

L 波段副载波光纤传输线路

林崇杰 罗文健

(电子科技大学, 成都, 610054)

摘要: 本文探讨了微波光纤线路中主要器件的高频特性和这些特性对整个光纤线路的影响, 讨论了微波光纤线路设计应考虑的主要问题, 并实现了 $1.3\mu\text{m}$, 800m 长 $1.2\text{GHz}\sim 1.4\text{GHz}$ 微波光纤线路传输试验系统。

关键词: 雷达 光纤传输 高频封装组件

L-band fiber-optical transmission link

Lin Chongjie, Luo Wenjian

(University of Electronic and Science Technology)

Abstract: In this paper, the high frequency characteristics of the primary components of microwave fiber-optic link and impact of these characteristics on the overall link performance are examined. The primary factors of the design of a microwave fiber-optic link are discussed. A $1.3\mu\text{m}$, 800m-long experimental microwave fiber-optic link with a $1.2\sim 1.4\text{GHz}$ frequency response has been demonstrated.

Key words: radar fiber-optic transmission high-frequency package modules

一 引 言

随着光纤及光电子技术的进步, 光纤传输线路已从低频向高频段发展。与常规的同轴电缆、金属波导、微带线等微波传输线相比, 光纤具有损耗低, 体积小, 重量轻, 抗电磁干扰和带宽宽的优点, 对于传输微波信号, 具有广泛的应用前景。

微波光纤传输线路可应用于相控阵雷达天线, 雷达信号处理, 雷达天线远程化, 双基地雷达, 卫星通信地面接收站等领域^[1]。在大型相控阵雷达及机载预警相控阵雷达中, 由于要求大的探测距离, 常采用 L 波段。在 1.3GHz 附近实现对光信号的微波调制, 研究 L 波段微波信号的光纤传输, 具有很大的实用性和经济价值。本文探讨了微波光纤线路中主要器件的高频特性和这些特性对光纤线路的影响, 提出了微波光纤线路设计应考虑的主要问题, 并实现了 $1.2\text{GHz}\sim 1.4\text{GHz}$ 微波光纤传输线路。

二、微波光纤传输中调制、解调机理及线路实现

微波光纤传输技术的关键是如何实现微波信号对光波的调制和解调。影响微波光纤线路中激光器高频调制特性有三个主要方面。第一是激光二极管芯片的频率特性,它主要由激光器本身的张弛振荡频率,芯片的寄生电容和串联电阻构成的 RC 时间常数和光反射影响所限制;第二是激光器封装引线所引起的寄生电抗对调制频率的影响;第三是激光器驱动电路的频率特性。

当电流脉冲注入激光器以后,大多数类型的激光器的光发射是一系列很锐的尖峰,输出光脉冲表现为衰减式的振荡,直到建立稳态输出为止。在高速调制时,特别是当调制频率与这种衰减振荡频率相同时,由于该频率的尖锐谐振,这种瞬时的不稳定就会显露出来。因此,激光二极管的调制频率就被限制在张弛振荡频率之下,超过该频率,调制响应就急剧下降。

张弛振荡频率 f_r 可由下式近似描述^[2]

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\tau_s \tau_p} \left(\frac{I}{I_{th}} - 1 \right) \right]^{1/2} \quad (1)$$

式中, τ_s 为自发辐射光子寿命, τ_p 为受激光子寿命, I 为注入电流密度, I_{th} 为阈值电流密度。

在微波调制下,激光二极管芯片的小信号电路模型,可由激光器速率方程导出。在简化速率方程的基础上添加空间电荷电容项,则速率方程可表示为^[3]

$$\frac{dn}{dt} + \frac{C_{sc}}{\alpha} \cdot \frac{dV}{dt} = \frac{I}{\alpha} - \frac{n}{\tau_s} - GS \quad (2)$$

$$\frac{dS}{dt} = GS - \frac{S}{\tau_p} + r \frac{n}{\tau_s} \quad (3)$$

式中, n 为有源区自由电子密度, C_{sc} 为空间电荷电容, $\alpha = ed$, e 为电子电荷, d 为有源区厚度, V 为二极管电压, G 为增益函数, S 为有源区光子密度, r 为自发辐射成振荡模的光子的概率。由(2)式、(3)式可推出激光器芯片小信号输入导纳

$$Y = 1/R_1 + j\omega C_1 + 1/(R_x + j\omega L_x) \quad (4)$$

式中, $R_1 = (R_d^{-1} + R_4^{-1})^{-1}$; $C_1 = C_d + C_{sc}$; $R_x = G_3 L_x$; $L_x = 1/(G_0 G_2)$; $G_2 = r/R_d + 1/R_4$; $G_3 = \alpha r G_0 n_0 / (\tau_s I_0 - n_0 \alpha)$; $R_4 = R_d G_3 (\beta n_0 r)^{-1}$; $R_d = 2\tau_s kT / e \alpha n_0$; $C_d = \tau_s / R_d$; I_0, n_0, G_0 分别为 I, n, G 的稳态直流分量。

由(4)式,加上芯片串联接触电阻和体电阻 R_s 以及芯片寄生电容 C_s , 激光器芯片小信号电路模型可表示为图 1 所示。

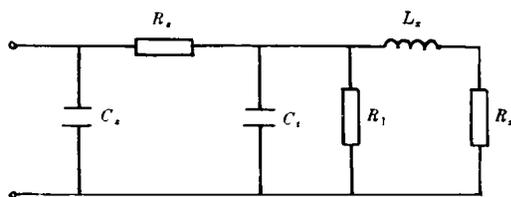


Fig. 1 Small signal model of laser chip

激光二极管正向偏置工作于阈值电流以上时, R_1 的值很小。因此,激光二极管芯片的高频等效电路可简化为一并联 RC 电路模型^[4]。

在微波线路中,一般信号源的输出阻抗以及放大器的输出输入阻抗都是 50Ω ,而在正向偏

置工作下的激光二极管等效输入阻抗一般只有几欧姆。如果用 50Ω 输出端直接与激光二极管相连接,由于阻抗不匹配,将出现较大的微波功率反射,其反射系数为

$$\rho = (Z_{in} - Z_L)/(Z_{in} + Z_L) \quad (5)$$

式中, Z_{in} 为微波线路输出阻抗, Z_L 为激光二极管输入阻抗。

由于阻抗不匹配而引起反射的微波功率损耗为^[5]

$$P_r = -20\log(1 - |\rho|^2) \quad (\text{dB}) \quad (6)$$

因此,在微波光纤线路中,为了获得好的性能,减少反射损耗,在传输频带内 50Ω 射频输出阻抗应当与激光二极管阻抗匹配。激光二极管等效输入阻抗通常为复阻抗,较好的匹配方式是采用无耗复阻抗匹配网络使其在工作频段内匹配到 50Ω ^[6]。考虑到实验光纤线路工作频率处于微波频率的低端,若采用无耗微带复阻抗匹配网络,由于微带图形面积较大,不便于 LD 组件的封装和减小 LD 组件的体积,为此,我们采用了较为简便的电阻匹配网络,将激光二极管大致匹配到 50Ω 。

对于应用现有激光器件进行微波信号调制,一个极为重要的问题就是如何尽量减少芯片引线、焊接、封装和管壳等引起的电寄生影响,使激光二极管组件的最高调制频率接近本征激光器的张弛振荡频率。目前采用普通封装的激光二极管,在低频下能够很好的工作,但在高频应用时,由于内部引线长,寄生影响严重,其高频特性恶化,调制速率一般就限制在 1GHz 以下。要提高激光器组件的频响,必须采用特殊的高频封装措施。为此,我们将激光二极管芯片和阻抗匹配电路一起安装在微带电路基片上,匹配电阻采用微带电阻,内部引线由微带线连接,外部射频信号由一同轴 SMA 连接器经 50Ω 微带线输入。高频封装的 LD 组件大大地减少了封装和电路引线寄生影响。实测结果证实组件调制频率由 1GHz 以下提高到 1.8GHz 以上。

在微波光纤线路中,要求光探测器对入射的高速调制光信号能产生快速响应。光探测器的响应特性不仅与光电二极管本身的结构有关,而且与外电路、封装及电极引线的寄生影响有关。在实际的选用中,探测器封装和引线寄生严重制约着其高频特性。普通封装的 PIN 光电二极管的频响一般很难达到 1GHz 以上。要使光探测器在微波波段工作,和激光组件一样,也必须采用特殊的高频封装结构。为此,我们将偏置电路元件及 PIN 光电二极管芯片直接安装在微带电路基片上,内部引线用 50Ω 微带线,与前置放大器连接的高频信号通路由同轴 SMA 接头连接。这样,基本消除了电路封装和引线寄生影响,使探测器频响达 1.8GHz 以上。

三、实验结果

实验微波光纤线路由包括阻抗匹配网络的高频封装光发射组件, 800m 长度的单模光纤, PIN 光电二极管光接收组件和微波集成放大器组成,其基本线路组成如图 2 所示。微波输入信号经放大后直接调制半导体激光器,经调制后的光信号由光纤传输,接收端由高速 PIN 光探测器解调为微波电信号,再经低噪声放大器输出。为

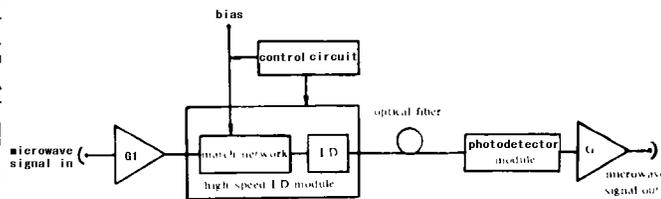


Fig. 2 Block schematic diagram of experimental fiber-optic link

了保证激光器在高速调制下有良好的稳定性和可靠性,我们对激光器设置了温度自动控制和功率自动控制装置。

图 3 所示为采用普通封装的激光器和 PIN 光电二极管探测器的频响特性曲线,可以看出,在 900MHz 左右即出现谐振峰,谐振峰后频响特性急剧恶化,不适用于微波信号的传输。

图 4 为高频封装的 LD 组件和 PIN 组件组成系统的频响特性曲线,在整个频谱分析仪(惠普 2712 频谱仪)测试范围 0~1.8GHz 范围内,基本平坦,满足 L 波段的的要求。

图 5 为完整光纤线路在工作频段 1.2~1.4GHz 的频响特性曲线,其输入信号功率为 -20dBm,插入损耗 0dB,平坦度小于 ±1.5dB。

实测实验微波光纤线路主要参数为

光波长	1.3μm
中心工作频率	1.3GHz
带宽	200MHz
线路长度	800m
频响平坦度	±1.5dB
信噪比	45dB
动态范围	40dB
射频插入损耗	0dB

光纤线路的插入损耗主要包括由电信号转换为光信号的电光变换损耗,光信号转换为电信号的光电变换损耗,光纤接头损耗,匹配电路损耗和光纤传输损耗等。直接调制光纤线路射频插入损耗由下式给出^[7]

$$\rho = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \rho_m (\eta_L \alpha_{LC} \alpha_s \alpha_0 \alpha_{PC} R_D)^2 \frac{R_L}{R_s} G_1 G_2 \quad (7)$$

式中,ρ_m为匹配电路损耗,η_L为激光器外微分效率,α_{LC}为激光器与光纤耦合损耗,α_s为接头损耗,α₀为光纤传输损耗,α_{PC}为光纤与光探测器耦合损耗,R_D为光探测器响应度,R_L为探测

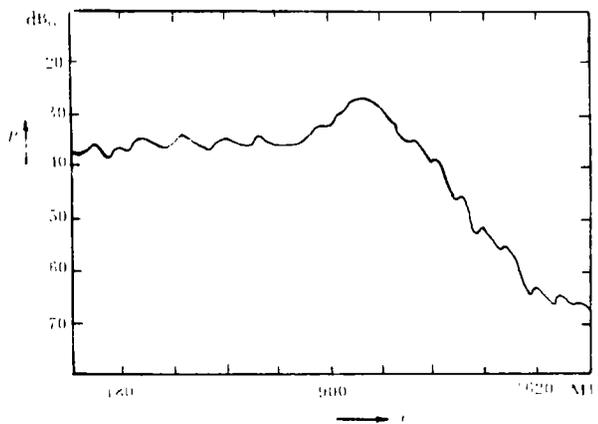


Fig. 3 Spectrum curve of normally packaged LD & PD module

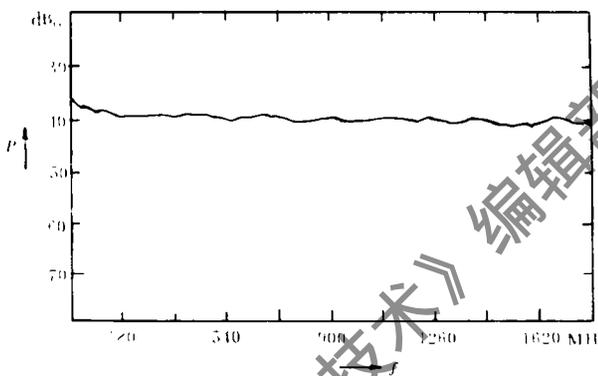


Fig. 4 Spectrum curve of high-frequency packaged LD & PD module

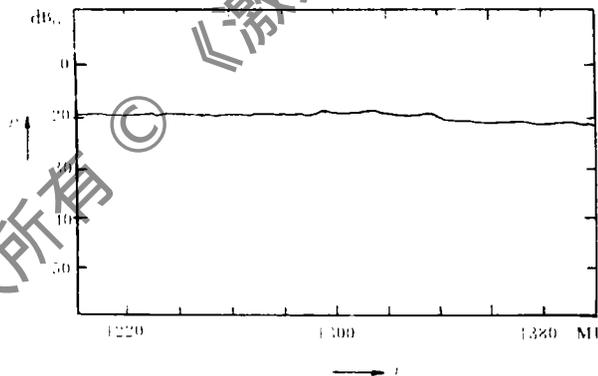


Fig. 5 1.2~1.4GHz spectrum curve of experimental fiber-optic link

· 产品简讯 ·

O₂ 激光器工业用 C

该激光器系由德国西门子公司
精密系统研究所研制的激光

壳, 三松 供稿

版权所有 © 《激光技术》编辑部