# 6. Bibliografia

- [1] R. Ulrich, ""Polarization stabilization on single-mode fiber," vol. 35, 1979.
- [2] B. Glance, "Polarization independent coehrent optical receiver," J. Lightwave Technol.
- [3] B. L. Heffner, "Eigenanalysis, Automated Measurement of Polarization Mode Dispersion Using Jones Matrix," *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, vol. 4, 1992.
- [4] M. M. M. C. B. M. A. Podcameni, "Multi-Gigabit Long-Distance Optical Links," Optical Systems and Microwave Group from the Center of Studies in Telecommunications of the Catholic University of Rio de Janeiro.
- [5] "FAQ General Photonics," General Photonics, [Online].Available: http://www.generalphotonics.com/pdf/FAQgeneral.pdf.
- [6] S. Y. T. O. a. K. E. Haruhito Shimizu, "Highly Practical Fiber Squeezer Polarization Controller," *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, vol. 9, 1991.
- [7] O. e. al., "New polarization-state control device: Rotatable fiber crancks," *Electron Lett.*, vol. 21, 1985.
- [8] R. Noe, B. Koch, V. Mirvoda, A. Hidayat e Sandel, "38-krad/s 3.8-Grad Broadband Endless Optical Polarization Tracking Using LiNbO Device," *Photonics Technology Letters, IEEE*, vol. 21, 2009.
- [9] D. S. B. M. A. H. A. A. F. H. Z. S. K. I. F. W. a. R. N. Suhas Bhandare, "5.94-Tb/s 1.49-b/s/Hz (40×2×2 40 Gb/s) RZ-DQPSK Polarization-Division Multiplex C-Band Transmission Over 324 Km," *IEEE Photon Technol. Lett.*, vol. 17, 2005.
- [10] S. B. B. E. O. M. C. H. G. C. F. H. Wernz, "112Gb/s PolMux RZ-DQPSK with Fast Polarization Tracking Based on Interference Control," 2009.
- [11] R. N. V. M. H. G. S. B. a. H. W. Benjamin Koch, "Record 59-krad/s Polarization Tracking in 112-Gb/s 640-km PDM-RZ-DQPSK Transmission," *IEEE*

PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, vol. 22, 2010.

- [12] J. Prat e G. J. J. Comellas, "Experimental demonstration of an all-fiber endless polarization controller based on Faraday rotation," *IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS*, vol. 7, 1995.
- [13] C. &. M. R. Silva, "Nova teoria sobre luz e cores: uma tradução comentada," 1996.
- [14] "Roteiros de estudos," Instituto de Física (UFRGS). [Online]. [Acesso em 2011].
- [15] "Ondas / A natureza da luz" [Online]. Available: www.cursodefisica.com.br/ondas/05-a-natureza-da-luz.pdf.
- [16] "EM Spectrum Properties," 2007. [Online].Available: http://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM\_Spectrum\_Properties\_edit.svg.
- [17] J.-J. d. Groote, "Teoria Quântica," Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (Unesp), [Online]. Available: www.iqsc.usp.br.
- [18] P. C. d. Santos, "Ensino de Física / História da Física / Física da Matéria Condensada," Universidade Federal do Rio Grande do Sul, [Online]. Available: http://www.if.ufrgs.br/einstein/efeitofotoeletricoindex.html.
- [19] "Física Moderna," UFRGS, [Online].Available: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod. [Acesso em 2011].
- [20] [Online]. Available: http://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br.
- [21] G. E. Keiser, em Optical Fiber Communications, McGraw-Hill.
- [22] G. P. Agrawal, em *Fiber Optic Communications Systems*, The Institute of Optics, University of Rochester, NY, WILEY INTERSCIENCE, 2002.
- [23] M. V. P. R. M. M. M. Carvalho J. B, *Características de transmissão de um enlace óptico*, Rio de Janeiro, 2011.
- [24] G. P. Temporão, Um Polarímetro de Baixo Custo, Rio de Janeiro: Dissertação de Mestrado, PUC-Rio, 2003.
- [25] "Guia de referencia," Setembro 2009. [Online].Available: http://www.guia.heu.nom.br/images/ondaEletroMagnetica.jpg. [Acesso em 2012].
- [26] D. T. P. -. F. K. Hurd, Teoria Eletromagnética Básica, Mc-Graw Hill, 1984.

- [27] G. V. d. Faria, Controle da polarização da luz em fibras ópticas monomodo e aplicações, Tese de Doutorado, PUC-Rio, 2009.
- [28] A. Hidayat, "Fast Endless Polarization Control for Optical Communication Systems," Paderborn, 2008.
- [29] A. C. A. Pimentel, "Praça da Matemática: as faces da História na Consrtução de um Monumento," São Paulo, 2008.
- [30] "Jules Henri Poincaré," [Online].Available: http://yakumo72.tripod.com/prt/bio.html.
- [31] "Wolfram Demonstration Project," [Online].Available: /demonstrations.wolfram.com/. [Acesso em 2011].
- [32] M. BORN e E. WOLF, Principles of optics : electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light, Oxford: Pergamon Press, 1970.
- [33] R. JONES, "On The Relativistic Doppler Effect". Optics Info Base.
- [34] "Cambridge University Library," Cambridge University Library, [Online]. Available: http://venn.lib.cam.ac.uk.
- [35] C. Floridia, "Tutorial de Fenômenos de Polarização em Fibras Ópticas (PDL e PMD)," Fapesp.
- [36] A. N. d. C. S. R. P. C. d. C. F. Nilo Sergio de Oliveira Andrade, "Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto," *Matrizes de espalhamento utilizadas na Polarimetria SAR e o teorema da reciprocidade*, 2007.
- [37] "Rodrigues' Rotation Formula," [Online]. Available: http://www.wolframalpha.com.
- [38] N. Carlin, E. Szanto, W. Seale, F. Jorge, F. Souza, I. Bechtold e L. Gasques, "Revista Brasileira de Ensino de Física," *Birrefringence in wave plates and optical activity of a sugar solution*, vol. 27, 2005.
- [39] J. D. J. L. W. H. H. L. H. W. a. Z. C. Cheng Zhang, "Bidirectional 60-GHz radioover-fiber systems with downstream OFDMA and wavelength reuse upstream SC-FDMA," 2010.
- [40] "Newport Corporation," [Online].
  Available: http://www.newport.com/Tutorial-Polarization-in-Fiber-Optics/849671/1033/content.aspx.

- [41] 2011. [Online]. Available: http://vsites.unb.br/ig/glossario/index.html.
- [42] L. Vlack, Propriedades de Materiais Cerâmicos., São Paulo: Edgard Blücher, 1973.
- [43] "Newport Corporation," [Online]. Available: http://www.newport.com/.
- [44] "Quarter Wave Plate Program," 2008. [Online].Available: http://www.compadre.org/osp/items/detail.cfm?ID=7176.
- [45] "Soleil-Babinet Compensators," [Online]. Available: http://www.thorlabs.com/.
- [46] "Aplication Note 3 / Polarization Control," 2001.
- [47] "Introduction to Compensators and Retardation Plates," 2010. [Online].Available:

http://www.olympusmicro.com/primer/techniques/polarized/compensators.html.

- [48] "Mechanical Polarization Controller," [Online]. Available: http://www.protodel.com/Passive/Mechanical%20Polarization%20controller.html.
- [49] "BATI," Boston Applied Technologies, Inc, 2011. [Online].Available: http://www.bostonati.com/Products\_PCM.html. [Acesso em 2011].
- [50] "High-speed Polarization Control in a Compact Package," Boston Applied Technologies, Inc, [Online].Available: http://www.bostonati.com/products/PI%20sheet%20PC.pdf.
- [51] "NI USB-6009," National Instruments, [Online].Available: http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/201987.
- [52] "National Galerry Instruments Image," National Instruments, [Online]. Available:

http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=201987&mTitle=NI%20USB-6009&mGallery=set\_usb-6009. [Acesso em 2011].

- [53] "In-line Polarizer," General Photonics, [Online].Available: http://www.generalphotonics.com/pdf/Polarizer.pdf?cp=27.
- [54] "Product Features," ILXLightwave, 2005. [Online].Available: http://www.ilxlightwave.com/pdfs/8200\_brochure.pdf.
- [55] Manual de treinamento do LabVIEW Básico I, National Instruments Corporation, 2001.
- [56] "LabVIEW," National Instruments, [Online].

Available: http://www.ni.com/labview/.

[57] National Instruments, 2012. [Online].

Available: http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/209070. [Acesso em 2012].

- [58] "Making Light Work Lighter," General Photonics, 2011. [Online].Available: http://www.generalphotonics.com/productOffline.aspx?dept=1&cp=21.
- [59] F. D. Simões, "Tutorial em Moduladores Ópticos".
- [60] W. N. Filho, "Fibras Ópticas".
- [61] "All datasheets," Mini-Circuits, [Online].Available: http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/197344/MINI/ZFL-2500.html.
- [62] TTE, 2012. [Online].

Available: http://www.tte.com/products/passive-bandpass.aspx.

- [63] A. S. Sedra, Microeletrônics, São Paulo: PEARSON, 2007.
- [64] "Advanced Design System (ADS)," Agilent Technologies, [Online].
  Available: http://www.home.agilent.com/agilent/product.jspx?nid=-34346.0.00&cc=BR&lc=por.
- [65] "LCV Instrumentos," HP, [Online].
  Available: http://www.lcv.com.br/geradores-de-rf/712-gerador-de-rf-hp-modelo-8657b.html.
- [66] M. M. Mosso, Aula de Sistemas Ópticos, PUC-Rio.
- [67] "Next Generation OP07 Ultralow Offset Voltage Operational Amplifier," Analog Devices, 2010. [Online].

Available: www.analog.com.

[68] "Avalon Equipment Corporation," 2004. [Online]. Available: http://www.avalontest.com/e-store/.

# **Apêndice I**

Nesta seção, estão anexos os trabalhos vinculados a esta dissertação, apresentados nos respectivos eventos:

## I. "Características de Transmissão de um Enlace Óptico"



II Escola de Verão do Departamento de Física – PUC-Rio / 2011



# Características de transmissão de um enlace óptico



Carvalho J. B, Magri Vanessa P. R, Mosso Marbey M.

CETUC – Centro de Estudos em Telecomunicações / PUC-Rio – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Rua Marquês de São Vicente, 225 / 7° andar K – Gávea – Rio de Janeiro – RJ – CEP 22451-900

### I. Introdução

A conversão óptico-elétrica implementada através de fotodiodos apresenta problemas associados à relação sinal ruído e sua faixa de operação. Adicionalmente, detectores PIN e AVALANCHE possuem tensões de alimentação diferentes. A verificação e descrição comparativa destas características constituem um item importante na avaliação de sistemas ópticos utilizados em distribuições locais, metropolitana e de longa distância.

#### II. Conceitos Básicos

O meio de transmissão fornece os canais físicos necessários para interligar os nós de uma rede ou sistema de transmissão.

Meio de transmissão *Limitados ou Guiados*: par trançado, cabo coaxial, fibra óptica... *Não-Limitados ou Não-Guiados*: rádio, micro-ondas, infravermelho...

Como a fibra óptica tem capacidade de transmissão até um milhão de vezes maior do que o cabo metálico, torna-se hoje então a base das relações de comunicação no mundo, apesar de que recentemente, o espaço livre tem sido utilizado para comunicações ópticas "sem fio". Ao propagar-se, o sinal óptico sofre vários efeitos que o penalizam, destacando-se a atenuação e a dispersão:



As fibras ópticas são constituídas basicamente de materiais dielétricos (isolantes) que permitem total imunidade a interferências eletromagnéticas; uma região cilíndrica composta de uma região central, denominada núcleo, por onde passa a luz; e uma região periférica denominada casca que envolve o núcleo. O índice de refração do material que compõe o núcleo é maior do que o índice de refração do material que compõe a casca:



-núcleo A relação entre os ângulos de incidência  $\theta_1$  e de emergência  $\theta_2$  é dada pela **Lei de Snell**:

 $n_1 \text{sen } \theta_1 = n_2 \text{sen } \theta_2$ 

Na saída de uma linha de transmissão óptica tem que existir um elemento receptor que interprete a informação contida no sinal de saída. O primeiro elemento do receptor é o fotodetector. Este dispositivo detecta a potência óptica e converte em variações de corrente elétrica. Como o sinal óptico é de amplitude reduzida e distorcido, é necessário que o fotodetector apresente um elevado desempenho. Assim, deve possuir uma elevada velocidade de resposta e sensibilidade no comprimento de onda de emissão, introduzir o mínimo de ruído no sinal de saída e deve ter uma largura de banda suficientemente elevada para poder suportar o fluxo de informação. O dispositivo deve ser também insensível a variações de temperatura e ser compatível com as dimensões físicas do canal de transmissão.

#### III. Metodologia e Resultados Experimentais

A realização deste experimento de caracterização de transmissão de um enlace óptico ocorre por meio de uma série de etapas de testes e medidas de um transmissor e um detector óptico do laboratório GSOM, com auxílio dos seguintes equipamentos e dispositivos:

- Sensor infravermelho: modelo Q-32-R (QUANTEX).
- DFB Laser Module com isolador óptico: ORTEL 1540A transmite sinais de microondas analógico em fibras singlemode de comprimento de onda óptico 1300nm, podendo ser modulado em amplitude na faixa de 10MHz a 10GHz.
- Conector SAAA-I: para conexão nos terminais das fibras ópticas, que são terminadas por conectores FC/PC.
- Power meter óptico: pede a intensidade de luz de um sinal óptico.
- Fonte de corrente: dispositivo elétrico ou eletrônico que fornece a corrente elétrica.
- Network Analyser HP 8720C: equipamento capaz de determinar resposta de frequência da perda de inserção e perda de retorno em amplitude e fase na faixa de 50MHz a 20GHz
- LIGHTWAVE TEST SET HP 83420A: comprimentos de onda 1300 a 1550nm e modulação de largura de banda de 130MHz a 20GHz.

Contudo, o sistema analisado possui seguinte estrutura:



NETWORK ANALYZER 8720C

Na montagem deste sistema, o DFB Laser Module com corrente threshold igual a 23mA e operação em 70mA, recebe sinal RF na sua porta de entrada. Em sua saída, um trecho de fibra monomodo conecta o sinal óptico modulado em RF ao receptor óptico banda larga. Neste receptor há conversão óptica/elétrica, que pode ser analisada conectando-se o Optical Receiver RF Output na porta de entrada de um Network Analyzer.



Na análise gráfica a seguir, nota-se que, apesar do sistema comumente apresentar perdas entre os cabos e também devido a extensão da fibra, estas são compensadas por haver amplificadores de sinal tanto na conversão eletro/óptica quanto na conversão óptica/elétrica, não afetando, portanto, no bom desempenho do sistema.



#### IV. Conclusões e Comentários

Verificou-se que o conjunto poderia ser utilizado como um sistema Radio-Over-Fiber até a frequência de 8GHz. Este limite é determinado pela frequência de relaxação do laser. Dentro desta faixa, o ruído de intensidade relativa é também consideravelmente melhor.

#### **Referências Bibliográficas**

[1] Notas de Aula Professor Marbey Mosso - Sistema de Comunicações Ópticas

[2] Filipe Correia Pinto, Henrique Varella Ribeiro, "FOTODETECTORES - ELETRÔNICA E INSTRUMENTAÇÃO" - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Escola de Engenharia de Lorena

[3] Sergio Rezende, "Materiais e dispositivos eletrônicos" - Editora Universitária, UFPE

[4] R. A. Linke and A. H. Gnauck, "J. Lightwave Technol. 6", 1750 (1988)

[5] Govind P. Agrawal, "Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition", WILEY - INTERSCIENCE

[6] F. Heismann, S. K. Korotky, and J. J. Veselka, "*in Optical Fiber Telecommunications III*", Vol. B, I. P. Kaminow and T. L. Loch, Eds., Academic Press, San Diego, CA, 1997, Chap. 8

[7] Data Sheet, ADL5317 "Avalanche Photodiode Bias Controller and Wide Range (5 nA to 5 mA) Current Monitor", Analog Devices

Data Sheet, 1540A "5GHz DFB Laser Module with Optical Isolation", Ortel Corporation

[8] Data Sheet, PDT0313 "High Speed ReceptaclePhotodiodes", HEWLET PACKARD

[9] Data Sheet HCA-S-200M-SI, "High-Speed Photoreceiver with Si PIN Photodiode", FEMTO Messtechnik GmbH.

[10] TECHNICAL SPECIFICATIONS, SAA-1 Series Single-Mode FC ADAPTOR, Seiko Instruments Inc.

## II. "An Ultra Low Cost Bias Tee Unit"

IMOC 2011 >> 2011 SBMO/IEEE MTT-S

## **Internacional Microwave and Optoeletronics Conference**

# An Ultra Low Cost Bias Tee Unit

Juliana B. Carvalho, Marbey M. Mosso, Vanessa P. Ribeiro Magri, Jorge Angelo Mitrione Souza, Gidy Carolina Florez Navarro, Rogerio N. Rebello Filho CETUC/PUC-Rio Centro de Estudos em Telecomunicações Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro Rio de Janeiro, Brazil julianael@cetuc.puc-rio.br

*Abstract* — An ultra low cost bias unit operating between 300KHz and 3GHz is simulated and developed using commercial Printed Circuit Board technology (PCB). All Scattering [S] parameters describing transmission loss, reflection and isolation between RF and DC ports are presented. A set of models is realized and characterized presenting excellent results.

Keywords — Bias Tee; S-parameters; Printed Circuit Board; Inductors; Capacitors; Insertion loss.

## I. INTRODUCTION

A Bias insertion network is the one that is designed to combine both microwave and DC signals without any transmission of energy between the microwave and DC ports [1]. I.e., the three terminals circuits are used to combine a high frequency with DC bias supply. One terminal receives RF frequency only, a second terminal is dedicated to receive DC signals and the third terminal delivers RF+DC signals.

Due to insertion loss requirements and operation stability, bias insertion unit is a very important factor to achieve high performance of microwave and optical components. Commercial Bias Tee units are expensive and generally supplied with connectors.

In this paper, an ultra low cost Bias Tee unit able to be integrated with any circuit design is presented using a LPKF<sup>TM</sup> Printed Circuit Board prototyping machine with soft substrate, and is organized as follows. In section II, the Bias Tee basic operation and configuration is discussed. In section III, a set of simulations using Gelza M. Barbosa DSAM - Diretoria de Sistemas de Armas da Marinha Brazilian Navy, Rio de Janeiro, Brazil

AgilentTM Advanced Design System (ADS) software platform is presented [2]. Section IV describes the prototype realization and indicates the measurements results obtained. Finally, section V shows the main advantages obtained with this component, their applications and presents final conclusions of this work.

### II. BASIC OPERATION

A Bias Tee circuit diagram is shown in Fig. 1. The basic operation of this component is achieved in the bandwidth specified when low insertion loss between ports 1 and 2 is obtained, DC bias is blocked at port 1 and emerges at port 2. Besides, high isolation between ports 1-3 and 2-3 has to be obtained. Another important feature is low reflections in ports 1 and 2, specified by their return loss.



Figure 1. Electrical Schematic.

The inductor L1 has to block RF signals and be a short circuit for DC bias. Capacitor C2 has to block DC bias and be a broadband short including the low frequency domain. To achieve Then, capacitors, inductors and resistors have to be carefully selected due their non-ideal behavior. Physical dimensions should be at least 1/10 of the maximum frequency wavelength.

#### III. BIAS TEE CIRCUIT' DEVELOPMENT

Aiming to develop a bias unit able to operate from few megahertz up at least 3GHz, a Murata inductor BLM18AG102SN1D RF choke and a capacitor Vishay Ceramic Chip Capacitors VJ085Y104KXXCWBC is inserted in series with a 50 $\Omega$  line. The Murata inductor presents high inductance and high resistance values above 2MHz, according to Fig. 2.



It should be observed also that the RL (resistor and inductor) values changes and present a zero resistance/reactance in DC. Fig. 3 presents the series RL configuration.



Figure 3. Murata inductor with resistance element [3].

Another inductor, specified up to 4GHz without spurious, with 5mm long and a ferrite nucleus is added in series with the Murata choke to improve isolation between RF ports and DC bias port above 1GHz. More two capacitors are added to the bias circuit. A capacitor C1, with the same frequency behavior than C2, is located between the DC branch output at port 3 and ground to avoid interactions between power supply reactance and the DC bias loop.

Another capacitor C3 in series with a  $50\Omega$  chip inductor is assembled between port 3 out and ground. The main hole of this RC (series resistor and capacitor) connection to ground is to reduce low frequency gain of active components as bipolar or FET's devices and avoid spurious oscillations.

Those passive components were integrated in a RT/Duroid® 5880 substrate with three RF connectors. The dielectric constant of the substrate laminates is uniform and its low dissipation factor extends the usefulness in Jband and above [5].

Fig. 4 illustrates the electrical schematic of the Bias Tee circuit.



Figure 4. Electrical Schematic Bias Tee

In Figs. 5 and 6, consider the RF connections using  $50\Omega$  lines in RT/Duroid® 5880 and H = 1.575mm, Lm =  $1.07\mu$ H, Rm =  $400\Omega$ , C1 =  $0.1\mu$ F, C2 =  $0.1\mu$ F and C3 =  $0.01\mu$ F. A first ADS simulation of the capacitor C1 in series with  $50\Omega$  lines is presented in Fig. 5, and indicates low insertion loss (S12) from 300KHz up to 2.5GHz, similar to the measuments realized.



Figure 5. Capacitor equivalent circuit simulated in ADS [2].



Figure 6 Analysis in ADS of capacitor  $C1 = 0.1 \mu F$  used for DC isolation.

The complete Bias Tee circuit is simulated according to Fig. 7, where all circuit elements are considered.



Figure 7. Bias Tee circuit developed – DC circuit model simulated in ADS.

The line between ports 1 and 2 is the main line of the configuration. The simulation of the insertion loss (S21) between ports 1 and 2 is presented in Fig. 8 and indicates that S21 is better than 0.2dB from 0.1 to 2.5GHz.



Figure 8. Simulated insertion loss (S12 and S21) of the Bias Tee circuit developed in ADS.

S12 is also simulated and presents the same behavior of its reciprocal parameter.

The parameters S11 and S22, associated with return losses at ports 1 and 2, are also simulated and the results presented in Fig. 9 indicate a return loss better than 40dB in the 20MHz band.



Figure 9. Simulated return loss (S22 and S11) of the Bias Tee circuit developed in ADS.

#### IV. EXPERIMENTAL RESULTS

A single PCB is designed using the substrate RT/Duroid 5880 according to the specified frequency operation. A set of Surface Mount Devices (SMD) components is obtained through simulation predictions, and then the inductor and connectors were soldered on the PCB.



Figure 10. Fabricated prototype - PCB Bias Tee developed.

The Bias Tee is measured using the Vector Network Analyzer (VNA) whose operating range is from 300KHz to 3000MHz.

These tests results show that the Bias Tee operation agreed with the desired technical specifications.



Figure 10. Insertion loss between port 1 (the RF port) and port 2 (the RF+DC port).



Figure 11. Return loss in ports 1 and 2.



Figure 12. Indicates the isolation between ports 1 and 3 (S31) and ports 2 and 3 (S32).

### V. COMMENTS AND CONCLUSIONS

The device Bias Tee with extended bandwidth using a commercial component Murata specified at 1GHz and a homemade microinductor at 4GHz, has a better performance due to the parallel high impedance offered by association of those two components.

Stabilization looping by combining of RC (R =  $50\Omega$  and C operating in RF) was extremely important to prevent instability, not only at low frequencies, but also the entire bandwidth examined.

The capacitor C3 in parallel with the DC source, presents very low resistance up to 250mA, able to isolate this power supply from the circuit.

The Bias Tee has a unit cost bellow US\$ 12.00 when large scale production is considered. Another version using the same components over FR-4 substrate has a high production price evaluated over US\$ 7.00 and 0.5 vs. 0.5 inches dimensions besides, is suitable to be encapsulated as a SMD component.

An insertion loss better than 1 dB in the 500KHz and 3GHz band, high isolation between ports and return loss better than 15 dB is achieved.

#### REFERENCES

- E. H Fooks, R. A. Zakarevicius, Microwave Engeneering Using Microstrip Circuits, pp200-203, © 1990 by Prentice Hall of of Australia Pty Ltd.
- [2] Agilent EEsof EDA Design & Simulation Software, "Advanced Design System (ADS)" 2009.
   <www.home.agilent.com>.
- [3] Murata manufacturing Co., Ltd., pp 21-22. <a href="http://www.murata.com/>">http://www.murata.com/</a>>.
- [4] Mouser Electronics, a TTI Company.
  <a href="http://br.mouser.com/catalog/catalogUSD/643/884.pd">http://br.mouser.com/catalog/catalogUSD/643/884.pd</a>
- [5] Advanced Circuit Materials Division, RT/Duroid and DUROID licensed trademarks of Rogers Corporation, © 1989, 1994, 1995, 1999, 2002, 2005, 2006 Rogers Corporation, Publication #92-101.
- [6] M. M. Mosso, T. Gornsztejin and R A. A. Lima, "Bias unit for microwave and high speed fiber optic systems", 0-7803-2674-1 SBMO/IEEE MTT-S IMOC'95 Proceedings
- [7] SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth Carless. Microelectronic circuits. 6th ed. New York; Oxford: Oxford University Press, 2010.
- [8] COLLIN, Robert E. Foundations for microwave engineering. 2nd ed. New York: IEEE Press, c2001.
- [9] H. Johnson, M. Graham. High Speed Signal Propagation: Advanced Black Magic. Prentice Hall, 2003.