

文章编号 : 1672-2892(2010)01-0030-03

一种宽频带小型化光纤电场测量系统的研制

周开明, 王 艳, 谢泽元

(中国工程物理研究院 电子工程研究所, 四川 绵阳 621900)

摘 要: 设计了一种宽频带小型化模拟量光纤电场测量系统, 解决了核爆、雷电和电磁脉冲模拟器等辐射源产生的强电磁干扰环境下的瞬态电场测量问题。该系统采用单极子天线将空间瞬态电场转化为瞬态电压, 并由置于探头内部的微型发射机将瞬态电压信号转化为光信号, 通过光纤传输到远端的光接收机, 最终还原成电信号。该系统在不同辐射源上进行实验测试, 其工作性能稳定。系统的工作带宽在 24 kHz 到 1 000 MHz 之间, 噪声小于 12 mV, 能测量小于 100 kV/m 的瞬态电场, 输出信号峰 - 峰值大于 400 mV。

关键词: 超宽带; 模拟量光纤; 电场测量; 自动功率控制

中图分类号: TN206

文献标识码: A

Design of a wideband and minitype optical fiber metrical system

ZHOU Kai-ming, WANG Yan, XIE Ze-yuan

(Institute of Electronic Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: A wideband, minitype and analog optical fiber system was designed for measuring instantaneous electric field produced by nuclear burst with a strong electromagnetic interference. In the system, a monopole antenna was used to convert electric field into voltage, at the same time a minitype transmitter converted voltage into optical signal, and the optical signal was send to the receiver which was far away from transmitter by the optical fiber, finally the voltage was received at the receiver. The system was of good performance, with bandwidth of 24 kHz~1 000 MHz, noise smaller than 12 mV.

Key words: ultra wide band ;analog optical fiber ;electric field measurement ;Automatic Power Control

光纤电场测量系统具有体积小、重量轻、耐酸碱、抗电磁场干扰能力强、长距离传输衰减小、电气绝缘性好等优点。在核爆、雷电和超宽带等特殊电磁环境中, 利用模拟量光纤电场测量系统对电子系统所处电磁环境进行测量, 能够有效解决各种电磁干扰对测量系统本身的影响, 增加测量的准确性^[1]。

1 设计原理

模拟量光纤电场测量系统由单极子天线^[2], 电信号输入匹配网络, 大信号限幅保护, 光电转换, 自动功率控制(APC), 光器件过流保护, 光纤传输, 光电转换、放大、记录模块组成, 系统工作原理如图 1 所示^[3]。其大致工作过程为: 天线将接收的电场信号, 经前端探头转换成光信号, 通过光纤传输到后端的光接收机, 再把光信号转换成电信号^[4], 经放大、记录, 实现对空间电场的测量。

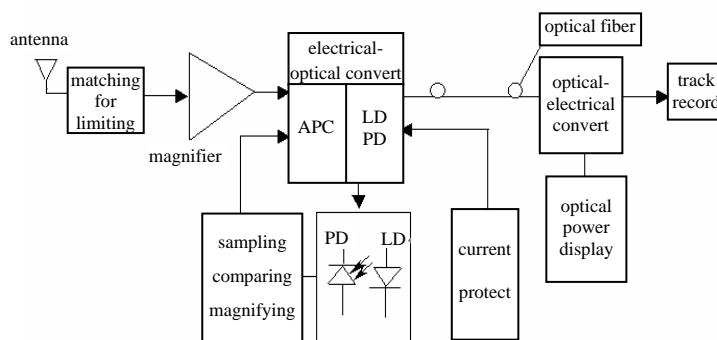


Fig.1 Principle configuration of analog optical fiber system
图 1 模拟量光纤电场测量系统的组成

1.1 APC 技术

模拟量光纤电场测量系统运用半导体激光器作为光源, 半导体激光器由 LD 和 PD 两部分组成, LD 为光发

射器，PD 为光接收器。半导体激光器发光效率受外界温度变化影响较大：当环境温度升高时，激光器发光效率降低，输出光功率减小；环境温度降低时，激光器发光效率升高，输出光功率增大，这样就造成测量系统在实际运用中稳定性较差，给测试结果带来较大影响。为了稳定激光器的输出功率，需要在发射机中增加 APC 电路，使激光器的发光功率不因温度变化而变化，保证光纤电场测量系统在测试过程中工作的稳定性。APC 电路原理图如图 2 所示，其工作原理是：当 LD 光功率发生变化时，激光器内部的光接收器 PD 接收到的光子数会相应发生改变，PD 中产生少数载流子(空穴-电子对)，输出光电流发生变化。通过外围附加电路，取出微弱变化的光电流信号，经比较、放大，最后改变 LD 光发射器的静态工作电流，使 LD 的输出光功率在较长时间内保持恒定。如果激光器工作环境温度升高，LD 发光效率降低，APC 电路会增加 LD 激光器的静态工作电流 I_{CC} ，使 LD 激光器发光功率增加，实现输出光功率稳定；如果环境温度降低，LD 激光器发光效率会升高，APC 电路会减小 LD 激光器的静态工作电流 I_{CC} ，同样使 LD 输出的光功率保持稳定。

APC 与电场测量系统信号传输是相互矛盾的，一方面 APC 需要系统输出功率长时间保持稳定，而另一方面系统却需要通过改变光功率实现信号的传输。要解决这一矛盾，只有使 APC 电路与系统传输信号电路工作在不同的频段。通过技术攻关，现已把 APC 电路工作最高上限频率降至 150 Hz。只要测量信号频率大于 200 Hz，APC 电路就不会影响其正常传输。

1.2 过流保护技术

当系统工作不正常或处于调试状态时，常常会出现电流过大的情况。采用过流保护电路，能有效限制大电流流过 LD 激光器，保护激光器不被烧毁。模拟量光纤电场测量系统所设计的过流保护电路，当流过 LD 激光器的电流小于 60 mA 时，不影响 LD 激光器的正常工作；当电流大于 60 mA 时，过流保护电路起作用，最终把流过 LD 的最大电流限制在 65 mA 之下。

1.3 探头屏蔽技术和电源滤波技术

电场探头采用整块铝材加工而成，内部镀银，具有良好导电性，系统核心电路采用双层屏蔽，内、外屏蔽盖板加工有止口，保证电场探头在恶劣的电磁辐射环境下能够正常工作而不被干扰。另外，接收端电源使用了高性能的滤波插座，能够保证光接收机在较为恶劣的环境下正常工作。

除以上主要设计技术外，模拟量光纤电场测量系统还采用了光功率显示技术、输入限幅匹配技术以及系统化模块化设计技术。光功率显示技术利用 LED 数码显示，跟踪激光器输出光功率大小，根据显示的光功率数值，可以直观判断整个模拟光纤电场测量系统工作是否正常，增强了系统的直观性和操作性；输入限幅匹配网络不仅实现了对输入信号的匹配，同时利用限幅器可抑制过大电压冲击，避免了前端运算放大器受高压浪涌冲击而失效的可能；模块化系统设计增强了系统使用的灵活性和广泛性。

2 系统性能指标

模拟量光纤电场测量系统系列化、模块化设计后，每套模块化模拟量光纤电场测量系统的前、后端模块，可以根据试验具体需要互换模块，组成不同传输系数、灵敏度和带宽的测量子系统，方便用户使用。研制的系统有 2 种：一种全系统测量，上限带宽在 300 MHz 左右，输出幅度峰-峰值在 1.4 V 以上，输出噪声小于 5 mV；另一种全系统测量，上限带宽在 1 000 MHz 左右，输出幅度峰-峰值在 0.4 V 以上，输出噪声小于 12 mV。图 3 给出了电场测量系统光发射探头实物图，该探头体积比过去老式电场测量探头体积的 1/3 还要小。图 4 给出了全套模拟量光纤电场测量系统实物图，图中 1 表示单极子天线电场测量探头；2 表示平行板天线电场测量探头，3 表示通用光接收机，它的内部设计有不同放大倍数的光接收模块。

图 5 给出了模拟量光纤电场测量系统典型通道在 PTEM-180 电磁脉冲模拟器上的标定曲线，从图上可以看出它的线性度很好。该测量系统灵敏度系数和传输系数都可根据前、后端模拟实际组合情况来确定。

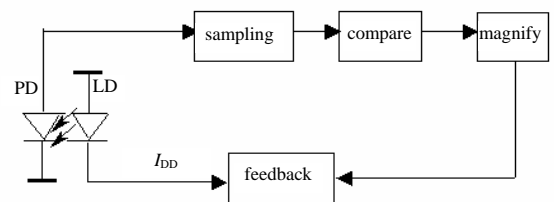


Fig.2 Principle of APC circuit
图 2 自动功率控制电路工作原理图



Fig.3 Photo of analog optical fiber probe
图 3 光纤电场测量系统探头内部实物图



Fig.4 Photo of multifunctional analog optical fiber system
图 4 多功能模拟量光纤测量系统实物图

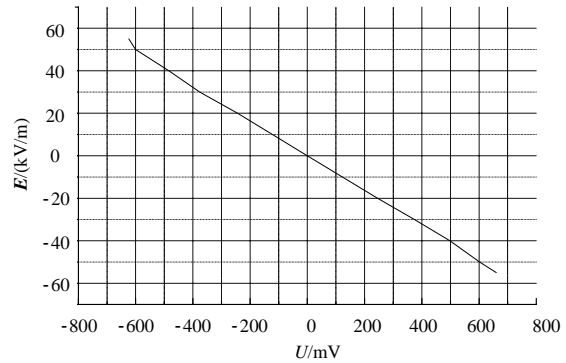


Fig.5 Input-output linear curve of analog optical fiber system
图 5 模拟量光纤电场测量系统线性度和输入输出幅度标定曲线

用脉冲信号源对 1 000 MHz 系统带宽进行粗略测量。去掉系统单极子天线, 输入前沿为 440 ps(10%~90%) 的脉冲信号, 测得系统输出脉冲信号的前沿值约 550 ps(10%~90%)。可以计算, $t_r = \sqrt{t_0^2 - t_i^2} = \sqrt{550^2 - 440^2} = 300$ ps, 系统带宽 $BW = \frac{0.35}{0.33 \times 10^{-9}} = 1\ 060$ MHz, 大于 1 000 MHz。

3 系统实际应用

利用研制的 2 种不同带宽的电场测量系统, 对引进的瑞士快上升沿模拟器 FR512 和航天新建快上升沿模拟器进行前沿和电场大小的测量, 测试结果与电磁脉冲模拟器的实际指标非常接近, 测得 FR512 模拟器上升前沿为 1 ns 左右, 航天模拟器上升前沿为 2.3 ns。图 6 为了航天新建快上升沿模拟器电场测量波形, 从波形上可以看出, 真实电场波形前面的干扰信号很小, 说明研制的模拟量光纤电场测量系统有很强的抗电磁干扰能力, 保证了测量信号的真实有效。

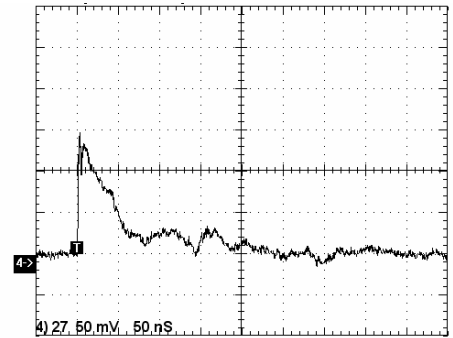


Fig.6 Waveform of the electric field of a new and fast rise simulator
图 6 航天新建快上升沿模拟器电场测量波形

4 结论

新研制的宽频带、小型化模拟量光纤电场测量系统实现了小型化、模块化。其线性度好, 带宽宽, 噪声小, 能够适用于核电磁脉冲、雷电、EMC、UWB 和环境保护等方面的电场测量^[5]。

参考文献:

- [1] 朱长青,刘尚合,魏明. ESD 辐射场测试研究[J]. 电子学报, 2005,33(9):1702-1705.
- [2] 李炎新,石立华,高成,等. 用宽带模拟量光纤传输系统测量脉冲电磁场[J]. 高电压技术, 2006,32(2):34-36.
- [3] Wiggins C M,Thomas D E,Nickel F S,et al. Transient electromagnetic interference in substations[J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1994,9(4):1869-1884.
- [4] 张卫东,崔翔. 球形瞬态电场探头变换特性实验研究[J]. 华北电力大学学报, 2001,28(2):8-13.
- [5] HUANG J SH,LIU F,DENG Q B,et al. An ultra wide band test system to test the transient electric fields magnetic fields generated by electrostatic discharge(ESD)[C]// ISAPE 2000,5th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory. 2000:626-629.

作者简介:



周开明(1967-), 男, 重庆合川人, 高级工程师, 主要从事抗辐射加固技术研究. email:zhkm_512@163.com.

王艳(1980-), 女, 陕西省咸阳市人, 硕士, 主要从事抗辐射加固技术研究.

谢泽元(1953-), 男, 四川犍为人, 副研究员, 主要从事抗辐射加固技术研究.