

Dispositivos Optoeletrônicos para Detecção e Transmissão de Sinais em HF/VHF via Fibra Óptica Polimérica na Área de Defesa

Jorge A. M. Souza, Ricardo M. Ribeiro, Odair S. Xavier, Andrés P. L. Barbero

Laboratório de Comunicações Ópticas, Departamento de Engenharia de Telecomunicações, Universidade Federal Fluminense, 24.210-240 Niterói RJ Brasil

Marbey M. Mosso

CETUC - PUC, Pontifícia Universidade Católica, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Resumo — Apresentamos o desenvolvimento de dispositivos de detecção eletromagnética passiva capazes de modular portadoras ópticas com sinais de rádio em faixas espectrais de interesse militar na área de defesa. Os dispositivos realizam transmissão analógica por fibras ópticas poliméricas. Os protótipos apresentados, utilizam antenas de laço (*loop*), LEDs e fibras ópticas plásticas de PMMA devido a robustez, simplicidade e baixo custo global. Para demonstrar a operação em HF/VHF, são apresentados resultados de detecção da faixa AM e FM comerciais emitidas em campo-distante. O dispositivo fundamentalmente funciona como uma sonda optoeletrônica, mas pode operar em 4 diferentes modalidades: rastreamento espectral do ambiente, detecção/distribuição remota de sinais, caracterização de antenas e medidas de EMC sem o uso de cabos metálicos e na medição de campos magnéticos em RF independente de variações da atenuação na fibra.

Palavras-Chave — Fotônica, sonda eletromagnética, rádio-sobre-fibra.

I. INTRODUÇÃO

Os dispositivos descritos neste trabalho, não foram originalmente concebidos para aplicações militares. Entretanto, a partir de um levantamento cuidadoso da literatura disponível, foi possível compilar alguns trabalhos que evidenciam o interesse nos referidos dispositivos para aplicações militares na área de defesa.

1º) Pode-se usar fibras ópticas para a distribuição dos sinais de rádio captados pelas diversas antenas normalmente instaladas em navios militares e distribuí-los para determinados setores da embarcação. Além de permitir a redução de todo o volume e peso dos fios e cabos normalmente existentes nos navios, o uso de fibra óptica também reduz ou elimina interferências eletromagnéticas e aumenta a banda-passante disponível [1].

2º) Antenas adequadas para diversas bandas de frequências, conectadas cada uma à um enlace de fibra óptica, podem ser utilizadas no rastreamento eletromagnético ambiental móvel [2] ou fixo [3]. Do ponto de vista militar na área de defesa, em certas situações de guerra eletrônica [4], torna-se importante monitorar remotamente em tempo real o nível de amplitude do campo eletromagnético considerando as frequências no espectro de rádio presentes num certo ambiente.

3º) Sinais de rádio desde HF [5] até vários GHz podem ser captados por um conjunto de antenas e transmitidos para localidades remotas com a utilização de fibras ópticas. Estas últimas, podem por exemplo alimentar antenas de radar [6].

4º) Fibras ópticas podem substituir cabos metálicos na instrumentação dedicada à caracterização de antenas [7] e medidas de EMC [8], tanto no interior de câmaras anecóicas, quanto em ambientes externos.

Alguns modelos comerciais sofisticados de sondas optoeletrônicas de interesse militar são aqui exemplificados:

a) Medidor (com antena de laço ativa) de campo magnético entre 15 Hz e 50 MHz modelo *Meloppe* HT 21 *Active Sensor* da empresa *Thales Communications*, útil para a medida de transientes, controle de emissões de origem magnética e diagnóstico.

b) Sistema *Fiber Optic Remote Amplifier Extension* (FORAX™) da empresa *Syntonics*, onde as antenas receptoras ativas de rádio na faixa VHF/UHF podem ser convenientemente posicionadas a quilômetros de distância da Unidade de Interface de Rádio.

c) Sistemas da empresa *Photonuum*: diversos sistemas ópticos para compor linhas de atraso e defasamento em radares, alimentação remota de antenas, comunicações em campo de batalha (incluindo a cobertura de zonas de sombra), instalações de rádio-sobre-fibra em aeronaves e embarcações, sistemas de *direction-finding* e sistemas de contra-medidas.

Neste trabalho, é descrito o desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos relativamente simples, de pequenas dimensões, robustos e de baixo custo. São capazes de fundamentalmente detectar sinais de rádio nas faixas HF e VHF, e enviá-los através de fibra óptica plástica para demodulação remota. Desta forma, o dispositivo pode realizar detecção/rastreamento espectral e distribuição remota através de fibras ópticas, o que é exemplificado através do aproveitamento do campo-distante emitido por rádio-difusoras comerciais em AM e FM. Além desta função primordial, o dispositivo após calibração adequada e o uso de uma técnica desenvolvida [9], pode funcionar como um medidor remoto e preciso de campos magnéticos em RF via fibra óptica. Com a inclusão de um amplificador na recepção, o dispositivo pode tornar-se um repetidor de sinais de RF. Tais modalidades de operação do dispositivo optoeletrônico aqui apresentado são de interesse da área de defesa militar.

II. O DISPOSITIVO OPTOELETRÔNICO

O dispositivo optoeletrônico pode ser dividido em três módulos distintos. Um módulo captador-transmissor óptico (Tx) e um receptor óptico (Rx), conectados entre si através de um enlace de aproximadamente 5 metros de fibra óptica

plástica (POF) de PMMA (*polymethylmethacrylate*). A Fig. 1 esquematiza o dispositivo optoeletrônico quando conectado à um equipamento de visualização/análise/demodulação, como um osciloscópio ou analisador de espectro elétrico (ESA).

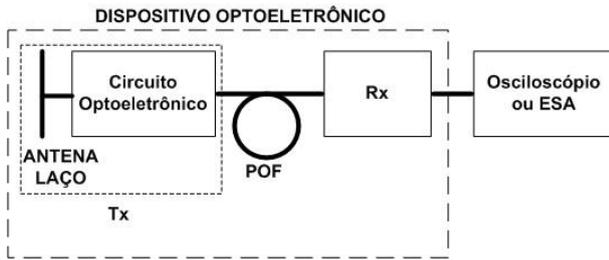


Fig. 1. Configuração esquemática básica do dispositivo optoeletrônico quando conectado à um equipamento analisador de RF.

A. Módulo Tx

O módulo Tx consiste em uma antena de laço retangular comercial que é integrada num circuito optoeletrônico fazendo uso de um LED ultra-brilhante como fonte óptica.

A Fig. 2 mostra esquematicamente a configuração experimental destinada à medir o “fator de antena” (*antenna factor*) da antena de laço utilizada no dispositivo. As duas antenas de laço são idênticas. Uma delas está ligada à um gerador de RF e a outra à um ESA. As medições foram feitas no campo-próximo, estando as antenas sempre numa mesma distância de separação de 33,5 cm. A amplitude de voltagem fornecida pelo gerador de RF era sempre mantida num mesmo valor. A amplitude do sinal no ESA era medida para uma faixa de frequência que foi feita variar de 300 kHz até 300 MHz. Um procedimento importante realizado, foi a calibração prévia do aparato, de forma que o conector BNC das antenas não influenciasse o resultado das medidas.

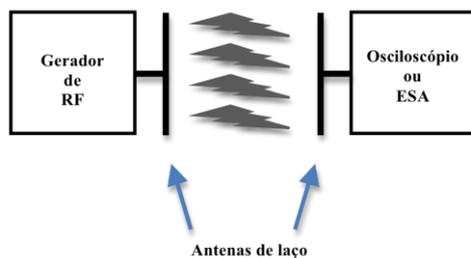


Fig. 2. Esquema da configuração experimental para a medida do “fator de antena” das antenas de laço.

A Fig. 3 mostra o gráfico da resposta da antena de laço com uma volta de fio ($N = 1$) em função da variação da frequência.

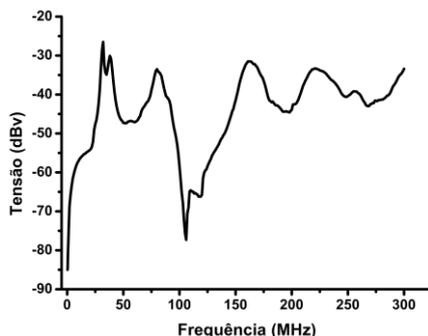


Fig. 3. Gráfico da resposta do “fator de antena” da antena de laço com $N = 1$ em função da frequência na faixa 300 kHz-300 MHz.

A Fig. 4 mostra o gráfico da resposta da antena de laço com sete voltas de fio ($N = 7$) em função da variação da frequência.

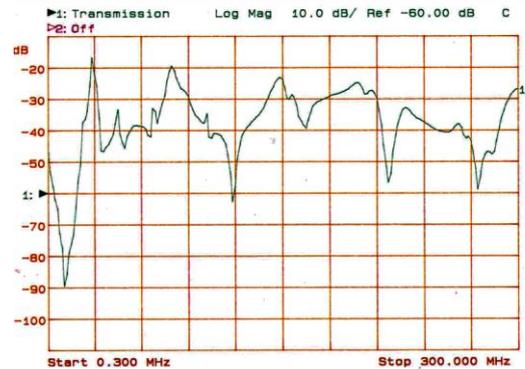


Fig. 4. Gráfico da resposta do “fator de antena” da antena de laço com $N = 7$ em função da frequência na faixa 300 kHz-300 MHz.

Pode-se notar das Figs. 3 e 4 que os gráficos possuem formato semelhante na faixa de VHF (30-300 MHz), inclusive com máximos em torno de 30, 80, 165 e 225 MHz. Porém, a grosso modo na faixa de VHF, o nível de sinal para $N = 7$ está pelo menos 10 dB acima ao ser comparado com $N = 1$, inclusive para 88-108 MHz (FM). Entretanto, na faixa mais baixa de frequências (< 30 MHz) que engloba o HF, o nível de sinal para $N = 7$ é maior que $N = 1$. Pode-se notar na Fig. 4 ($N = 7$) que para < 6 MHz, o nível de sinal está pelo menos 20 dB acima de $N = 1$, inclusive para 535-1730 kHz (AM).

Um *bias-T* combina ou separa sinais DC e RF. No presente caso, o referido dispositivo combina a tensão V_{bias} de polarização do LED, com o sinal de RF gerado pela antena. Utilizou-se uma pequena bateria recarregável como fonte DC, ajustada de modo a fornecer $V_{bias} = 2,0$ V para o LED, que então emitia sinal óptico contínuo pois estava polarizado acima de seu valor limiar de 1,7 V.

Como fonte óptica, foi utilizado um LED ultra-brilhante em configuração *pigtail* com POF emitindo em 650 nm modelo *hyper-red* da Diemount GmbH. O referido LED não é usual e realiza um papel fundamental no “dispositivo optoeletrônico”. Deve-se enfatizar que o LED foi projetado e fabricado para propósitos de iluminação e visualização, e não para comunicações de dados ou enlaces analógicos de RF [9,10].

B. Fibra óptica polimérica

Os módulos Tx e Rx são conectados entre si com um segmento de ~ 5 m de fibra óptica plástica de PMMA com cobertura de polietileno branco, que se constitui como o meio físico de transmissão (enlace). Este tipo de fibra possui atenuação tipicamente na faixa 140-180 dB/km em 650 nm. Apesar destes valores relativamente altos de atenuação, as POFs aqui utilizadas são inteiramente convenientes para dispositivos dotados de enlace de até algumas dezenas de metros, devido a facilidade de conexão e manipulação, robustez mecânica, segurança na operação, disponibilidade e baixo custo [9,10].

C. Módulo Rx

O módulo Rx realiza a foto-deteção do sinal, ou seja, a conversão óptico-elétrica e pode ser conectado à um osciloscópio ou ESA. Consiste essencialmente em um foto-diodo de silício com pré-amplificador integrado que foi selecionado conforme a banda de frequências a ser detectada. Em ambos os casos, a extremidade clivada da POF ficava cerca de 3 mm afastada do foto-diodo de Si devido as janelas transparentes de proteção. Como não foram usados quaisquer tipos de micro-lentes, estima-se através de um simples cálculo geométrico uma perda em torno de 10 dB no processo de foto-deteção.

III. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DO DISPOSITIVO OPTOELETRÔNICO PARA HF

A Fig. 5 mostra o circuito elétrico equivalente do módulo Tx que pode ser decomposto três partes distintas. Da esquerda para à direita na Fig. 5: i) Uma antena de laço retangular 12x10 cm com 8 voltas de fio ($N = 8$), utilizada normalmente para a captação de sinais AM em rádio-receptores comerciais, ii) Um *bias-T* de montagem própria, utilizando um indutor de indutância de $L = 33 \mu H$ combinado com um capacitor ajustável C_{SINT} em torno de 4 nF ou de poucos pF para realizar sintonização fina na banda AM ou no extremo do HF, respectivamente e iii) Um LED representado por sua impedância resistiva R_{LED} e capacitância da junção C_{LED} .

A antena de laço utilizada na sonda teve seu valor de indutância L_{ANT} medido com um indutímetro e obteve-se um valor em torno de 30 μH . Porém, um cálculo teórico [11] forneceu $L_{ANT} = 15,1 \mu H$. A impedância resistiva da antena pode ser calculada utilizando as equações disponíveis na literatura [12], o que forneceu $R = 0,0437 \Omega$. A antena de laço por ter mais de uma volta de fio, ou seja, 8 (oito) voltas, adquire uma capacitância parasita no circuito que é denominada auto-capacitância e é simbolizada por C_{ANT} .

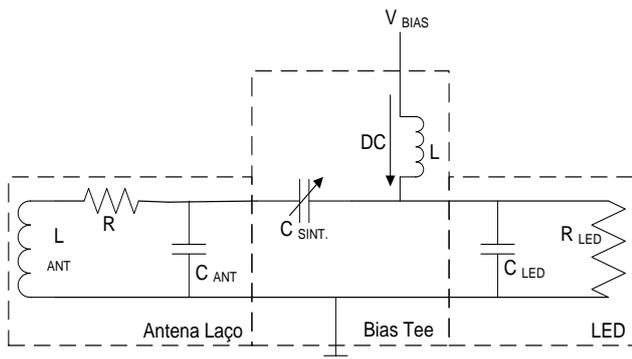


Fig. 5. Circuito elétrico equivalente do módulo Tx do dispositivo optoeletrônico funcionando na faixa de HF. Dividido em 3 partes.

A Fig. 6 mostra a fotografia do protótipo construído. Pode-se notar os módulos Tx (com a antena de laço) e Rx blindados e conectados entre si com ~ 5m e POF.

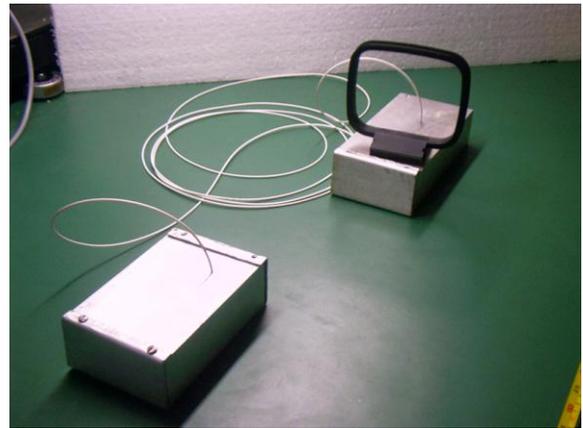


Fig. 6. Fotografia do protótipo do dispositivo optoeletrônico operante na faixa de HF.

A Fig. 7 mostra a fotografia apenas do módulo Rx da sonda. Deve-se notar que um conector BNC macho está internamente conectado ao circuito. Através do conector BNC, o módulo Rx pode ser conectado à algum equipamento de visualização e análise de sinais, como um osciloscópio ou ESA. O módulo Rx consiste essencialmente de um foto-diodo de silício com um pré-amplificador integrado modelo S6468-02 fabricado pela Hamamatsu. Possui largura de banda de 35 MHz (-3 dB) com ganho de transimpedância de 20 k Ω e uma sensibilidade de ~ 8,5 mV/ μW em 650 nm. O foto-diodo possui um *chip* semiconductor com 0,8 mm de diâmetro protegido por uma janela de vidro. No circuito do módulo Rx, é também inserido um capacitor de 100 nF para eliminar quaisquer oscilações que surgem após o foto-diodo ser polarizado com 5 V.

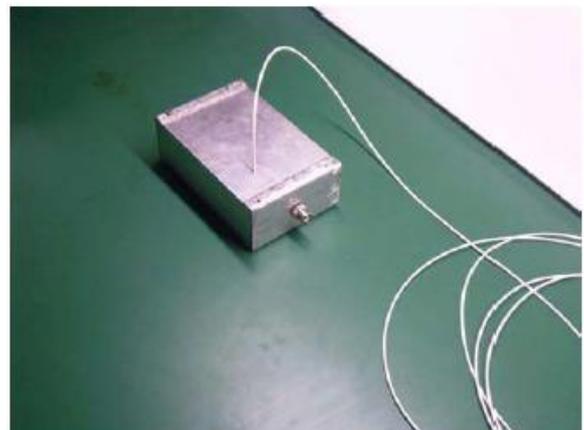


Fig. 7. Fotografia do módulo Rx do dispositivo optoeletrônico operante em HF. Deve-se notar, além da fibra óptica plástica, a inclusão de um conector BNC macho que permite a conexão do protótipo com um osciloscópio ou ESA.

As Figs. 8 mostram o espectro obtido por FFT (*Fast-Fourier Transform*) do osciloscópio de um canal de rádio AM comercial centrado em 860 kHz. A Fig. 8a mostra o espectro em tempo real e a Fig. 8b o espectro promediado.

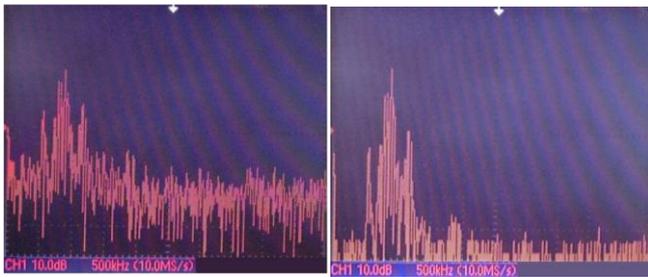


Fig. 8. (a) FFT do sinal do canal AM centrado em 860 kHz em tempo real e (b) o mesmo sinal, porém promediado no tempo. Foram obtidos com o uso do dispositivo optoeletrônico operando em HF com $C_{SINT} \approx 4$ nF.

A Fig. 9 mostra que o mesmo dispositivo, sem mudar o $C_{SINT} = 4$ nF, sendo também capaz de detectar uma emissão de rádio em campo-distante centrada em torno de 13 MHz. A referida emissão pertence às ondas curtas, que no espectro eletromagnético corresponde às frequências na faixa de HF (3-30 MHz). Esta faixa possibilita radio-propagação em longas distâncias, tornando possíveis comunicações tais como emissões radiofônicas internacionais (*international shortwave broadcasting*), radio-amadorismo (*ham radio*) e coordenação de viagens à longa distância por estações móveis marítimas. A origem do pico em torno de 13 MHz deve-se provavelmente à um ou mais destes serviços.

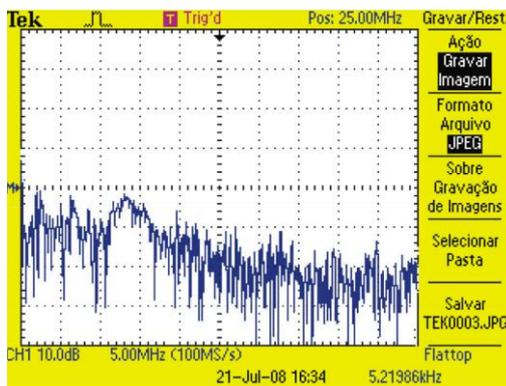


Fig. 9. Espectro (FFT) na faixa de HF emitido do campo-distante detectado pelo dispositivo optoeletrônico operante em HF. Pode-se observar a detecção de um pico centrado em torno de 13 MHz originado por algum ou alguns dos serviços em ondas curtas.

Os 5 m de comprimento do enlace de POF induzem uma atenuação óptica de ~ 1 dB. Entretanto, curvaturas, envelhecimento, variação de comprimento e novas conexões na fibra podem mudar a atenuação do enlace. Ainda que o nível de potência de RF incidente se mantenha constante, a amplitude de modulação (I_{RF}) sobre a portadora óptica vista no osciloscópio ou ESA irá variar se a atenuação da POF também variar. Seria então impossível saber se foi o nível de RF que variou e de quanto. No sentido de aumentar a confiabilidade do dispositivo quando usado para a medição da amplitude de campos magnéticos em RF, torna-se necessário dispor de uma técnica de compensação da variação de atenuação da fibra.

É então aqui proposto o uso de um sinal óptico de referência não-modulado (I_{DC}) como sendo aquele originado pela aplicação de uma voltagem V_{DC} de polarização DC sobre o LED, onde $V_{DC} > V_{limiar}$ [9,13]. I_{RF} e I_{DC} variam de amplitude na mesma proporção em que varia a atenuação do enlace de POF. Entretanto, I_{DC} não é em princípio afetado por mudanças no nível de potência de RF que incide na antena. A razão da amplitude dos sinais I_{RF}/I_{DC} fornece então uma

medida mais robusta da magnitude do campo magnético em RF incidente.

Observa-se no osciloscópio que o sinal foto-detectado é de fato uma superposição das componentes I_{RF} e I_{DC} . As mesmas são então medidas separadamente, a razão I_{RF}/I_{DC} é calculada e cada uma é marcada no gráfico mostrado pela Fig. 10 em função da atenuação da POF entre 0 dB e 5,5 dB, enquanto o nível de potência de RF é mantido constante. As antenas laço operando em 2,42 MHz são ainda fixadas numa distância de 33,5 cm entre si ($C_{SINT} \approx 220$ pF) [13]. Cálculos estatísticos fornecem o mesmo desvio padrão de I_{RF}/I_{DC} em outras medidas similares realizadas.

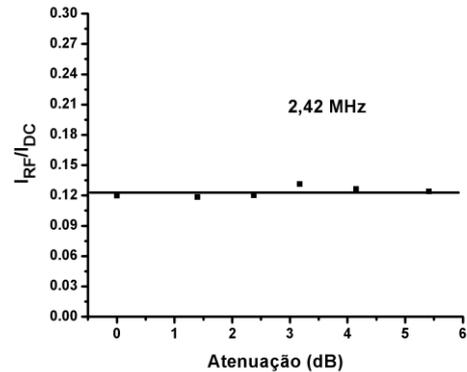


Fig. 10. Gráfico da dependência da razão I_{RF}/I_{DC} com a atenuação óptica do enlace de POF para 2,42 MHz e distância de 33,5 cm entre as antenas (campo-próximo).

Ajustando C_{SINT} para valores em torno de poucos pF, o dispositivo em HF pode detectar um sinal de RF senoidal produzida em campo-próximo com frequência de ~ 37 MHz. A Fig. 11a mostra o formato de onda detectado/transmitido pelo dispositivo e visualizado no osciloscópio, que corresponde à uma excitação de 36,8 MHz (início da banda VHF). A Fig. 11b mostra o FFT do formato de onda da Fig. 11a. Pode ser notado a presença de um pico de maior amplitude exatamente em 36,8 MHz, 38 dB_V acima do pico de 2º harmônico e 54 dB_V acima do nível de ruído (SNR).

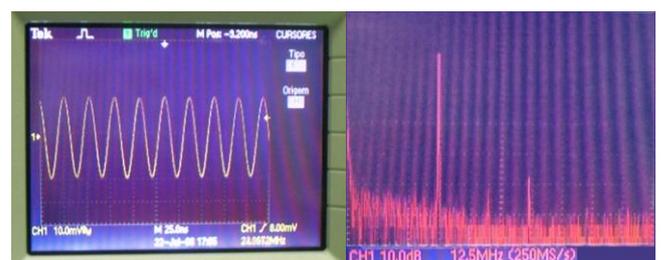


Fig. 11. (a) Formato de onda senoidal em 36,8 MHz mostrado no osciloscópio (10mV/div e 25 ns/div) conforme detectado e transmitido pelo dispositivo optoeletrônico em HF operando em campo-próximo e (b) o sinal FFT correspondente (10 dB_V/div e 12,5 MHz/div).

Pode-se notar uma razoável fidelidade do sinal transmitido, o que se deve à linearidade de resposta do Tx. Deve-se levar em conta que as medidas foram realizadas em campo-próximo, com sinais de RF razoavelmente intensos, o que provoca excursões de grande amplitude na curva potência x corrente no LED, eventualmente atingindo regiões não-lineares [10]. No entanto, para medidas em campo-distante, onde os sinais são normalmente fracos, deve-se esperar um comportamento ainda mais linear do Tx,

produzindo uma maior fidelidade dos sinais de rádio transmitidos pela fibra óptica.

IV. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL DO DISPOSITIVO OPTOELETRÔNICO PARA VHF

A dispositivo optoeletrônico desenvolvido para a faixa de VHF, necessitou de algumas modificações na antenna, no circuito optoeletrônico do Tx e no Rx. De acordo com a Fig. 3, o “fator de antenna” de um enlace em campo-próximo entre duas antenas de laço idênticas, varia de -40 dB_V em 88 MHz até -75 dB_V (mínimo) em 106 MHz, que corresponde à faixa FM onde mediu-se -60 dB_V para o centro da banda (98 MHz).

A Fig. 12 mostra o novo circuito elétrico equivalente do Tx para operar na faixa de VHF.

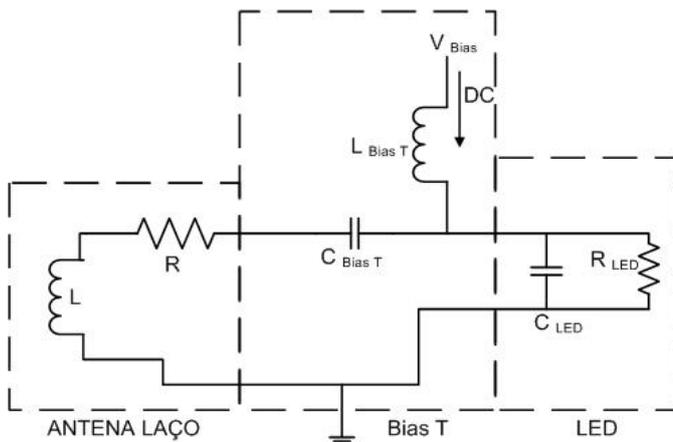


Fig. 12. Circuito elétrico equivalente do módulo Tx do dispositivo optoeletrônico operante em VHF.

No módulo Tx modificou-se a antenna de laço para $N=1$ e foi utilizado um *bias-T* comercial. Retirou-se o capacitor de sintonização fina C_{SINT} com a intenção de aproveitar a capacitância $C_{BIAS-T} = 100 \text{ nF}$ do capacitor do *bias-T*, que combinada com a nova indutância da antenna calculada [11] como sendo de 480 nH , forneceu uma frequência de ressonância de 726 kHz para o circuito. Portanto, a idéia foi a de operar o Tx em VHF, longe da frequência de ressonância [10], onde se espera um sinal relativamente fraco, porém mais plano [14] ao longo da banda de FM onde os testes foram realizados.

O capacitor C_{BIAS-T} evita que o sinal DC seja aplicado na antenna, mas apenas no LED. O capacitor permite a passagem dos sinais de RF, pois cria uma impedância capacitiva muito baixa, mesmo para baixas frequências, como por exemplo $< 2 \Omega$ em 1 MHz . O indutor L_{BIAS-T} de valor desconhecido bloqueia a passagem de sinais de RF para a fonte DC.

Na Fig. 13 é mostrada uma fotografia do protótipo operacional em VHF, bastando ser conectado (BNC) com um osciloscópio ou ESA. Devido a faixa mais alta de frequências (VHF) a ser detectada, não foi possível manter o mesmo fotodiodo pré-amplificado de antes (HF). No presente caso, o Rx constituiu-se ainda de um fotodiodo de Si com pré-amplificador de transimpedância integrado, porém sendo o modelo PDA10A da Thorlabs. Este último apresenta 1 mm de diâmetro do *chip* semiconductor, 150 MHz de largura de banda (-3 dB) e $10 \text{ k}\Omega$ de ganho de trans-impedância, implicando numa sensibilidade de $\sim 5,6 \text{ mV}/\mu\text{W}$ em 650 nm .

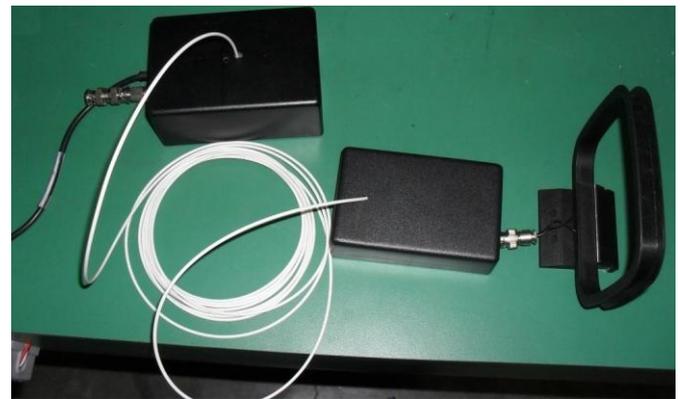


Fig. 13. Fotografia do protótipo do dispositivo optoeletrônico operante na faixa de VHF, pronto para ser conectado a um osciloscópio ou ESA. Pode-se notar à esquerda, o cabo de alimentação do Rx.

A Fig. 14 mostra a imagem do espectro na banda FM extraída do ESA ($\text{pW} \times \text{MHz}$), obtida com o uso do protótipo mostrado na Fig. 13. Isto significa que diversos canais comerciais de rádio FM foram captados, transmitidos por fibra óptica e todos demodulados em áudio pelo ESA.

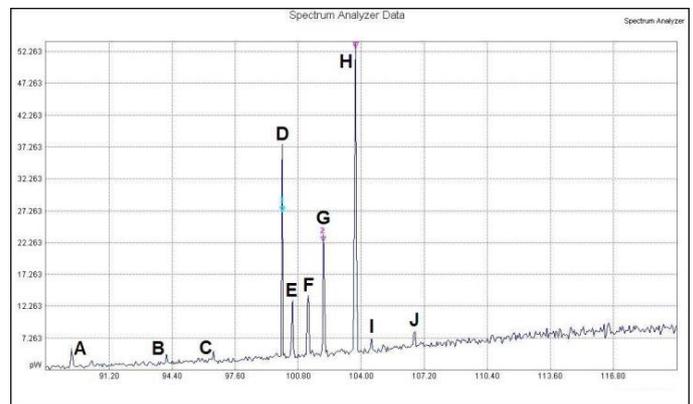


Fig. 14. Espectro dos sinais da banda FM obtidos com o uso do dispositivo optoeletrônico operando em VHF. O dispositivo ao ser conectado no ESA pode ter diversos canais de rádio FM captados e todos estes demodulados em áudio.

Os picos do espectro da Fig. 14 são identificados pelas letras A até J, e correspondem de fato à 10 canais comerciais de rádio FM. Deve-se notar que na faixa $88\text{-}108 \text{ MHz}$ o nível de ruído varia no máximo de $4,4 \text{ dB}$. A Tab. 1 lista a frequência central destes 10 canais, assim como a relação sinal-ruído (SNR) correspondente medida.

TABELA I: INDICAÇÃO DOS CANAIS DE FM MOSTRADOS NO ESPECTRO DA FIGURA 14.

Ponto	Frequência (MHz)	SNR (dB)
A	89,35	2,76
B	94,03	0,80
C	96,43	1,05
D	99,88	8,48
E	100,37	4,68
F	101,17	4,92
G	102,03	6,81
H	103,57	10,03
I	104,37	1,18
J	106,58	1,13

De acordo com a Fig. 14 e a Tab. 1, os SNRs obtidos variaram na faixa $0,8\text{-}10,03 \text{ dB}$ e todos puderam ser demodulados em áudio quando o dispositivo optoeletrônico era acoplado ao ESA.

A variação do nível de ruído mostra que a banda FM detectada não está equalizada mesmo estando o dispositivo longe da frequência de ressonância. Porém, obteve-se diferenças marcantes no nível de amplitude dos sinais detectados que atribui-se na maior parte como sendo devido ao fato de que sinais podem ser fracos ou intensos no local de recepção.

V. CONCLUSÕES

Este trabalho descreveu o desenvolvimento de dispositivos optoeletrônicos passivos de detecção eletromagnética operando em ressonância para HF e longe da ressonância para VHF. O módulo Tx capta sinais de rádio e realiza conversão E/O. A portadora óptica modulada é transmitida remotamente por fibra óptica polimérica. O módulo Rx realiza a conversão O/E e ao ser conectado num equipamento apropriado, osciloscópio ou ESA, é capaz de mostrar o formato de onda completo ou o espectro, respectivamente.

Projetados e construídos a partir de componentes comerciais e algumas adaptações, mostraram ser robustos, de pequenas dimensões, de desempenho promissor, relativamente simples e de baixo custo. Testes aproveitando os sinais de rádios AM e FM emitidos em campo-distante foram realizados com sucesso. Porém, os dispositivos como um todo puderam ser otimizados ainda mantendo o Tx como um módulo passivo. Um próximo passo é projetar e implementar um circuito casador de impedâncias resistivas e reativas entre a antena e a fonte óptica, de forma a maximizar a transferência do sinal detectado para se constituir como corrente de RF que alimenta o LED. É interessante que o Tx seja passivo e que qualquer amplificação continue a ser feita no módulo Rx, remoto ao ambiente de detecção ou medição devido aos seguintes fatores: Inconveniência da necessidade de energização dos amplificadores, maior probabilidade de falhas, projeto mais complexo para evitar interferências, menor peso, maior simplicidade e menor custo.

Diversas utilidades para os dispositivos na área de defesa militar foram identificadas na seção I.

Um dispositivo similar pode ainda ser futuramente desenvolvido para operar em frequências mais altas, como por exemplo a banda UHF. Para isto, será necessário entre outros procedimentos, trocar a fonte óptica para um RC-LED ou diodo laser e foto-detectores pré-amplificados de banda mais larga.

As fibras ópticas quando utilizadas como cabos de comunicação em sondas, medidores ou repetidores eletromagnéticos, apresentam baixas perdas, isolamento elétrica, não interferem ou são interferidas por ondas na faixa de rádio e em particular são bastante simples na manipulação, conexão e de baixo custo quando se faz uso das POFs de PMMA "standard" [9,15,16]. Entretanto, o uso de POFs de PMMA limita o alcance em cerca de 100m de comprimento quando se utiliza luz com 650 nm de comprimento de onda. Para muitas aplicações, a referida distância é mais do que suficiente. Entretanto, se necessário, o comprimento de fibra pode ser estendido a centenas de metros com o uso de POFs fluoretadas [16], ou a quilômetros se for utilizada uma fibra óptica de sílica, em ambos os casos dever-se-á trocar a fonte de luz e o tipo de foto-detector para que operar na região do infra-vermelho próximo.

REFERÊNCIAS

- [1] S. A. Pappert, M. H. Berry, S. M. Hart, R. J. Orazi, L. B. Koyama and S. T. Li, "Ultrawide shipboard electrooptic electromagnetic environment monitoring", Technical Report 1646, Naval Command Control and Ocean Surveillance Center, San Diego CA, May 1994 (1994).
- [2] C. Arnelli, G. Roggia and D. Trincherio, "Low cost measuring methods applied to an electromagnetic site survey of a complex environment", 29th European Microwave Conference, Munich, 5-7 October 1999 (1999).
- [3] D. Trincherio, G. Perrone and R. Paoletti, "Low-cost analog optical link for environmental electromagnetic remote monitoring", EMC2000, Brugge, September, 2000 (2000).
- [4] C. de S. Martins, "Avanços recentes em optoeletrônica aplicada a radares e guerra eletrônica" IX SIGE, artigo GE_33, 26-28 de Setembro (2007).
- [5] V. J. Urick, A. Hastings, J. L. Dexter, K. J. Williams, C. Sunderman, J. Diehl and K. Colladay, "Field test on the feasibility of remoting HF antenna with fiber optics", Naval Research Laboratory, NRL/MR/5652—08-9137, July 31 (2008).
- [6] O. L. Coutinho, C. de S. Martins, F. S. Ivo, V. R. Almeida e J. E. B. Oliveira, "Transmissão em fibra óptica de sinais radar gerados pelo simulador de ameaças TS100+Excalibur", X SIGE, artigo 9_3, 24-26 de Setembro (2008).
- [7] G. L. G. Burbui, "Development of models to estimate EMI from switched-mode Power supply", PhD Dissertation in Electrical Engineering, University of Bologna, Supervisor: U. Reggiani (2006).
- [8] F. J. Sánchez, P. J. Riu, M. Quílez and F. Silva, "A low-cost analog fiber optic link for EMC applications", 14th International Symposium of Electromagnetic Compatibility, Zurich, paper 126 S3, 667-672 (2003).
- [9] R. M. Ribeiro, O. da S. Xavier, J. A. M. Souza and A. P. L. Barbero, "An Optoelectronic Probe With Loss Compensation for Electromagnetic Monitoring at Low Frequencies", Measurement Science and Technology, 20, 11, 115111.1-115111.9 (2009).
- [10] J. A. M. Souza, R. M. Ribeiro, O. da S. Xavier, A. P. L. Barbero e M. M. Mosso, "Dispositivo optoeletrônico para detecção de sinais de rádio em 88-108 MHz e transmissão analógica remota em fibra óptica polimérica", MOMAG 2010, 29 de agosto à 01 de setembro, Vila Velha, ES, artigo 72127 (2010).
- [11] F. Grover, "Inductance Calculations: Working Formulas and Tables", New York, Dover, 2009.
- [12] Balanis C A, Antenna Theory: Analysis and Design, New York, Wiley, 3rd edition, 2005.
- [13] R. M. Ribeiro, O. da S. Xavier, J. A. Mitrone and A. P. L. Barbero, "Optoelectronic Probe for RF Electromagnetic Field Sensing Linked With Plastic Optical Fibre", 16th International Conference on Plastic Optical Fibers, p. 206-209, Turin, Italy, September 10-12 (2007).
- [14] S. Tumanski, "Induction coil sensors – a review", Measurement Science and Technology, 18, R31-R46 (2007).
- [15] J. A. M. Souza, R. M. Ribeiro, A. P. L. Barbero e O. da S. Xavier, "Sonda Optoeletrônica para 60-80 MHz com LED Ultra-Brilhante Verde e Enlace de Fibra Óptica Plástica de PMMA", XI Semana de Engenharia da UFF e VI Seminário Fluminense de Engenharia (SEMENGE'09), 19-22 de Outubro, Niterói, RJ, Brasil (2009).
- [16] O. Ziemann, J. Krauser, P.E. Zamzow and W. Daum, "POF Handbook: Optical Short Range Transmission Systems", 2nd edition, Springer-Verlag (2008).