

基于模拟调制方式的高速脉冲信号光纤传输

宋文生¹,曾丽珍^{2*},黄锋锋¹,熊平戡¹

(1.中国电子科技集团公司第三十四研究所,广西 桂林 541004;2.桂林电子科技大学研究生院,广西 桂林 541004)

摘要:针对超宽带冲击、探地雷达等应用场所对于高速脉冲信号的高可靠性、低失真等特殊传输需求,研究和分析该类场所产生的高速脉冲信号的信号成分,设计出一种基于模拟调制方式的传输方法。通过重新设计调制和解调过程中的T型偏置器(BIAS-T),在前端增加光衰减器以及末端增加宽带放大器等方式,解决了模拟调制方式带来的末端信号不稳定以及幅度过小的问题,实现高速脉冲信号的低失真、可靠传输。

关键词:模拟调制;高速脉冲信号;T型偏置器;低失真

中图分类号:TN914 **文献标识码:**A **文章编号:**1002-5561(2019)08-0059-04

DOI:10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2019.08.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Optical fiber transmission of high speed pulse signal based on analog modulation mode

SONG Wensheng¹, ZENG Lizhen^{2*}, HUANG Fengfeng¹, XIONG Pingjian¹

(1. The 34th Research Institute of CETC, Guilin Guangxi 541004, China;

2. Graduate School of Guilin University of Electronic Technology, Guilin Guangxi 541004, China)

Abstract: Aimed at the special transmission demands of high-reliable and low-distortion for high-speed pulse signals which used in ultra wideband impact and ground-penetrating radar. By studying and analyzing the signal components of high-speed pulse signals which generated in such places, then designed a transmission method based on analog modulation mode. By redesigning BIAS-T in the modulation and demodulation, adding optical attenuator and wide band amplifier at the input and output port to solve the signal instability and low-level which cause by analog modulation mode, realized low distortion and reliable transmission for high-speed pulse signal.

Key words: analogue modulation; high-speed pulse signal; BIAS-T; low distortion

0 引言

高速脉冲在超宽带冲击雷达、探地雷达等方面有着广泛的应用。高速脉冲的特点是上升时间很短,一般为几十纳秒,甚至几纳秒;下降时间较长,一般大于100 ns。其波形中包含的频率成分比较多,既有几十赫兹的低频分量,也有几百兆赫兹的高频分量。在不同

的应用场所,其传输距离从几百米到几十千米,为了降低传输损耗,一般使用光纤作为传输介质。

将电信号调制成光信号,使用光纤进行传输,主要有数字化采样后调制成光信号、模拟信号直接调制成光信号2种方式。由于高速脉冲信号上升时间很短,但频率较高,要求采样的速率非常高。同时,采样中不能完全反应信号的微小波动,这会造成高速脉冲信号的失真和变形。所以只能通过光源的产生过程中直接将高速脉冲信号调制到光信号上,即用模拟调制的方式来进行光纤传输^[1]。

但从信号重复周期来看,该信号周期很低,采用普通的模拟调制方式,其传输带宽可以做到很宽,而其低频部分只能到几十兆赫兹,无法满足信号的传输需求。因此,本文对信号进行分析后,改进模拟调制传输方式,找出一种低失真的传输高速脉冲信号的方法。

收稿日期:2019-02-27。

作者简介:宋文生(1978-),男,江西永丰人,高级工程师。主要从事模数混合及非标专用特种光传输设备的研发工作,负责设计并研发了GJT-AV13XX系列数字视音频光纤传输设备、高清SDI光传输设备、诱饵信号光传输设备、水声信号采集传输及处理系统;在视音频信号的数字化传输,时钟脉冲信号的低抖动、低相噪、高稳定性传输,水声信号的同步远距离传输方面有一定的研究。



*通信作者:曾丽珍(E-mail: 617350535@qq.com)。

1 高速脉冲信号分析

模拟信号光纤传输的一个重要指标就是频带,即信号在频域的频率范围。由于高速脉冲信号是单次信号,而且上升沿时间只有纳秒量级,其频率范围超出了频谱分析仪的测量时间,导致其不能完整反应出高速脉冲信号在频域的所有信息。

本文在信号传输线路上增加不同频率段的低通滤波器、高通滤波器和带通滤波器,通过示波器在时域上观察信号有没有变形来确定高速脉冲在频域上的频带宽度。经过分析和研究,可以定性地分析出:高速脉冲信号的主要频谱成分在 900 MHz 以下,同时包含有高频和低频分量。上升沿不同的高速脉冲对应的频带在最高频率处有差别,上升沿时间越小包含频谱的最高频率越高,比如:上升沿为 2 ns 的源包含的最高频率为 900 MHz,上升沿为 10 ns 的源包含的最高频率为 800 MHz。所以对于该类信号的光传输,既要满足低频率分量信号的传输要求,还要实现高频率分量信号的传输。

2 高速脉冲光纤传输难点分析

光调制和光解调理论上的传输频率是从 0 Hz 开始的。在调制/解调时,既要电信号进行交流调制/解调,还要对调制后/解调前的光信号进行直流驱动。激光调制通常采用强度调制形式,激光载波的电场强度为:

$$e(t)=A_c\cos(\omega_c t+\varphi_c) \quad (1)$$

其中, A_c 为振幅(与调制信号成正比), ω_c 为角速度, φ_c 为相位角。

激光的光强度定义为光波电场的平方(光波电场强度有效值的平方),其表达式为:

$$I(t)=e^2(t)=A_c^2\cos^2(\omega_c t+\varphi_c) \quad (2)$$

强度调制的光强表达式可写为:

$$I'(t)=\frac{A_c^2}{2}[1+k_p a(t)]\cos^2(\omega_c t+\varphi_c) \quad (3)$$

其中, k_p 为比例系数, $a(t)$ 为调制信号幅度。设调制信号是单频余弦波。将其代入式(3),并令 $k_p A_c = m_p$, m_p 为强度调制系数,得到:

$$I'(t)=\frac{A_c^2}{2}[1+m_p\cos\omega_m t]\cos^2(\omega_c t+\varphi_c) \quad (4)$$

其中, ω_m 为边频的频率间隔。

光信号的产生和信号的调制可以分为内调制和外调制。外调制的调制速率高(约比内调制高一个数

量级),调制带宽也更宽,但是外调制本身内部集成有一个 T 型偏置器(Bias-T),高频可以到几十吉赫兹,而低频部分只能到几十千赫兹,低于该频率的信号不能正常传输,造成高速脉冲经传输后有信号失真。所以需要采用内调制来实现。内调制传输原理框图如图 1 所示。

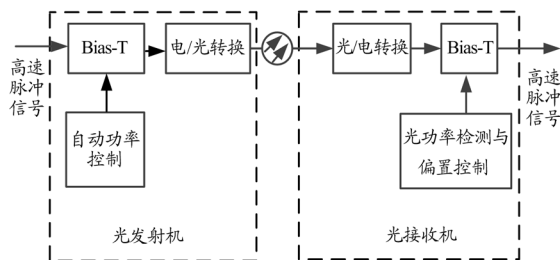


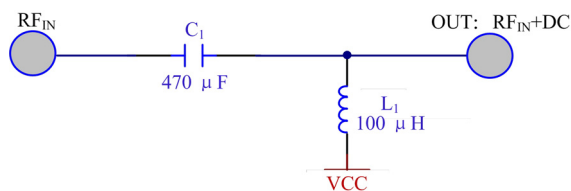
图 1 高速脉冲信号内调制传输原理框图

图 1 中,光发射机和接收机中都有一个 Bias-T,它的作用是将交流的高速脉冲和直流的供电进行合成,并减小高速脉冲和直流供电之间的相互影响。

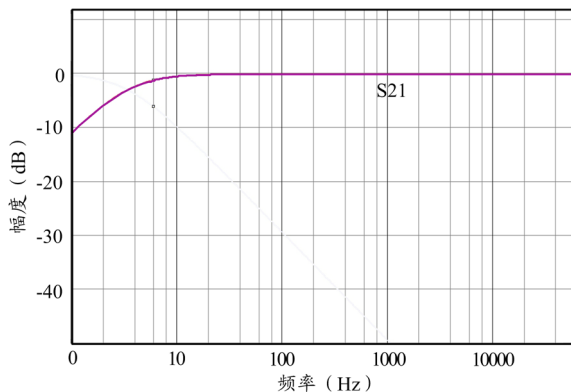
在光信号调制和解调的实现过程中,调制信号和光器件的供电是同时进入光器件的,需要通过 Bias-T 将这两部分进行合成。

脉冲无损传输实现的技术瓶颈是 Bias-T 在传输高频信号的同时,3 dB 带宽使其频率最低只能到十几千赫兹。而根据频谱分析仪测试,高速脉冲既包含有高频到 900 MHz 的成分,也包含有低频到赫兹量级的成分,其中低频成分比较多,无法通过 Bias-T(或者通过 Bias-T 后衰减比较大),势必造成信号无法完全还原(波形变形或者波形的突变不能完全反应出来)。所以,光传输低频信号的传输能力由 Bias-T 来决定,在 Bias-T 追求低频传输时,传输的高频信号就会受到限制。本文通过设计高性能的 Bias-T,使光纤传输的 3 dB 带宽可以覆盖高速脉冲信号的 20 Hz~900 MHz 整个频段。

Bias-T 的原理框图如图 2(a)所示,其主要功能是在不影响链路性能的情况下,给高频射频(RF)信号添加一个直流(DC)偏置,作用是给激光器或者探测器供电。图中 RF 信号输入阻抗一般为 50 Ω,输入 RF 信号、输入电容 C_1 及偏置电感 L_1 组成一个回路。根据相移(RC)电路的频率特性, C_1 越大,能通过它的信号的频率就越低; L_1 越小,能通过它的信号频率就越大。在脉冲信号传输中设计 Bias-T 就是使赫兹级的低频信号通过 C_1 而且不会从 L_1 流向 VCC 端,同时还需要避免 VCC 端的电源纹波通过 L_1 串入 RF 信号中,因此理论上来说 C_1 和 L_1 越大越好。但是,实际应用中由于器



(a) Bias-T 原理



(b) Bias-T 频响仿真

图 2 Bias-T 原理框图及频率响应仿真

件体积和 C_1 高频响应的限制,要根据实际需要进行综合考虑。就脉冲信号包含的几十赫兹~几百兆赫兹频率成分来说,我们将 Bias-T 按照图 2(a) 中的参数设置,在输入输出阻抗为 $50\ \Omega$ 的情况下测试电路的频率响应(S21 参数)并进行波形仿真,其 3 dB 带宽频率可以低至 5 Hz,而高频部分可以到 1 GHz,仿真图如图 2(b) 所示,基本满足传输要求。

在光发射端加入高性能 Bias-T 后,高速脉冲信号先经过高性能 Bias-T,再进行电/光转换为光信号输出,经光缆传输至光接收端。信号通过光适配器进入光接收机内部,光/电转换后经过高性能 Bias-T 输出高速脉冲信号。根据高速脉冲信号的特性,光接收机采用暗电流小、电容低和响应度高的 PIN 光电探测器作为实现光/电转换功能的器件。将高阻抗的 PIN 光电探测器匹配为 $50\ \Omega$,从而使 PIN 光电探测器得到高的光/电转换效率、低的反射损耗,将高速脉冲信号从微波光信号中高效地解调出来,并减少高速脉冲信号的非线性失真。

3 高速脉冲光纤传输过程的其它问题及解决方法

采用本文设计的高性能 Bias-T 后,高速脉冲信号传输失真问题得以解决,但在实际测试中还发现信号

经过调制和解调后,出现信号幅度(V_{p-p})不稳定和数值过小不便于后端信号处理 2 个问题。

3.1 信号幅度不稳定问题的解决方法

光/电转换的输出高速脉冲信号幅度(V_{p-p})不稳定,会随着光接收机的接收光功率变化而变化。

信号传输包含电/光和光/电转换 2 个过程,电/光转换过程是由激光器实现的,由电/光调制原理可知,激光器的工作电流和输出光功率成线性关系。调制效率就是光/电转换的增益,调制效率是不变的,所以光/电转换的增益是固定的^[2]。

光/电转换过程是由探测器实现的。解调效率就是电/光转换的增益,解调效率是不变的。在实际应用中,由于光纤接头的连接损耗不确定、光纤熔接质量和光纤传输距离不同等原因会造成光/电解调过程中接收光信号发生变化,导致传输后高速脉冲信号的幅度和输入的脉冲信号幅度之间的比例不确定。为保证该比例固定,本文在光/电转换之前增加一个光衰减器。我们提取光/电转换过程中接收光功率的信息,这个信息是和接收光功率成正比的电压值,通过负反馈将这个电压经过滤波和运算放大后输出给光衰减器,控制光衰减器调节到光/电转换的接收光功率,将光/电转换的接收光功率值固定,从而使输入信号的幅度和输出信号的幅度之间的比例固定^[3]。经改进后高速脉冲信号传输原理框图如图 3 所示。

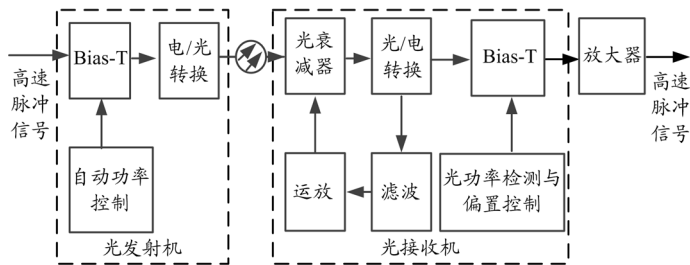
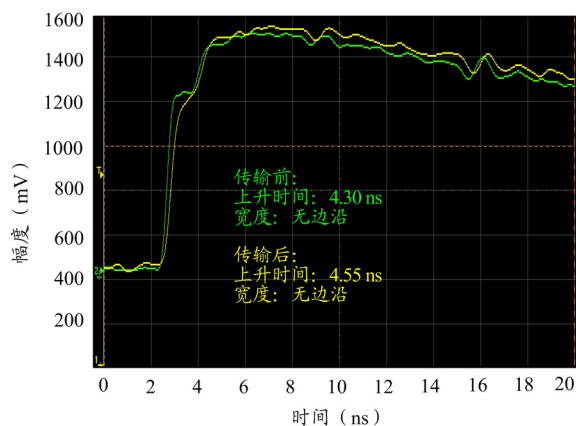


图 3 改良后的高速脉冲信号传输原理框图

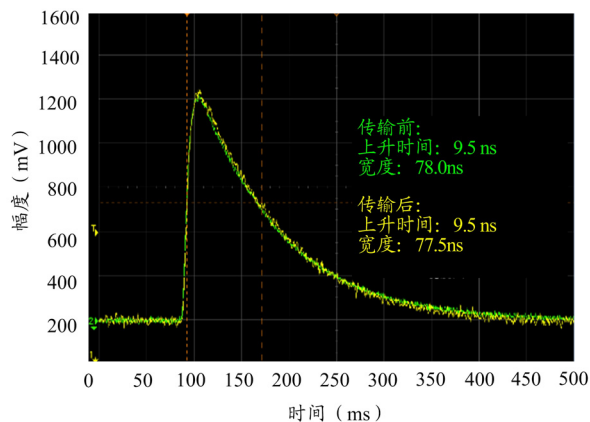
3.2 信号幅度过小问题的解决方法

由于输出的信号幅度(V_{p-p})会减小到原来的 $1/80$ 左右,幅度太小不便于后端的分析、计算和处理。为了解决这个问题,通过在信号输出之前增加 8 倍的放大器,将信号的峰峰值放大到信号源的 $1/2$ 。设计放大器时保证其 3 dB 带宽能覆盖高速脉冲的 20 Hz~900 MHz 频段,确保传输带宽可以满足高速脉冲信号的传输要求^[4]。

有针对性地解决上述 2 个问题后,使用设备传输由 RC 积分电路产生的脉冲信号进行实际测试。上升

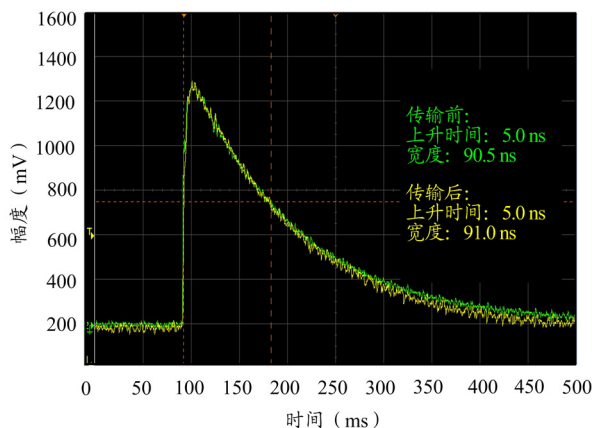


(a) 高速脉冲的上升沿



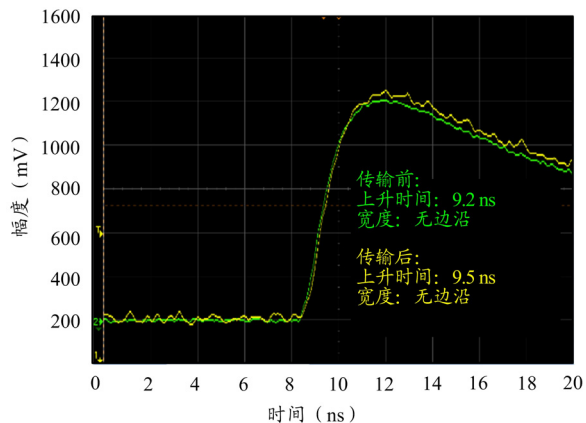
(b) 高速脉冲的脉宽

图5 上升时间为 10 ns 的高速脉冲信号传输前、后对比图



(b) 高速脉冲的周期

图4 上升时间为 5 ns 的高速脉冲信号传输前、后对比图



(a) 高速脉冲的上升沿

沿为 5 ns 的高速脉冲信号经光纤传输后测试结果如图 4 所示。上升沿为 10 ns 的高速脉冲信号经光纤传输后测试结果如图 5 所示。可以看出,传输前后信号波形基本一致,上升时间和脉宽失真均在 5% 以内,满足使用要求。

4 结束语

本文针对超宽带冲击、探地雷达等应用场所产生的高速脉冲信号进行了研究和分析,通过修正和调节光调制和解调器中的 Bias-T,设计出了一种基于模拟调制方式的高速脉冲信号的光纤传输方法,解决了使用现有的调制和解调器低频响应不足造成的传输信息丢失的问题,同时通过采用光衰减器和宽带放大器的方式,解决了传输链路中的信号不稳定和末端输出信号幅度小的问题。改进后,经实际测试验证,该系统能低失真地实现高速脉冲信号的传输。

参考文献:

- [1] JOSEPH C P. 光纤通信[M]. 第五版. 王江平, 刘杰, 闻传花, 等, 译. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 黄锋锋, 吕春晖, 姚军, 等. 自动增益控制在微波信号光纤传输系统中的应用[J]. 广西通信技术, 2014(2): 40-42.
- [3] 李良, 唐小宏. 微波宽带自动增益控制技术[D]. 成都: 电子科技大学, 2007.
- [4] 田学农, 王立功. 射频光传输链路发射机关键技术研究[D]. 南京: 东南大学, 2010.

首届年度优秀论文评选活动公告

为了活跃光通信学术氛围,提升《光通信技术》杂志所刊登文章的科技含量和实用性,《光通信技术》编辑部决定从 2019 年起,每年举办一次年度优秀论文评选活动,评选出本年度 6~10 篇已正式刊登(纸质版)的优秀论文,对获优秀论文奖的第一署名作者颁发荣誉证书和现金奖励(500 元/篇),获奖名单将在 2019 年第 12 期《光通信技术》杂志和网站公布。敬请广大作者积极支持我们的工作,踊跃佳作!