t) = \mathbf{a}_1 \cos(\mathbf{w}_1 t + \mathbf{j}_1) + \mathbf{a}_2 \cos(\mathbf{w}_2 t + \mathbf{j}_2) \quad (5)$$

onde $\alpha_1^2 + \alpha_2^2 = 1$, levando a $\langle x(t)^2 \rangle = 0.5$, e ϕ_1 e ϕ_2 são constantes de fase arbitrárias. Para uma largura menor que uma oitava da largura de banda total, a máxima potência de intermodulação que cai dentro da faixa é :

$$\langle i_{NL3}^2 \rangle = \frac{9}{128} S^2 b_3^2 r^6 \quad (6)$$

onde os únicos termos importantes que caem dentro da banda do sinal estão em $2\omega_1 - \omega_2$ e $2\omega_2 - \omega_1$. Isto acontece para $\alpha_1 = \alpha_2 = 1/\sqrt{2}$. Fazendo a potência de intermodulação igual à potência de ruído, mostra-se[2] que o índice de modulação útil máximo é determinado por

$$r^2 = \left(\frac{64}{9} \frac{1}{b_3^2 SNR_o} \right)^{1/3} \quad (7)$$

Considerando que a SFDR é definida como o SNR para a máxima profundidade de modulação útil, tem-se [2]:

$$SFDR = \left[\frac{8SNR_o}{3|b_3|} \right]^{2/3} \quad (8)$$

4.3 Faixa Dinâmica Livre de Espúrios em enlaces com Multiplexação por Subportadoras (SCM)

Num enlace com multiplexação de subportadora (SCM), a largura de banda total do sinal B é partida em N canais, cada qual com uma largura de banda B/N. Para calcular a potência de Intermodulação (IMD), o sinal de teste de (5) será generalizado:

$$x(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=1}^N \cos(\mathbf{w}_n t + \mathbf{j}_n) \quad (9)$$

onde ω_n cai dentro da faixa do n -ésimo canal. É assumido que as fases dos vários canais ϕ_n são descorrelatadas de forma que a potência do sinal de entrada é normalizada a $\langle x(t)^2 \rangle = 0.5$. O número de máximo de produtos de intermodulação de terceira ordem que caem na faixa do n -ésimo canal é [5]

$$M = \frac{n}{2}(N - n + 1) + \frac{1}{4}[(N - 3)^2 - 5] \quad (10)$$

M alcança seu valor de máximo para $n = N/2$ e seu valor mínimo para $n = 1$. Para $N > 10$, o valor mínimo de M é 0.6 vezes maior que o seu valor máximo, e M é então relativamente insensível a n. A potência máxima de IMD dentro da banda de um canal é

$$\langle i_{NL3}^2 \rangle = \frac{9}{16} \frac{M}{N^3} s^2 b_3^2 r^6 \quad (11)$$

Resolvendo para a máxima profundidade de modulação como em (7), conclui-se que a SFDR para um canal n é determinada por

$$SFDR = \left(\frac{8}{9} \frac{N^3}{M} \right)^{1/3} \left(\frac{SNR_o^{canal\ n}}{|b_3|} \right)^{2/3} \quad (12)$$

onde $SNR_o^{canal\ n}$ é a SNR_o correspondente a um canal n. Para N grande e fazendo $n = N/2$, ponto onde está localizado o pior caso de intermodulação, acha-se $M \cong 3N^2/8$ e aproxima-se (12) para

$$SFDR \cong \frac{4}{3} N^{1/3} \left(\frac{SNR_o^{canal\ n}}{|b_3|} \right)^{2/3} \quad (13)$$

Se a potência óptica recebida total é fixa e o espectro de ruído da corrente de saída é independente da faixa de frequência de canal, então a SFDR de um sistema de N canais é dada por:

$$SFDR \cong \frac{4}{3} N^{1/3} \left(\frac{SNR_o^{1\ canal}}{|b_3|} \right)^{2/3} \quad (14)$$

onde $SNR_o^{1\ canal}$ é a SNR_o de um sistema transmitindo um único canal com potência óptica recebida total.

5. RESULTADOS NUMÉRICOS

5.1 Análise de Faixa Dinâmica para enlaces Monocanal

Nesta seção será avaliada a SFDR dos quatro enlaces (DD, AM, FM e PM) para uma variedade de parâmetros, assim como as exigências de laser para os enlaces AM, FM, PM e DD. Nos exemplos considerados, o sinal ocupa uma única oitava da largura de banda disponível, para eliminar problemas com termos de intermodulação de segunda ordem [3]. Dos lasers usados, o de Nd:YAG exibe baixas frequências de oscilação de relaxamento e largura de linha estreita, e o DFB exibe frequências de oscilação de relaxamento altas e larguras de linha maiores. Os parâmetros do laser DFB são típicos de vários lasers comerciais [2]. A Figura 5 mostra um gráfico de SFDR versus largura de linha do laser para os enlaces PM e FM com valores de P_s de -30, -15, e 0 dBm. Em baixas potências recebidas, a largura de linha tem pequeno impacto desde que o ruído total é dominado pelo ruído térmico. Para altos níveis de potência recebida, o impacto do ruído de fase nos enlaces FM e PM é severo, com a SFDR sendo reduzida de 7 dB para cada fator de 10 de acréscimo na largura de linha. A Figura 6 mostra um gráfico de SFDR versus RIN para enlaces DD e AM com valores de $P_s = -20, -10, e 0$ dBm. A frequência de "roll-off" do RIN é de 3 GHz. Devido à imunidade inerente dos enlaces DD e AM ao ruído de fase, estas curvas serão independentes da escolha de largura de linha de laser. A níveis de potência de sinal de -20, -10, e 0 dBm, o enlace DD começa a ter melhor desempenho que o enlace AM para valores de RIN em -110, -128, e -149 dB/Hz, respectivamente. Para altos valores de

potência óptica recebida e RIN, a SFDR é reduzida em aproximadamente 7 dB para cada 10 dB de aumento do RIN.

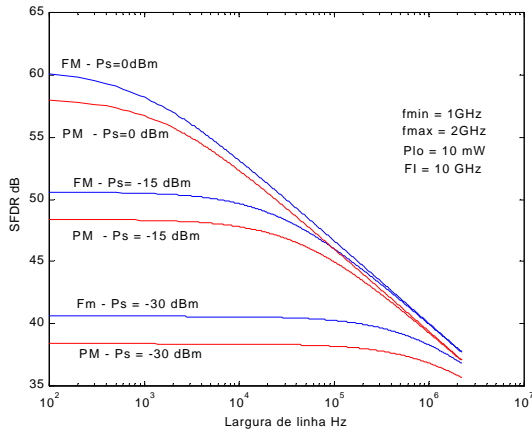


Figura. 5 - SFDR de enlaces PM e FM em função da largura de linha do laser para potências ópticas normalizadas transmitidas de 0, -15 e -30 dBm

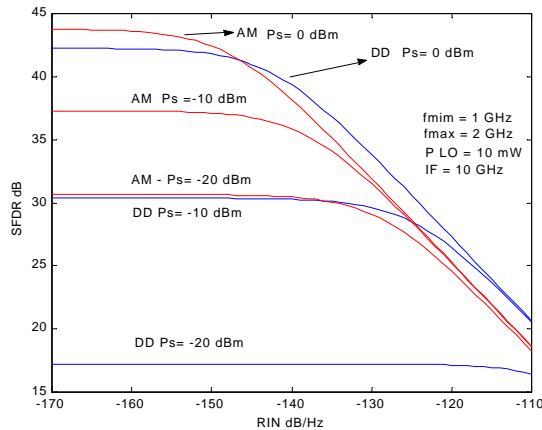


Figura 6. SFDR para o sistema AM CATV versus RIN, para DD e AM. Os requisitos mínimos do sistema são marcados pela linha pontilhada.

5.2 Análise de faixa Dinâmica para enlaces Multicanais.

Serão analisados a seguir os requisitos de operação para vários sistemas SCM tendo suas faixas dinâmicas necessárias mostradas na Tabela I.. Nas Figuras 7 a 10 estes requisitos de faixa dinâmica serão destacados por uma linha pontilhada. Os sistemas comparados têm largura de banda variando de 600 KHz a 2 GHz. As larguras de bandas de canais individuais em cada aplicação são bastante diferentes, assim, a largura de linha, RIN, e exigências de potência óptica descritas nesta seção não devem ser usadas para comparar formatos de SCM e sim o desempenho dos quatro enlaces. Parâmetros de sistemas como FI (Frequência Intermediária) e potência do OL (Oscilador Local) são iguais aos dos sistemas monocal. Em todos os casos vale ressaltar que o canal com o pior caso de SFDR é usado para definir

se desempenho do sistema é aceitável para uma determinada aplicação. Serão mostradas então as simulações para os sistemas AM CATV, SCM digital, Rádio Fibra e LAN. As simulações para outros sistemas, inclusive para enlaces FM e PM podem ser vistas em [6]. Para sistemas de CATV AM, uma SFDR de 50 dB é necessária em uma largura de banda de 4 MHz [7], conforme a Figura 7. Até mesmo a uma P_s de 10 mW, tal faixa dinâmica é inalcançável para sistemas DD e AM sem linearização do modulador: para o enlace DD, o menor valor de potência que preenche os requisitos é de 50 mW, com intensidade do RIN de -178 dB/Hz. O enlace AM não alcança esta faixa até mesmo para uma potência de 100 mW. Em um sistema SCM digital, uma SFDR de 17 dB para uma largura de banda de 10 MHz é requerida [2], vista na Figura 8. Esta condição também pode ser alcançada em um sistema DD com uma P_s de 50 μ W. O sistema AM coerente pode satisfazer a SFDR necessária a uma P_s de 20 μ W. Para estas pequenas potências ópticas, altos valores de RIN são necessários, a fim de que este domine o ruído térmico. Para um sistema rádio-fibra, uma faixa dinâmica de 72 dB/Hz é necessária [8] em uma largura de banda total de 600 KHz, de acordo com a Figura .9. Com esta alta faixa dinâmica, somente os enlaces FM e PM conseguirão preencher os requisitos do sistema. Os enlaces DD e AM, mesmo para uma potência de 100 mW, ficam distantes dos requisitos necessários. Com uma largura de banda total de 2 GHz e uma necessidade de faixa dinâmica de 17 dB [3], os sistemas de LAN mostrados na seção 2 podem ser implementados com enlaces DD e AM, alcançando a faixa dinâmica necessária a uma potência de 1 mW, conforme a Figura 10. O enlace AM tem o seu melhor desempenho em baixas potências ($P_s \leq 20 \mu$ W) com fontes de alta largura de linha, como é o caso dos sistemas FM CATV e SCM Digital. Para altas potências normalizadas transmitidas, onde podem operar no limite do ruído balístico, os sistemas de detecção direta mostram os seus melhores valores de faixa dinâmica, como é o caso do sistema AM CATV.

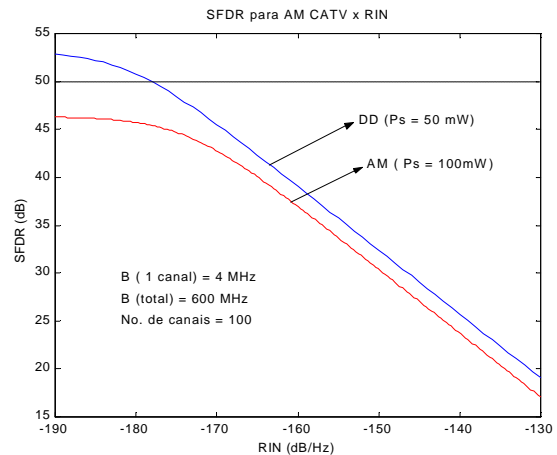


Figura 7. SFDR para o sistema AM CATV versus RIN, para DD e AM. Os requisitos mínimos do sistema são marcados pela linha pontilhada.

Tabela I - SFDR necessária para várias aplicações

	CATV AM	SCM digit.	Radio Fibra	LAN
SFDR	50 dB	17 dB	73dB	17 dB
Banda do canal	4 MHz	10 MHz	30 kHz	20 MHz
N ^o de canais	100	80	8	100
Banda total do sinal	600 MHz	1 GHz	600 KHz	2 GHz

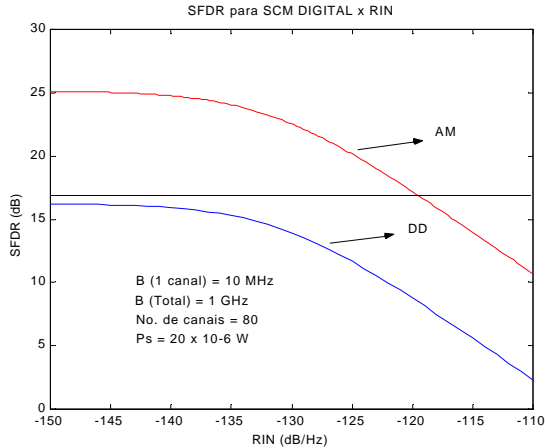


Figura 8 - SFDR para o sistema SCM Digital versus RIN para AM e DD.

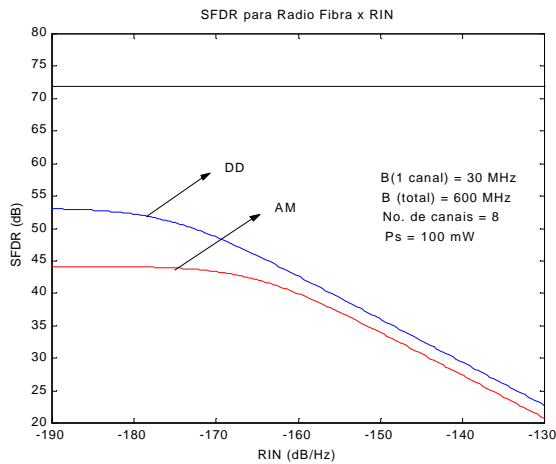


Figura. 9. SFDR para o sistema Rádio Fibra versus RIN, para DD e AM.

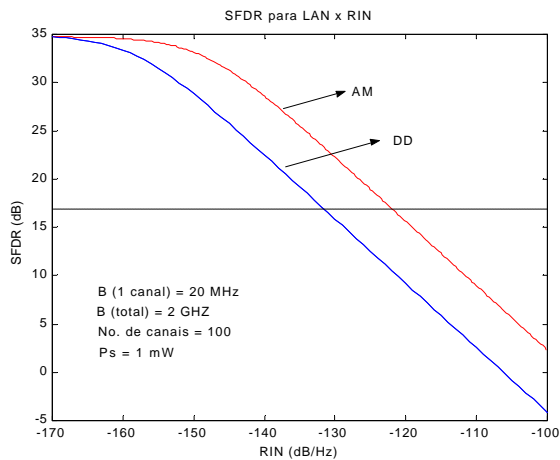


Figura 10. SFDR para LAN versus RIN, para DD e AM.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi analisado o desempenho de enlaces ópticos analógicos coerentes que empregam portadoras moduladas em amplitude (AM) e comparadas suas faixas dinâmicas livres de espúrios (SFDR) às dos enlaces de modulação de intensidade e detecção direta (DD). Enlaces coerentes DD e AM podem ser projetados para serem essencialmente insensíveis ao ruído de fase. No caso de DD, o enlace é verdadeiramente independente da largura de linha. No caso do enlace AM, o ruído de fase causa alargamento da largura de banda de frequência intermediária (FI). Se a largura de banda da seção de FI do receptor sofrer um alargamento considerável, a penalidade devida à conversão de ruído de fase em ruído de amplitude pode ser considerada desprezível. Enlaces DD e AM são intrinsecamente sensíveis ao RIN. Foi apresentada uma análise da SFDR de sistemas DD e AM coerentes quando utilizados para transmissão por subportadora multiplexada (SCM). Os resultados derivados são usados para achar a potência de sinal, largura de linha do laser, e valores de RIN para sistemas de vídeo analógicos, sistemas SCM digitais, Rádio Fibra e LAN. Sistemas AM são muito efetivos para potência transmitida normalizada na faixa de -30 a -3 dBm com fontes de ampla largura de linha. No limite do ruído balístico ($O_s > 3$ dBm), enlaces DD convencionais são a melhor escolha entre os enlaces analisados.

7. REFERÊNCIAS

- [1] Davies P.A and .Gomes N.J. *Subcarrier Multiplexing in Optical Communication Network*. In *Analog Optical Fibre Comm.* IEE Telecom Series 32, UK., 1995, p 1-32.
- [2] Kalmann R. F., Fan J. C. and Kazovsky L. G. *Dynamic Range of Coherent Analog Fiber-Optic*, Journal of Lightwave Technology, Vol. 12, nº 7, July 1994, p 1263-1277.
- [3] Darcie T. E., *Subcarrier Multiplexing for Lightwave Networks and Video Distribution Systems* IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 8, nº 7 September 1990, p 1240-1248.
- [4] Tonguz, T. K. and Jung H. *Personal Access Networks Using Suncarrier Multiplexed Optical Links* Journal of Lightwave Technology, Nº 6 Jun 1996, p 1400-1409.
- [5] Salgado H. M. And O'Reilly J.J., Performance Assessment of subcarrier Multiplexed Optical Systems Donovan In *Analog Optical Fibre Communications* IEE Telecommunications Series 32, U. K., 1995, p 177-201.
- [6] Melo Jr. C. F. e Costa J. C. W. A. *Análise da Faixa Dinâmica de Enlaces Ópticos Analógicos Multicanais para Integração de Redes de Telecomunicações* – Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Pará, 2001.
- [7] Childs R. B. And O'Byrne V. A., *Multichannel AM Vídeo Transmission Using a High-Power Nd:YAG Laser and Linerized External Modulator* IEEE Journal on Selected Areas in Comm., Vol. 8, nº 7 Sept. 1990, p 1369-1376.
- [8] Fan J. C. *Dynamic Range Requirements for Microcellular PCS Using Analog Fiber-Optic Links* IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques, Vol 45, Nº8, August 1997, p 1390-1397.