

光电传输系统在电力系统测量中的应用

陈陶陶¹, 方志¹, 赵龙章¹, 邱毓昌²

(1. 南京工业大学自动化学院, 江苏 南京 210009;

2. 西安交通大学电力设备电气绝缘国家重点实验室, 陕西 西安 710049)

摘要: 相对于传统的采用电缆传输测量信号的方式, 采用光电传输系统传输测量信号具有良好的绝缘性能和抗电磁干扰特性, 因而其在电力系统测量领域具有广阔的应用前景。光电传输系统一般由发射电路、光纤和接收电路三部分组成, 根据信号调制和解调方式的不同, 在电力系统测量中可将光电传输系统分为调幅方式、压频(V/F)转换方式和模数(A/D)转换方式三种。本文在介绍光电传输系统组成及结构的基础上综述了这三种方式的光电传输系统在电力系统电压、电流、电场强度、泄漏电流以及雷电流等测量中的应用, 并分析了光电传输系统应用于电力系统测量中需进一步解决的一些问题。相信随着技术的进步以及电力自动化的发展, 光电传输系统在电力系统测量中必将得到越来越广泛的应用。

关键词: 电力系统测量; 光电传输系统; 发射电路; 接收电路; 光纤

Application of optic-electric transmission system in electric power system measurement

CHEN Tao-tao¹, FANG Zhi¹, ZHAO Long-zhang¹, QIU Yu-chang²

(1. School of Automation, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China;

2. State Key Laboratory of Electrical Insulation for Power Equipment, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Compared with the traditional method of transmitting measurement signal by cable, transmitting the measurement signal by optic-electric transmission system has high electromagnetic insulation and good anti-electromagnetic interference characteristic, thus it has wide application prospect in power system measurement. Optic-electric transmission system typically consists of transmitting circuit, fiber and receiving circuit. According to the differences of signal modulation and signal demodulation, the optic-electric transmission system can be divided into three kinds, including amplitude modulation mode, voltage-to-frequency (V/F) conversion mode and analog-to-digital (A/D) conversion mode. Based on the introduction of the principle and structure of optic-electric transmission system, the applications of the three kinds of optic-electric transmission system in electric power system measurement, such as voltage measurement, current measurement, electric field intensity, leakage current measurement and lightning current measurement are reviewed in this paper, with some problems that need to be solved in future research being analyzed. It is believed that the optic-electric transmission system will obtain wider applications in electric power system measurement along with the progress of technology and the development of electric power automation.

Key words: electric power system measurement; optic-electric transmission system; transmitting circuit; receiving circuit; optic-fiber

中图分类号: TM835.4

文献标识码: A

文章编号: 1003-4897(2007)15-0077-08

0 引言

目前, 电力系统测量中测量信号一般通过电缆传输, 测量系统高、低压侧的隔离属于电磁隔离。随着现代电力系统向超高压、远距离、大容量的趋势发展, 对其测量系统和信号传输系统提出越来越高的要求, 传统的利用电缆传输信号的已暴露出与之不相适应的弱点, 如: ①绝缘结构复杂, 测量设备体积大, 造价也高; ②设备危险性提高, 信号传输受干扰大; ③测量准确程度低, 测量范围窄; ④输出为模拟量, 不利于电力系统数字化进程^[1-5]。

光电子科学和光纤技术的发展促进了采用光纤作为信号传输载体的光电传输系统在电力系统测量

中的应用。光电传输系统可用于电力系统重污秽、强噪声、强电磁场的测量环境中, 并且结构简单, 成本不高, 在电力系统测量中, 有非常明显的优势, 如: ①容易解决电力系统测量中最主要的绝缘问题。通过光纤隔离高、低电压侧, 能方便地在地面测量高电位点的电量, 低压侧无开路危险, 绝缘费用低, 可制成经济有效的测量系统; ②信号采用光传输, 有效地减小了传输过程中的电磁干扰; ③光的速度快、频率高、可传送高速信息; ④信号传输的线性度高, 能实现输入—输出信号之间的无失真传输; ⑤容易与现代电子仪器相结合^[1-3]。

近年来, 光电传输系统已经在电力系统的电压测量、电流测量、电场强度测量以及泄漏电流测量

等许多方面得到了应用。许多学者、研究人员在这方面做了大量的工作,并且取得了一些研究成果。本文在介绍光电传输系统的组成和原理的基础上,总结了光电传输系统在电力系统测量中的应用,并分析了光电传输系统在实际应用中需解决的一些主要问题。

1 光电传输系统组成和原理

光电传输系统一般由发射电路(包括光源)、光纤以及接收电路(包括光检测器)三部分组成,如图1所示^[3]。发射电路一般由信号处理、信号调制和电光(E/O)转换几部分组成,其功能是使测量信号先经过处理转变为易于调制的信号,再经过调制后驱动发光二极管将电信号转换为光信号;光信号通过光纤传输到位于低压侧的接收电路;接收电路一般由光电(O/E)转换、信号解调和信号处理几部分组成,其功能是将光纤传送的光信号经O/E转换为电信号,然后经解调和信号处理恢复为被测量的电信号。系统的E/O及O/E转换一般采用发光二极管与PIN光电二极管(LED-PIN)组合,光纤一般采用多模光纤^[3]。

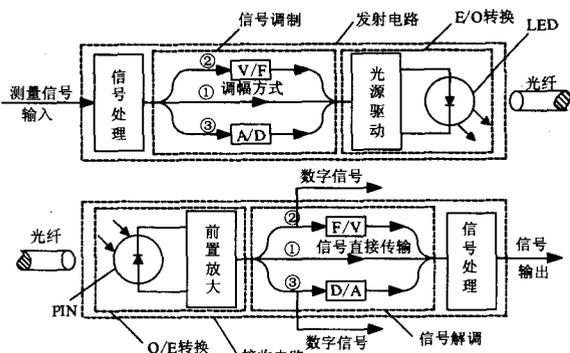


图1 光电传输系统的组成结构图

Fig. 1 Structure of optic-electric transmission system

通常,按信号调制和解调方式的不同,电力系统测量中一般将光电传输系统分为调幅方式、压频(V/F)转换方式和模数(A/D)转换方式三种^[6],如图1中①②③所示。

调幅方式又称基带信号直接强度调制方式,即测量信号不经过调制直接驱动光源,光信号的强弱就反映了被测信号的大小,对应的低压侧接收电路也无需解调电路。调幅方式光电传输系统的电路结构比较简单,但由于光纤传输的是模拟信号,温度和其他噪声因素对信号传输的影响较大,信号传输的线性度不高,系统工作不够稳定,因此应用时有一定的困难。主要应用在温度变化不大的环境中,

且仅适合短距离的信号传输^[3,6]。

V/F转换方式又称脉冲频率调制(PFM)方式,即利用模拟基带信号对脉冲载波进行调频,将基带信号幅度的变化转变成为脉冲频率的变化,然后用这个脉冲调频信号对光源进行光强调制。对应的在低压侧利用频率/电压(F/V)转换器对脉冲信号进行解调。V/F转换方式的光电传输系统能有效地解决调幅方式的非线性和温度稳定性问题,无需编码,调制与解调比较方便,该系统可以应用在任何复杂环境下,且适合于中短距离传输^[3~6]。另外,其O/E转换模块的输出也可不经解调直接作为数字信号输出,经过处理后送至微机单元进行应用^[23]。

A/D转换方式又称脉冲编码调制(PCM)方式。即信号经过A/D转换器(ADC)转换为数字信号来驱动光源,对应的低压侧通过数模(D/A)转换将数字信号还原为模拟信号。PCM应用在光电传输系统中,使系统的传输精度得到提高,如果不需要恢复为模拟信号,则接收端电路比较简单,可以直接和计算机进行数据通信,无需处理^[3]。由于PCM必须辅以时序控制电路,因此电路相对复杂,传输码速低^[6]。但此种方式比较容易与数字仪表仪器相结合,应用在电力系统控制和继电保护等领域有较大的优势^[2]。

2 光电传输系统在电力系统测量中的应用

目前,在电力系统高电压、大电流和其他电磁参量的测量中,光电传输系统都得到了应用。

2.1 光电传输系统在光电互感器中的应用

电流、电压互感器是电力系统中为电能计量和继电保护提供电流信号的重要设备。一直以来电力系统中电流、电压的测量主要采用传统的电磁式互感器。随着电力系统电压等级的不断提高和微机系统在电力系统中的采用,传统的互感器暴露出一些缺点,诸如绝缘难度大;动态范围小;电流较大时会出现饱和现象,影响二次保护设备正确识别;易产生铁磁谐振;输出信号不能直接与微机化计量及保护设备接口等^[2~5]。与传统的电磁式互感器相比,采用光电传输系统的光电互感器具有明显的优点,如:高、低电压完全隔离,低压侧无开路高压危险,具有良好的绝缘效果;不含铁芯,不存在磁饱和、铁磁谐振等问题;抗电磁干扰性能好;频率响应宽,动态范围大;避免了因充油引发的易燃、易爆等危险;体积小、重量轻,节约占地面积,安装便捷;无噪声、无污染,具有优异的环保性能;能适应电力系统数字化、智能化和网络化的要求;一根光缆代替多根电缆,铺设工作量减少,降低了造价等^[2~5]。

这些优点使得光电互感器在电力系统测量中有着广泛的应用前景。

目前研究较为成熟并投入运行的主要是采用光电传输系统的有源光电互感器。有源光电互感器可分为有源光电电流互感器和有源光电电压互感器两类^[2,4]。有源光电电流互感器的电流信号一般是由罗柯夫斯基 (Rogowski) 线圈从母线上取得, 有源光电电压互感器的电压信号一般是通过电容分压器从母线获得^[2-4]。另外, 有源光电互感器高压侧电路一般有三种供电方式: ①高压母线供电; ②低压侧激光供电; ③电池供电^[30]。

1) 在有源光电电流互感器中的应用

由于调幅方式精度难以保证且应用不方便, 光电电流互感器中一般不予采用^[3]。一般采用 V/F 转换方式 (图 1 中②) 和 A/D 转换方式 (图 1 中③)。

Pilling 等人研制了一种低能耗光电电流互感器, 其光电传输系统采用 V/F 转换方式, 高压侧电路供电采用高压母线供电方式, 其传输信噪比为 54 dB, 光纤长度为 15 m。该互感器工作性能稳定, 分别通过了 6 kV、12 kV 和 32 kV 电压等级下的各项测试, 精度达到 0.2 级^[7]。华中理工大学张明明等人设计了一种 220 kV 有源光纤电流互感器, 并申请了专利。其光电传输系统采用 V/F 转换方式, 高压侧有源电路供电采用高压母线供电方式。经电力部武汉高电压研究所测试, 其额定电流为 500 A, 精度达到 0.2 级, 互感器重量为 20 kg^[8]。华北电力大学尚秋峰等人研制了一种高准确度有源光电电流互感器, 其组成结构如图 2 所示。该互感器光电传输系统采用 V/F 转换方式, 高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式。他们的实验表明在 -40 °C ~ 60 °C 的工作温度范围内, 所研制的有源光电电流互感器满足 IEC60044-8 对 0.2 级计量用电流互感器的准确度要求^[9]。

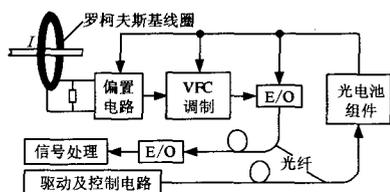


图 2 基于 V/F 转换方式的有源光电电流互感器结构图

Fig.2 Structure of the active optic-electric current transformer based on V/F conversion mode

近年来, 随着以微处理器为基础的数字保护装置、计量测试仪表和运行监控系统在电力系统中的广泛应用, 模拟信号的数字化显得十分重要。另外, 大多数数字保护装置都需要输入数字量, 采用数字

式互感器, 实现电流、电压直接以数字量形式输出已经越来越普遍, 因此, A/D 转换方式越来越多的被采用。

ABB 公司研制了基于 A/D 转换方式光纤传输系统的保护用数字式光电电流互感器, 其高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式, O/E 转换后数字信号直接输入微机, 其测量电流范围为 50~4000 A, 工作温度范围为 -50 °C ~ +40 °C, 光纤长度最大可达 800 m, 准确级为 5P。Donaldson 等人设计的有源光电电流互感器, 采用了 A/D 转换方式的光电测量系统, 其高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式。该互感器的测量精度优于 $\pm 1\%$, 额定最大工作电流为 4 kA, 额定工作频率为 50 Hz, 温度适应范围为 -20 °C ~ +75 °C^[10]。Adolfsson 等人开发的有源光电电流互感器, 其光电传输系统采用 A/D 转换方式, 高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式。该互感器电压等级可达 800 kV, 温度适应范围为 -50 °C ~ +70 °C, 光纤最大长度可达 500 m, 其测量精度优于 $\pm 1\%$ ^[11]。清华大学李芙英等人设计了一种基于 DSP 的光电电流互感器 (OECT), 其光电传输系统采用 A/D 转换方式, 高压侧电路供电通过一个从母线上感应出电能的小型互感器实现。传到低压侧的数字信号未经过 D/A 转换直接输入 DSP 进行数据处理, 其系统结构如图 3 所示。所研制的 OECT 先后通过了在清华大学高电压实验室进行的光纤耐压试验、在 10 kV 与 110 kV 电压等级下进行的各项测试以及在 10 kV 电压等级下的抗干扰运行试验, 并在山东进行了 10 kV 和 110 kV 电压等级的挂网试运行, 其精度优于 $\pm 0.5\%$ ^[12]。

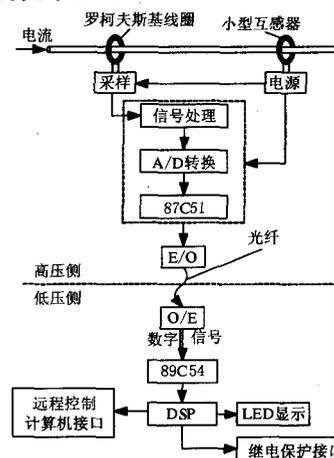


图 3 基于 A/D 转换方式的有源光电电流互感器原理结构图

Fig.3 Structure of the active optic-electric current transformer based on A/D conversion mode

2) 在有源光电电压互感器中的应用

与光电电流互感器一样,光电电压互感器的光电传输系统一般采用 V/F 和 A/D 转换两种方式。

瑞士 ABB 公司研制了基于 A/D 转换方式光电传输系统的保护用数字式光电电压互感器,其高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式,其测量电压范围为 72~765 kV,工作温度范围为 -50 °C~+40 °C,光纤长度最大可达 800 m,准确级为 3P。Cesare Svelto 等人开发了一种光纤电容电压互感器,其系统结构如图 4 所示,该互感器光电传输系统采用 A/D 转换方式,其高压侧电路供电采用低压侧激光供电方式,测量带宽为 50 kHz~5 kHz,电压等级可达 100 kV,测量精度优于 ±0.5%^[13]。华中理工大学叶妙元等人设计了 220 kV 有源光纤电压互感器,并申请了专利。其光电传输系统采用 A/D 转换方式,高压侧电路电能是通过电容分压器利用一种特殊设计的变压器从高压母线获得。该互感器具有很高的精度,比差不大于 ±0.2%^[14]。徐雁等人设计了一种新型的光纤电容电压互感器,其组成结构如图 5 所示。该互感器通过电容分压器获得电压测量信号,其光电传输系统采用 A/D 转换方式,采取从电网上直接获得能量的方法解决了高压侧电路电源问题。所研制电压互感器测量电压等级可达 220 kV,在武汉高压所对其进行了误差检定试验,整机试验误差在 0.3% 以内^[15]。

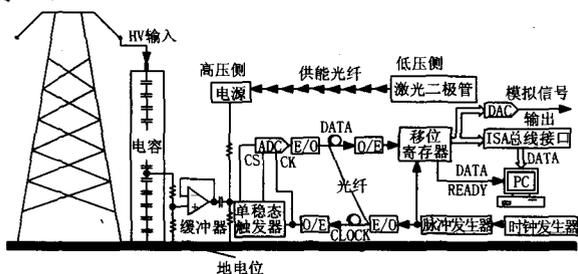


图 4 激光供能的有源光电电压互感器结构示意图

Fig.4 Structure of the optically powered active optic-electric voltage transformer

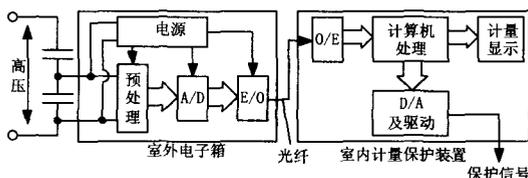


图 5 基于 A/D 转换方式的有源光电电压互感器原理结构图

Fig.5 Structure of the active optic-electric voltage transformer based on A/D conversion mode

2.2 光电传输系统在电力系统电场测量中的应用

电力系统高电压强电场测量一直是电力系统测量的重点研究领域,既包括工频电场的测量,如输

电线路导线附近或地面电场,绝缘子、开关等高电压设备附近或表面的电场分布测量等;也包括瞬态电场的测量,如脉冲功率技术、雷电或间隙放电以及变电站开关操作过程的电场测量。利用光电传输系统传输测量信号,可以有效地减小干扰,从而达到较好的测量效果。目前光电传输系统已在电力系统电场测量中得到了应用。

西安交通大学蒋国雄等设计了一种基于 V/F 转换方式光电传输系统的工频电场测量系统,系统结构图如图 6 所示。系统测量范围为 0.11 kV/cm~10 kV/cm,在均匀电场中,其精度可达到 ±2%^[17]。华北电力大学张海燕等人设计了一种二维瞬态电场传感器,该传感器采用了调幅方式的光电传输系统,最大传输信噪比为 40 dB,系统中光纤长 30 m。传感器测量范围为 0.5~10 kV/cm,测量带宽为 10 Hz~3 MHz,测量误差为 4.53%^[18]。王泽忠等人利用从德国 Stuttgart 大学引进的球型三维电场测量探头,组成了宽频带三维电场测量系统。测量系统由球形探头、光电传输系统和数字示波器组成。其光电传输系统采用调幅方式。该系统可以测量三维的工频电场和暂态电场,其有效的电场测量范围为:0.1~48 kV/m, -0.1~-30 kV/m,测量带宽为 15 Hz~100 MHz^[19]。Thomson 等人开发了一种带宽为 3 Hz~4 MHz 的瞬态电场测量系统,系统采用了调幅方式的光电传输系统,光纤长度为 100 m。测量装置具有很好的瞬态响应和测量精度,系统测量误差小于 0.1%。1984 年在肯尼迪太空中心将该系统成功地投入了运行^[16]。瑞士 HAEFELY 公司研制了采用光电传输系统的 FMS01 电场强度测试仪,其系统结构如图 7 所示^[20]。该测量装置可以同时测量两个正交方向的电场,其光电传输系统中光纤长度为 20 m,高压侧电路电能由蓄电池提供。该测量系统测量带宽为 5 Hz~20 MHz,测量范围为 0.2~10 kV/cm。

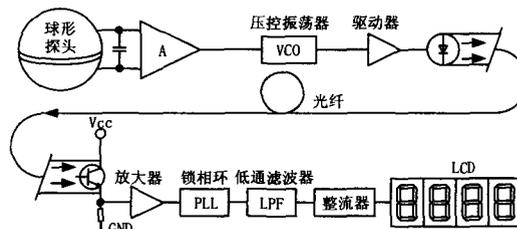


图 6 基于 V/F 转换方式的电场测量系统结构图

Fig.6 Structure of the electric field measurement system based on V/F conversion mode

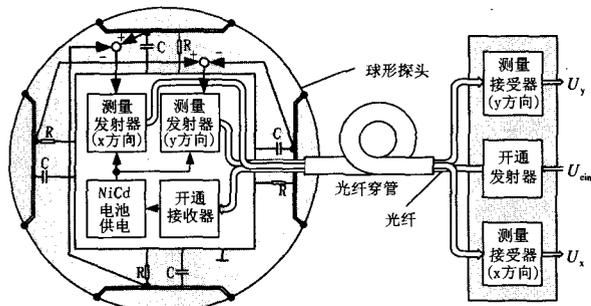


图 7 FM501 电场强度测试仪结构示意图

Fig.7 Structure of FM501 electric field measurement system

2.3 光电传输系统在电力系统测量中的其它应用

除了用在电压、电流和电场的测量外, 光电传输系统在电力系统的其它参数测量中也得到了应用, 如: 泄漏电流、冲击电压、冲击电流、直流电压分布等测量。

Fothergill 等人设计了一种用于测量高压放电脉冲电流的光电测量系统, 其光电传输系统采用调幅方式。系统测量范围为 $1 \mu\text{A} \sim 100 \text{ mA}$, 测量带宽最大为 16 kHz , 测量精度优于 1% [21]。西安交通大学方志等人研制了测量直流输电换流阀电压分布的光电测量系统, 如图 8 所示。其光电传输系统采用 V/F 转换方式。系统的带宽为直直至 1.2 MHz ; 部分响应时间为 120 ns , 最大非线性误差为 1% ; 输入阻抗约为 $1 \text{ M}\Omega$, 输出阻抗约为 50Ω ; 输出性噪比为 38.06 dB ; 传输延迟时间约为 $1 \mu\text{s}$ 。他们的实验结果表明, 所设计的光电测量系统具有较强的抗电磁干扰能力和较高的测量精度, 可以满足测量换流阀电压分布的需要 [22]。

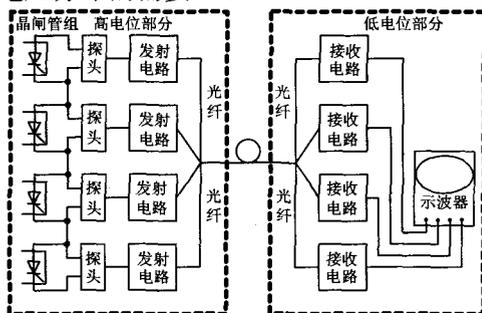


图 8 用于测量直流输电换流阀电压分布的光电测量系统结构图

Fig.8 Structure of the optic-electric measurement system for measuring voltage distribution of valve

华北电力大学杨万开等人研制了污秽绝缘子泄漏电流光纤测量系统, 其光电传输系统采用 V/F 转换方式。所设计的系统中, 低压侧 O/E 转换的结果

直接作为数字信号输入到单片机中进行处理 [23]。常州太平洋自动化技术有限公司研制开发了采用光电传输系统的 BH5000 型避雷器泄漏电流自动检测系统, 其系统结构如图 9 所示。该系统采用 V/F 转换方式的光电传输系统传输测量信号, 有效地解决了避雷器泄漏电流测量传输中高电压隔离的关键问题。该系统中光纤长度被控制在 10 m 以内, 系统检测、显示电流范围为 $0.40 \sim 6.00 \text{ mA}$ (峰值)、 $0.27 \sim 6.00 \text{ mA}$ (有效值); 检测精度为 $\pm 0.05 \text{ mA}$; 该系统户外部分温度适应范围为 $-30 \text{ }^\circ\text{C} \sim +60 \text{ }^\circ\text{C}$, 室内部分为 $0 \text{ }^\circ\text{C} \sim 50 \text{ }^\circ\text{C}$ [24]。

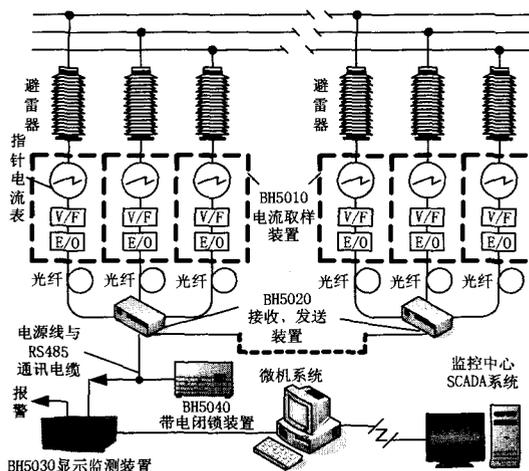


图 9 BH5000 型避雷器泄漏电流自动检测系统结构示意图
Fig.9 Structure of BH5000 auto-detection system for leakage current of MOA (metal oxide arresters)

华中科技大学李开成等人设计了一种用于雷电流测量的智能光纤雷电流测量系统, 如图 10 所示。其工作原理为: 对流经避雷器的消散电流、限幅电流、沿面闪络电流分别取样, 通过基于调幅方式的光电传输系统将电流信号传输到低压侧, 从而实现了高、低电位隔离。该系统的参数为: 消散电流量程: $0 \sim 50 \text{ mA}$; 限幅电流量程: $50 \sim 1000 \text{ A}$; 闪络电流量程: $2 \sim 50 \text{ kA}$; 峰值测量误差为 $\pm 2\%$; 波头测量误差为 $\pm 6\%$; 波形长度测量误差为 $\pm 6\%$ [25]。

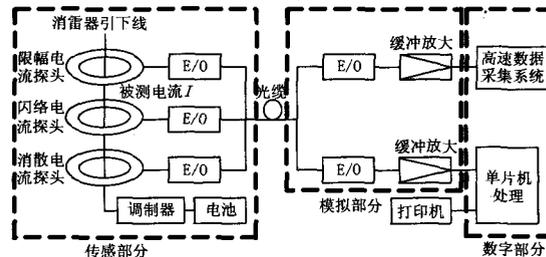


图 10 智能光纤雷电流测量系统结构示意图
Fig.10 Structure of intelligent optical fiber measurement system for lightning current measurement

西安交通大学汲胜昌等人将光电传输系统用于变压器振动测试中。其光电传输系统采用调幅方式。他们的实验结果表明,在变压器振动信号的频率范围内,传输系统的放大倍数基本上不受频率的影响,具有很好的线性度和幅频特性^[26]。

3 需进一步解决的问题

目前,光电传输系统虽然在电力系统中得到了一些应用,但要取代传统的测量系统仍有一些问题需要解决,如:

1) 高压侧发射电路供电问题。许多应用于电力系统测量中的光电传输系统属于有源系统,高压侧电路供电电源的稳定性对于整个光电传输系统的可靠运行起着至关重要的作用。目前,已报道的有源光电传输系统中对高压侧电路供电主要有三种方式:①高压母线供电(如文献[7,8,12,14,15]中光电传输系统);②低压侧激光供电,即在低压侧将电能转化为光能,通过光纤传输到高压侧,再转化为电能为高压侧电路供电(文献[9,10,11,13]中光电传输系统);③采用电池(如蓄电池)供电(如文献[20]中光电传输系统)。第一种方法存在的问题是当母线处于空载等小电流时无法保证电路的正常供电,发生故障大电流时又会产生冲击,易损坏电路;第二种方法供能相对比较稳定,但由于受激光输出功率的限制,特别是E/O转换效率的影响,该方法提供的能量有限,因此对高压侧电路提出了低功耗设计的要求,加大了电路设计的难度。第三种方法由于电池电能有限,需要设计相应的电路进行供电控制,另外,电池的更换相对麻烦。此外其它的如太阳能、风能等供电方式,由于极易受环境温度变化,季节变化等的影响,因此非常不稳定,目前还处在实验室研究阶段。几种供电方式都存在着一定的技术上的不成熟,尚不能完全满足运行要求。因此,如何解决好有源光电传输系统高压侧供电问题是保证电力系统测量设备长期可靠、稳定运行的一个公认难题,亟待有效地解决^[2,27-30]。

2) 光电传输系统的抗干扰问题。光电传输系统与传统的同轴电缆传输系统相比具有优越的抗电磁干扰性能。但是,光电传输系统是由发射电路、光纤和接收电路共同构成的,为了使整个传输系统的抗干扰能力保持在一定的水平上,需加强系统中电子电路,尤其是处于高压侧附近的发射电路电子设备抗电磁干扰能力。为了防止或避免发射电路受到电磁干扰,必须把发射电路完全屏蔽起来,不仅如此,而且还要注意发射电路的电源及其与发射电路的连接导线的屏蔽。目前这方面的技术还不

太成熟,有待进一步研究^[3,29]。

3) 长期运行稳定性问题。在工作环境复杂的电力系统中,工作电路的稳定性极为重要。因此,对于需要长时间运行在电力系统中的光电传输系统,其电路中电子元件及光源长期运行的可靠性和稳定性也是需要进一步解决的一个问题^[2,3,29]。

4) 传输精度问题。光电传输系统在电力系统中要取代传统的传输系统,就必须保证有很高的传输精度,因此,如何采取有效的补偿措施消除光功率波动、温度变化等对电子电路和信号传输的影响就显得至关重要。目前,技术人员已经设计出相应的控制电路,以保证传输信号的准确性,但相应的技术还不够成熟,尚需进一步努力^[3]。

5) 加工工艺问题。目前,采用光电传输系统的测量装置并未在电力系统中得到大规模推广,其中很重要的一点就是光电传输系统的加工工艺还不够成熟。光电传输系统中包含发光二极管、光纤、光电检测器件,存在着光源与光纤的耦合问题,因此,加工工艺相比传统的信号传输系统而言其要求要高得多。此外,抵制和消除工作中机械振动对光电传输系统的影响也对加工工艺提出了很高的要求,这些都有待进一步提高^[2,3]。

4 结论与展望

电力系统测量中,光电传输系统按信号调制方式的不同分为调幅方式、V/F转换方式和A/D转换方式。在光电互感器中一般采用V/F转换方式和A/D转换方式。在电场强度、泄漏电流、雷电流等测量中,这三种光电传输系统都得到了应用。目前光电传输系统在电力系统测量应用中还存在着高压侧供电、抗干扰、长期运行的稳定性、传输精度与加工工艺等问题,需进一步解决。

光电传输系统的优越性能正得到广大科技工作者和工程技术人员的接受和认可,开展这方面的研究工作是非常有意义的。虽然还有一些技术方面的不足,但是随着技术的进步、生产工艺水平的提高以及电力生产自动化的需要,光电传输系统将会越来越广泛地应用在电力系统测量中。

参考文献

- [1] 曾庆禹. 电力系统数字光电量测系统的原理及技术[J]. 电网技术, 2001, 25(4): 1-5.
ZENG Qing-yu. Principle and Technology of Digital Electro-optic Measurement for Power System [J]. Power System Technology, 2001, 25(4): 1-5.
- [2] 周志敏. 高压电器实用技术问答[M]. 北京:电子工业出版社, 2004.

- ZHOU Zhi-min. Questions and Answers of High Voltage Apparatus Practical Technologies[M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry,2004.
- [3] 管喜康. 光纤技术在电工领域中的应用[M]. 北京:水利电力出版社,1992.
- GUAN Xi-kang. Application of Fiber Technology in the Field of Electrical Engineering[M]. Beijing:Hydraulic and Electric Power Press, 1992.
- [4] 叶妙元, 肖霞. 光电互感器——21世纪电力系统电压电流测量的基本设备[C]. 第五届全国智能化电器及应用研讨会论文集汇编, 2001.
- YE Miao-yuan, XIAO Xia. Optic-electric Transformer——The Basic Equipment for Measuring V, I of Power system in the 21th[A]. In:Proceedings of the Fifth National Seminar of Intelligent Electrical Apparatus and Its Application[C]. 2001.
- [5] 狐晓宇. 光电互感器与电磁互感器的比较[J]. 电力学报, 2005, 20(3): 295-296.
- HU Xiao-yu. The Comparison of Photovoltaic Transformer and Electromagnetic Transformer[J]. Journal of Electric Power, 2005, 20(3): 295-296.
- [6] 孟凡勇, 李志刚, 赵鹏, 等. 基于Rogowski和光电通信技术的新型电流互感器[J]. 电气应用, 2006, 25(8): 18-20.
- MENG Fan-yong, LI Zhi-gang, ZHAO Peng, et al. Novel Current Transformer Based on Rogowski and Electro-Optical Communication Technique[J]. Electrotechnical Application, 2005, 20(3): 295-296.
- [7] Pilling N A, Holmes R, Jones G R. Low-power Optical Current Measurement System Employing a Hybrid Transmitter [J]. IEE Proceedings Science, Measurement and Technology, 1994, 141(2): 129 - 134.
- [8] 张明明, 刘延冰, 于英三, 等. 220kV有源光纤电流互感器[P]. 中国专利: 98235723.0, 1999-9-23.
- ZHANG Ming-ming, LIU Yang-bing, YU Ying-san, et al. 220kV Active Optical Fiber Current Transformers[P]. China Patent: 98235723.0, 1999-9-23.
- [9] 尚秋峰, 杨以涵, 高桦. 一种高准确度有源光学电流互感器的研制与校验[J]. 电工技术学报, 2005, 20(3): 105-110.
- SHANG Qiu-feng, YANG Yi-han, GAO Hua. Development and Calibration of an Active Optical Current Transformer with High Accuracy [J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2005, 20(3): 105-110.
- [10] Donaldson E F, Gibson J R, Jones G R, et al. Hybrid Optical Current Transformer with Optical and Power-line Tenderization[J]. IEE Proceedings on Gener, Transm and Distrib, 2000, 147(5): 304 - 309.
- [11] Adolfsson M B, Einvall C H, Lindberg P, et al. EHV Series Capacitor Banks: a New Approach to Platform to Grounds Signaling, Relay Protection and Supervision [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1989, 4 (2): 1369 - 1378.
- [12] 李芙蓉, 纪昆, 臧金奎. 基于DSP的光电式电流互感器的实用化设计[J]. 电网技术, 2002, 26(6): 46-52.
- LI Fu-ying, JI Kun, ZANG Jin-kui. Design of a Practical DSP Based Opto-Electronic Current Transformer [J]. Power System Technology, 2002, 26(6): 46-52.
- [13] Svelto C, Ottoboni R, Ferrero A M. Optically-supplied Voltage Transducer for Distorted Signals in High-voltage Systems[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement, 2000, 49(3): 550-554.
- [14] 叶妙元, 徐雁, 罗苏南, 等. 220 kV有源光纤电压互感器[P]. 中国专利: 98113545.5, 1998-11-11.
- YE Miao-yuan, XU Yan, LUO Su-nan, et al. 220 kV Active optical Fiber Voltage Transformers[P]. China Patent: 98113545.5, 1998-11-11.
- [15] 徐雁, 罗苏南, 叶妙元. 一种新型的光纤电容电压互感器[J]. 华中理工大学学报, 1998, 26(11): 41-43.
- XU Yan, LUO Su-nan, YE Miao-yuan. A New Type of Optical Fiber Voltage Transformer with Capacitor[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 1998, 26(11): 41-43
- [16] 蒋国雄, 杨建中. 工频电场测量和一种新型探头的研究[J]. 高电压技术, 1985, (4): 1-5.
- JIANG Guo-xiong, YANG Jian-zhong. Power Frequency Electric Field Measurement and the Study of a New Type Measuring Probe[J]. High Voltage Engineering, 1985, (4): 1-5.
- [17] 张海燕, 李成榕, 王文端. 二维瞬态电场传感器的研究[J]. 华北电力大学学报(自然科学版), 1995, 22(4): 41-46.
- ZHANG Hai-yan, LI Cheng-rong and WANG Wen-duan. A Study on a Sensor for the Measurement of Two-Dimensional Transient Electric Fields[J]. Journal of North China Electric Power University, 1995, 22(4): 41-46.
- [18] 王泽忠, 李成榕, 李鹏, 等. 用球形三维电场探头测量变电站瞬态电场[J]. 华北电力大学学报, 2002, 29(3): 16-19.
- WANG Ze-zhong, LI Cheng-rong, LI Peng, et al. Transient E-field Measurement in Substation Using Spherical Sensor[J]. Journal of North China Electric Power University, 2002, 29(3): 16-19.
- [19] Thomson E M, Menelaus P J, Unman M A. A Remote Sensor for the Three Components of Transient Electric Fields[J]. IEEE Trans on Industrial Electronics, 1988, 35(3): 426 - 433.
- [20] FM501 Field Measuring System Descriptive Manual[Z]. Haefely Test Systems, 1992.
- [21] Fothergill J C, Houlgreave J A. A Simple Optical Method for Measuring Currents at High Voltages with an Example of Use on a Coronating Electrode in Air[C]. Seventh International Conference on Dielectric Materials, Measurements and Applications, 1996.
- [22] 方志, 赵中原, 邱毓昌, 等. 直流输电换流阀晶闸管电压分布的光电测量系统[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(14): 69-71.

- FANG Zhi, ZHAO Zhong-yuan, QIU Yu-chang, et al. Development of an Optic-Electric System For Measuring Voltage Distribution Along HVDC Converter Valves[J]. Automation of Electric Power Systems, 2003, 27(14): 69-71.
- [23] 杨万开, 田璧元, 程仲林. 污秽绝缘子泄漏电流光纤测量系统[J]. 电力情报, 1994, (1): 59-61.
- YANG Wan-kai, TIAN Bi-yuan, CHENG Zhong-lin. Leakage Current Optical Fiber Measurement System for Contaminated Insulator[J]. Information on Electric Power, 1994, (1): 59-61.
- [24] 周晓威. 用光纤取样技术实现避雷器泄漏电流的在线实时监测[J]. 高压电器, 2001, 37(6): 55-58.
- ZHOU Xiao-wei. On-Line Monitoring the Leaky Current of MOA with Optical-fiber Sampling Technology[J]. High Voltage Apparatus, 2001, 37(6): 55-58.
- [25] 李开成, 叶妙元. 智能光纤雷电流测量系统[J]. 高压电器, 2000, 26(1): 40-42.
- LI Kai-cheng, YE Miao-yuan. Intelligent Optical Fiber Measurement System for Lightning Current Measurement[J]. High Voltage Apparatus, 2000, 26(1): 40-42.
- [26] 汲胜昌, 王世山, 李清泉, 等. 光电系统在变压器振动测试中的应用[J]. 高电压技术, 2002, 28(6): 18-20.
- Ji Sheng-chang, WANG Shi-shan, LI Qing-quan, et al. The Application of Optic-electro System in Vibration Test of Transformer [J]. High Voltage Engineering, 2002, 28(6): 18-20.
- [27] 王海明, 郑绳榷. 电子电流互感器高压侧电源方案研究[J]. 电工技术杂志, 2004, (7): 72-74.
- WANG Hai-ming, ZHENG Sheng-xuan. Researches on Power Supply for the High Voltage Unit of the Active Electronic Current Transducer[J]. Electrotechnical Journal, 2004, (7): 72-74.
- [28] 吕英俊, 李静. 有源电子式互感器高压侧电源设计的新方法[J]. 矿山机械, 2006, 34(3): 74-76.
- LV Ying-jun, LI Jing. Design Method for High Voltage Side Power Supply with Active Electronic Mutual Inductor[J]. Mining & Processing Equipment, 2006, 34(3): 74-76.
- [29] 邸荣光, 刘仕兵. 光电式电流互感器技术的研究现状与发展[J]. 电力自动化设备, 2006, 26(8): 98-100.
- DI Rong-guang, LIU Shi-bing. Research Status Quo and Development of Optical Current Transducer [J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(8): 98-100.
- [30] 方志, 段乃欣, 朱周侠, 等. 电力系统用光电电流互感器的发展[J]. 华东电力, 2002, (12): 51-53.
- FANG Zhi, DUAN Nai-xin, ZHU Zhou-xia, et al. Progress of Opt-electric Current Transducer in Power System [J]. East China Electric Power, 2002, (12): 51-53.

收稿日期: 2006-11-23; 修回日期: 2007-04-30

作者简介:

陈陶陶(1983-), 男, 硕士研究生, 主要从事高压测量设备方面的研究; E-mail: chentaotao1983@gmail.com

方志(1977-), 男, 博士, 主要从事电力系统自动化的理论研究、教学和科研工作;

邱毓昌(1934-), 男, 西安交通大学教授, 博导, IEEE Fellow, 从事高电压技术与气体放电应用等方面的研究。

(上接第 41 页 continued from page 41)

- [4] 夏小飞, 鲁铁成, 董涛, 等. 基于DSP技术的过电压在线监测装置的研制[J]. 高电压技术, 2006, (4).
- XIA Xiao-fei, LU Tie-cheng, DONG Tao, et al. Design of the On-line Over-voltage Detecting Device Based on DSP[J]. High Voltage Engineering, 2006, (4).
- [5] 姚陈果, 孙才新. 配电网过电压在线监测系统的设计与实现[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(9): 74-76.
- YAO Chen-guo, SUN Cai-xin. An On-line Monitoring System for Over-voltage of Distribution Network[J]. Automation of Electric Power Systems, 2004, 28(9): 74-76.
- [6] 程改红, 徐政. 电力系统故障恢复过程中的过电压控制[J]. 电网技术, 2004, 28(11): 29-33.
- CHENG Gai-hong, XU Zheng. A Method to Control Sustained Over-voltage During Power System Restoration[J]. Power System Technology, 2004, 28(11): 29-33.
- [7] 包大恩, 鲁铁成, 吴高林. 配电网电压质量在线监测装置的研制[J]. 高电压技术, 2002, (10).
- BAO Da-en, LU Tie-cheng, WU Gao-lin. Development of Voltage Quality On-line Monitoring Device for Power Distribution System[J]. High Voltage Engineering, 2002, (10).
- [8] 刘强, 张元芳, 黄海鲲, 等. MV—I型过电压在线监测装置的研制[J]. 高电压技术, 2002, (8).
- LIU Qiang, ZHANG Yuan-fang, HUNAG Hai-kun, et al. Development of MV- I Overvoltage On-line Monitoring Device[J]. High Voltage Engineering, 2002, (8).
- [9] Bates J, Tompkins T. VisualC++6.0 使用指南[M]. 石祥生, 等译. 北京: 电子工业出版社, 2000.

收稿日期: 2007-04-18; 修回日期: 2007-06-12

作者简介:

张亚迪(1981-), 男, 博士研究生, 研究方向为电力系统电压调整及无功控制; E-mail: Addywhu@126.com

陈柏超(1960-), 男, 教授, 博士生导师, 研究方向为电力系统过电压抑制新技术, 电能质量控制, 灵活交流输电技术。