

Título: Receptores Ópticos de Banda Larga em Tecnologia Híbrida para Aplicações de Baixo Ruído

Title: *Low Noise Broadband Optical Receivers Using an Hybrid Technology.*

Autor/Author: Manuel Alberto Reis de Oliveira Violas

Orientador/Advisor: Aníbal Manuel de Oliveira Duarte e Dr. David Heatley (British Telecom)

Data Apresentação/Acceptance Date: 14/05/99

Palavras Chave: Receptores ópticos, Baixo Ruído, Linhas Microstrip Linhas Coplanares.

Key Words: *Optical receivers, Low noise, Microstrip lines, coplanar waveguide.*

Doutoramento/Ph.D.

Resumo

Nesta tese abordamos e desenvolvemos receptores ópticos com larguras de bandas iguais ou superiores a 10GHz.

Inicialmente começamos por rever os receptores ópticos clássicos utilizados para baixas e médias taxas de transmissão. Estes receptores dividem-se em três tipos. Baixa impedância, alta impedância e transimpedância. Examinamos os vários mecanismos de limitação de resposta em frequência, largura de banda e ruído. Para taxas de transmissão mais elevadas os receptores utilizam amplificadores de sinal que são projectados segundo uma das seguintes configurações: amplificador em cascata com elementos resistivos nas malhas de adaptação, amplificador de transimpedância com realimentação variável com a frequência e o amplificador distribuído. Foi feito um estudo comparativo do desempenho e potencialidades de três configurações de receptores ópticos com iguais larguras de banda.

O desempenho dos receptores para baixas taxas de transmissão pode ser calculado utilizando expressões analíticas simples não sendo influenciado substancialmente por elementos parasitas. Os resultados práticos destes receptores pode ser previsto de forma bastante precisa. Para elevadas larguras de banda a complexidade do projecto de receptores aumenta, tornando-se cada vez mais difícil estabelecer relações entre as características dos dispositivos e a resposta em frequência o ruído, em particular quando existem malhas de adaptação. Como consequência os receptores para elevadas larguras de banda têm um comportamento menos óptimo do que os receptores para baixas frequências. O resultado do projecto é, normalmente, um receptor cujas características não são as ideais. Desenvolvemos um conjunto de ferramentas de ajuda ao projecto e caracterização de receptores ópticos de banda larga. Com estas ferramentas pretendemos prever as penalidades que vamos encontrar. Também demonstramos que a melhor sensibilidade pode ser obtida com um receptor formado por HEMTs com malhas de adaptação em cascata.

Projectamos e desenvolvemos dois receptores ópticos utilizando uma configuração PIN-HEMT com malhas de adaptação. O primeiro receptor utilizou uma

tecnologia híbrida em microtira e um segundo utilizou linhas coplanares. No projecto do primeiro receptor foram utilizados modelos convencionais de linhas microtira disponíveis nos programas de simulação comerciais. Para o segundo receptor tivemos que desenvolver os nossos próprios modelos utilizando o método FDTD uma vez que os modelos disponíveis eram escassos. Para ambos receptores obtivemos larguras de banda de 10GHz e um ruído de $12 \text{ pA}/\text{Hz}^{1/2}$

Na altura em que estes receptores foram realizados eles encontravam-se entre os melhores que se tinham produzido até então. Este receptores foram utilizados com sucesso em sistemas coerentes de transmissão, sistemas com amplificação óptica e sistemas banda base. Os resultados foram, para alguns casos, obtidos pela primeira vez.

Abstract

In this thesis we study and develop high sensitivity optical receivers for applications that require bandwidths in excess of 10GHz.

We begin by reviewing classical optical receivers for low and moderate bitrates. These receivers are of three types: high impedance, transimpedance and low impedance. We also examine the various mechanisms by which present day technology limits the frequency response, bandwidth and noise of these receivers. For higher bitrates the receivers employ amplifiers after the photodiode that are designed using one of three main approaches: the HEMT amplifier with lossy matching networks between the gain stages, the transimpedance amplifier and the distributed amplifier. We conduct a comparative study of these three topologies and determine their relative performance in terms of sensitivity.

The performance of low to moderate bitrate receivers can be computed using simple analytical expressions, and because of the low influence of parasitics the agreement between theory and experiment is very good. However, as receiver bandwidth increases so too does the overall complexity of the design, and it then becomes increasingly difficult to derive convenient analytical expressions that relate the device characteristics to frequency response and noise. This is particularly the case for matching networks. Consequently, broadband receivers are generally less optimum than their low frequency counterparts. The resulting impairments may take the form of a ripple in the frequency response, a reduced bandwidth, or a non-ideal noise spectrum, all of which introduce a discrepancy between predicted and measured performance. We develop a set computational tools that allows us to assess to a much higher accuracy the performance of broadband receivers which display these impairments. With these tools we are able to predict the penalty due to each impairments. We show that a high performance can be achieved most readily from a HEMT amplifier with lossy matching networks.

We design and construct using a hybrid assembled two optical receivers that employ a PIN-HEMT amplifier with lossy matching networks. In the first receiver matching is fabricated in microstrip transmission lines whereas in the second we use coplanar transmission lines. We use conventional models to design the microstrip lines however the library of available models for coplanar lines is very limited indeed. We therefore develop our own models for coplanar features such as discontinuities using an FDTD algorithm. With each of these two receivers we achieve a bandwidth of 10GHz and a maximum noise spectral density of 12 pA/Hz^(-1/2). The agreement between theory and measurement is very close. At the time when the work was conducted these results were amongst the best in the world. These receivers were successfully trialled in coherent optical transmission systems, optically pre-amplified systems and baseband systems, and in some instances contributed to world first results being achieved.