

数字化变电站技术丛书

DIGITAL SUBSTATION

制造分册

段新辉 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

数字化变电站技术丛书

制造分册



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

目前,数字化变电站试点及应用都取得了一些成果,为给今后工作提供借鉴,本书在大量收集整理国内外数字化变电站相关素材基础上,结合广东电网中山220kV变电站数字化改造的成果与工程经验,从设计、制造、安装调试、测试、运行维护、状态检修及成果与展望7个方面进行总结与归纳,分7个分册出版,形成本套《数字化变电站技术丛书》。

本书为《数字化变电站技术丛书 制造分册》,全书共9章,包括概述、过程层设备制造、间隔层设备制造、站控层设备制造、网络设备制造、对时系统、防误操作闭锁系统、保护信息子站、数字化变电站工程实例。

本书可供工作在各电网(力)公司、电力科研部门及建设施工单位以及其他相关专业领域的工程技术人员参考,也可作为高等学校相关专业本科生和研究生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字化变电站技术丛书. 制造分册 / 段新辉主编. —北京: 中国电力出版社, 2010

ISBN 978-7-5123-0020-0

I. ①数… II. ①段… III. ①数字技术-应用-变电所-设备-制造 IV. ①TM63-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 007624 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 1 月第一版 2010 年 1 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 8.25 印张 147 千字

印数 0001—3000 册 定价 23.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

近几年对数字化变电站新技术的研究及应用成为热点,数字化变电站已在国内电力系统试点应用并取得一定经验,但尚未有一套完整的书籍对数字化变电站设计、制造、验收、安装调试、运行维护等方面进行归纳总结。本套丛书旨在全面总结广东电网公司中山供电局 220kV 三乡数字化变电站技术改造研究成果,并对今后数字化变电站设计及建设运行提供借鉴。该套丛书由广东电网公司组织有关单位技术人员编著而成,分为设计、制造、安装调试、测试、运行维护、状态检修、成果与展望 7 个分册。

《数字化变电站技术丛书 制造分册》一书共分 9 章,由段新辉担任主编。各章编写人员及编写分工如下:第 1、2、3 章由广东电网公司段新辉编写;第 4、5 章由广东电网公司中山供电局梁国坚编写;第 6 章由广东电网公司中山供电局谢幸生编写;第 7 章由广东电网公司中山供电局曲骅编写;第 8 章由广东电网公司中山供电局葛晓新编写;第 9 章由广东电网公司中山供电局袁拓来编写。

本书在编写的过程中,广东电网公司、广东电网公司电力科学研究院、广东省电力设计研究院、广东省电力调度通信中心、南瑞继保电气有限公司、武汉大学、四川大学等单位给予了大力支持,编写时还参阅了有关参考文献、国家标准、运行规程、技术说明书等。在此,对以上单位及有关作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促,编者水平有限,书中疏漏和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009 年 12 月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 数字化变电站结构及设备	1
1.2 数字化变电站设备制造要求	2
第 2 章 过程层设备制造	5
2.1 非常规互感器	5
2.2 合并单元	18
2.3 智能一次设备	27
第 3 章 间隔层设备制造	35
3.1 间隔层设备配置和组屏	35
3.2 数字化保护装置	36
3.3 测控装置	65
3.4 安全自动装置	71
3.5 故障录波装置	79
3.6 TV 并列装置	83
3.7 数字式电能表	83
第 4 章 站控层设备制造	88
4.1 变电站监控系统	88
4.2 远动装置	90
第 5 章 网络设备制造	93
5.1 交换机	93
5.2 光纤	96
5.3 网络报文监视器	97
5.4 GOOSE 应用	99
第 6 章 对时系统	105
6.1 GPS 对时系统概述	105

6.2	GPS 对时系统技术功能	107
6.3	GPS 对时系统产品实例	108
第 7 章	防误操作闭锁系统	110
第 8 章	保护信息子站	112
8.1	保护信息管理子站	112
8.2	继电保护信息管理子站的功能	112
8.3	保护信息管理子站的系统结构及配置	115
第 9 章	数字化变电站工程实例	117
9.1	数字化变电站设备选型要求	117
9.2	数字化变电站设备应用案例	120
参考文献		122

概述

1.1 数字化变电站结构及设备

电力系统的发展日新月异，变电站自动化（SA）技术已经走过了十几年的历程。近年来，电力系统对电力设备数字化、网络化的要求不断提高，随着计算机技术、通信技术的不断发展，基于智能化一次设备、网络化二次设备的一、二次设备的融合已成为变电站未来发展的趋势，涵盖站控层、间隔层和过程层领域的全新变电站自动化标准 IEC 61850 的出现，促进了数字化变电站的发展与应用。

数字化变电站采用非常规互感器和网络化二次设备，在变电站的通信网络构建中遵循 IEC 61850 标准，变电站的站控层、间隔层和过程层全部实现数字化。数字化变电站的系统实现方案与传统变电站的对比如图 1-1 所示。

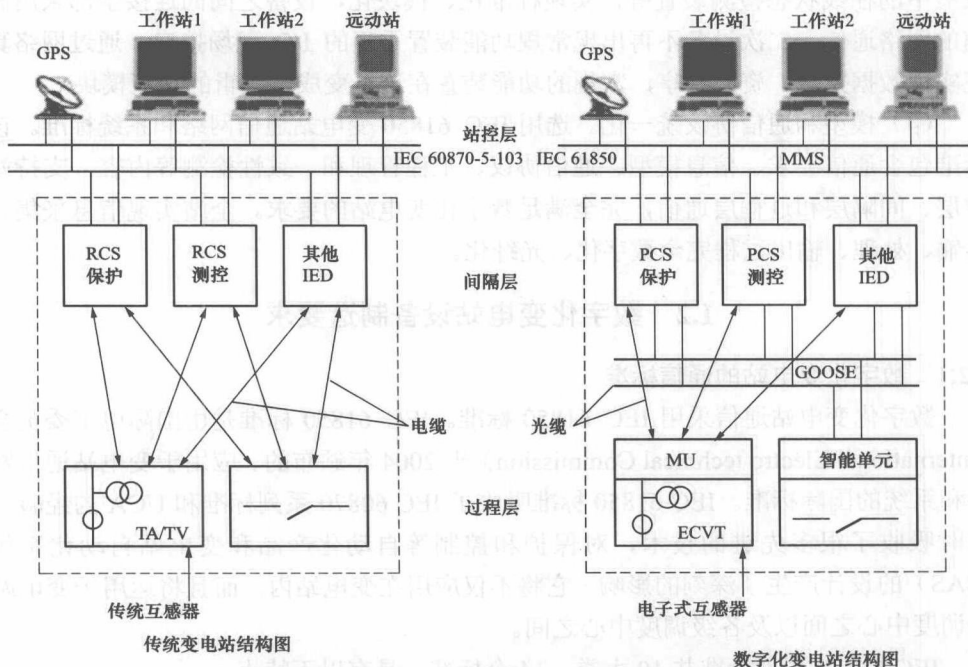


图 1-1 遵循 IEC 61850 的数字化变电站与传统变电站对比

数字化变电站应用 IEC 61850 进行建模和通信,实现过程层设备数字化、站内信息网络化、开关设备智能化。数字化变电站有如下特点:

(1) 设备分层分布化。根据不同功能,变电站设备在逻辑结构上划分为过程层、间隔层和站控层。过程层实现所有与一次设备接口相关的功能,包括开入/开出、模拟量采样等;间隔层的功能是利用本间隔的数据对本间隔的一次设备产生作用;站控层的功能是利用全站的数据对全站的一次设备进行监视和控制及与远方控制中心的数据交换。过程层是专门针对数字化变电站设备划分的,它分担了常规变电站间隔层的部分功能。

(2) 一次设备智能化。一次设备被检测的信号回路和被控制的操作驱动回路采用微处理器和光电技术设计,简化了常规机电式继电器及控制回路的结构,数字程控器及数字公共信号网络取代传统的导线连接。变电站二次回路中常规的继电器及其逻辑回路被可编程序代替,常规的强电模拟信号和控制电缆被数字信息和光纤代替。

(3) 二次设备网络化。变电站内二次设备,如继电保护装置、防误闭锁装置、测量控制装置、远动装置、故障录波装置、电压无功控制、同期操作装置以及正在发展中的在线状态检测装置等,实现标准化、模块化,设备之间的连接全部采用高速的网络通信,二次设备不再出现常规功能装置重复的 I/O 现场接口,通过网络真正实现数据共享、资源共享,常规的功能装置在这里变成了逻辑的功能模块。

(4) 模型和通信协议统一化。选用 IEC 61850 变电站通信网络和系统标准。该标准包含通信要求、信息模型、通信协议、工程管理和一致性检测等内容,支持站控层、间隔层和过程层通信,完全满足数字化变电站的要求。全站实现信息采集、传输、处理、输出过程完全数字化、光纤化。

1.2 数字化变电站设备制造要求

1.2.1 数字化变电站的通信标准

数字化变电站通信采用 IEC 61850 标准。IEC 61850 标准是由国际电工委员会(International Electro technical Commission)于 2004 年颁布的、应用于变电站通信网络和系统的国际标准。IEC 61850 标准吸收了 IEC 60870 系列标准和 UCA 的经验,同时吸收了很多先进的技术,对保护和控制等自动化产品和变电站自动化系统(SAS)的设计产生了深刻的影响。它将不仅应用在变电站内,而且将运用于变电站与调度中心之间以及各级调度中心之间。

IEC 61850 系列标准共 10 大类、14 个标准,具有以下特点:

(1) 定义了变电站的信息分层结构。变电站通信网络和系统协议 IEC 61850 标

准草案提出了变电站内信息分层的概念,将变电站的通信体系分为 3 个层次,即变电站层、间隔层和过程层,并且定义了层和层之间的通信接口。

(2) 采用了面向对象的数据建模技术。IEC 61850 标准采用面向对象的建模技术,定义了基于客户机/服务器结构数据模型。每个 IED 包含一个或多个服务器,每个服务器本身又包含一个或多个逻辑设备。逻辑设备包含逻辑节点,逻辑节点包含数据对象。数据对象则是由数据属性构成的公用数据类的命名实例。从通信而言,IED 同时也扮演客户的角色。任何一个客户可通过抽象通信服务接口(ACSI)和服务器通信访问数据对象。

(3) 数据自描述。该标准定义了采用设备名、逻辑节点名、实例编号和数据类名建立对象名的命名规则;采用面向对象的方法,定义了对象之间的通信服务,例如,获取和设定对象值的通信服务,取得对象名列表的通信服务,获得数据对象值列表的服务等。面向对象的数据自描述在数据源就对数据本身进行自我描述,传输到接收方的数据都带有自我说明,不需要再对数据进行工程物理量对应、标度转换等工作。由于数据本身带有说明,所以传输时可以不受预先定义限制,简化了对数据的管理和维护工作。

(4) 独立于网络的抽象通信服务接口。IEC 61850 标准总结了变电站内信息传输所必需的通信服务,设计了独立于所采用网络和应用层协议的抽象通信服务接口(ASCI)。在 IEC 61850-7-2 中,建立了标准兼容服务器所必须提供的通信服务的模型,包括服务器模型、逻辑设备模型、逻辑节点模型、数据模型和数据集模型。客户通过 ACSI,由专用通信服务(SCSM)映射到所采用的具体协议栈,如制造报文规范(MMS)等。IEC 61850 标准使用 ACSI 和 SCSM 技术,解决了标准的稳定性与未来网络技术发展之间的矛盾,即当网络技术发展时只要改动 SCSM,而不需要修改 ACSI。

1.2.2 数字化变电站设备制造要求

数字化变电站的智能化一次设备和网络化二次设备制造应满足以下要求:

- (1) 具有数字化接口。
- (2) 具有网络通信(接口)功能。满足 IEC 61850 的要求,实现不同厂家设备之间无缝连接。
- (3) 满足电磁兼容要求。通过一系列规定的电磁兼容试验并满足要求。
- (4) 满足绝缘要求。能通过规定的绝缘试验、冲击电压试验。
- (5) 继电保护动作可靠。继电保护坚持独立起动元件的原则,使用电子式互感器后,以测量数据进行起动元件计算,保护数据进行保护计算,提高继电保护的安全性,防止了单一数据异常造成保护误动。对保护、测量数据的品质分开处理,与

某个保护模块无关的采样数据异常情况时不影响本保护元件的动作行为，防止电子式互感器以及合并单元异常情况下保护拒动，最大限度减少数据异常造成的保护功能的缺失。

除以上几点外，数字化变电站设备因类别和用途不同，所需满足的制造要求及工艺都会有所不同。

过程层设备制造

2.1 非常规互感器

2.1.1 非常规互感器概述

电流互感器和电压互感器是电力系统进行电流、电压测量的重要设备,其精度及可靠性与电力系统的安全、可靠和经济运行密切相关。传统的电流互感器和电压互感器是电磁感应式的,具有类似变压器的结构。

随着电力工业的发展,电力系统传输的电力容量不断增加,电网运行电压等级也越来越高。目前电力系统电流、电压的测量主要是采用传统的电磁式电流、电压互感器和电容式电压互感器,随着电压等级提高和传输容量的增大,传统互感器暴露出以下缺点:

- (1) 绝缘结构复杂、体积大、造价高。
- (2) 动态范围小,出现的谐波暂态信号容易使保护产生误动作;线性度不好,电磁式电流互感器还会出现饱和现象,影响二次保护设备正确识别故障。
- (3) 输出不能直接与微机化计量及保护设备接口。
- (4) 易产生铁磁谐振、易燃、易爆等。

与传统互感器相比,基于光学技术、微电子技术、微机技术的非常规互感器具有以下优点:

(1) 高低压完全隔离,安全性高,具有优良的绝缘性能和优越的性价比。电磁式互感器的被测高压信号与二次线圈之间通过铁芯耦合,它们之间的绝缘结构复杂,其造价随电压等级呈指数关系上升。非常规互感器取消了铁芯,将高压侧信号通过绝缘性能很好的光纤传输到二次设备,这使得其绝缘结构大大简化,电压等级越高其性价比优势越明显。非常规互感器利用光缆而不是电缆作为信号传输工具,实现了高低压的彻底隔离,不存在电压互感器二次回路短路或电流互感器二次开路给设备和人身造成的危害,且光信号有着电信号无法比拟的电磁兼容性能,安全性和可靠性大大提高。

(2) 不含铁芯,消除了磁饱和和铁磁谐振等问题。电磁式电流互感器由于使用了基于铁芯的电磁感应原理,铁芯的存在不可避免地存在磁饱和和铁磁谐振等问题。非常规互感器在原理上与传统互感器有着本质的区别,一般不用铁芯作磁耦合,因此

消除了磁饱和和铁磁谐振现象,从而使互感器运行暂态响应好,稳定性好,保证了系统运行的高可靠性。

(3) 电磁式互感器需要提供较多绕组供不同的二次设备使用,而非常规互感器提供的是数字信号,二次设备可以共享电压、电流信号,减少体积,节省资源。

(4) 动态范围大,测量精度高。电网正常运行时,电流互感器流过的电流并不大,但短路电流一般很大,而且随着电网容量的增加,短路电流越来越大。电磁式电流互感器因存在磁饱和问题,难以实现大范围测量,一台互感器很难同时满足高精度计量和继电保护的需要。非常规互感器有很宽的动态范围,一台非常规互感器可同时满足计量和继电保护的需要。

(5) 频率响应范围宽。非常规互感器可以测出高压电力线上的谐波,还可进行电网电流暂态、高频大电流与直流的测量,而电磁式互感器是难以进行这方面工作的。

(6) 没有因充油而潜在的易燃、易爆等危险。非常规互感器的绝缘结构相对简单,无须采用油作为绝缘介质,不会引起火灾和爆炸等危险。

(7) 体积小、质量轻。非常规互感器无铁芯,其质量较相同电压等级的电磁式互感器小很多,这给运输和安装带来了很大的方便。

(8) 适应了电力计量与保护数字化、微机化和自动化发展的潮流。输出的数字接口的物理层和链接层符合 IEC 61850 标准,与数字化的继电保护、通信及计量兼容。

电压等级越高,非常规互感器的优势越明显。

非常规互感器通常由传感模块和合并单元两部分构成,传感模块又称为远端模块,安装在高压一次侧,负责采集、调理一次侧电压电流并转换成数字信号。合并单元安装在二次侧,负责对各相远端模块传来的信号作同步合并处理。

非常规互感器按远端模块是否需要供电,分为有源电子式互感器、无源光学式互感器。

2.1.2 非常规互感器技术功能

2.1.2.1 有源电子式互感器

有源电子式互感器利用电磁感应等原理感应被测信号,对于电流互感器采用罗柯夫斯基(Rogowski)线圈,对于电压互感器采用电阻、电容或电感分压等方式。

有源电子式电流互感器高压侧有电子电路构成的电子模块,电子模块采集线圈的输出信号,经滤波、积分变换及 A/D 转换后变为数字信号,通过光电转换电路将数字信号变为光信号,然后通过光纤将数字光信号送至二次侧供继电保护和电能计量等设备用。有源电子式电流互感器高压侧的电子模块需工作电源,利用激光供电

技术实现对高压侧电子模块的供电是目前普遍采用的方法,这也是有源电子式互感器的关键技术之一。下面以目前应用最多的空心线圈的有源电子式电流互感器的工作原理进行说明,它的整个组成原理框图如图 2-1 所示。

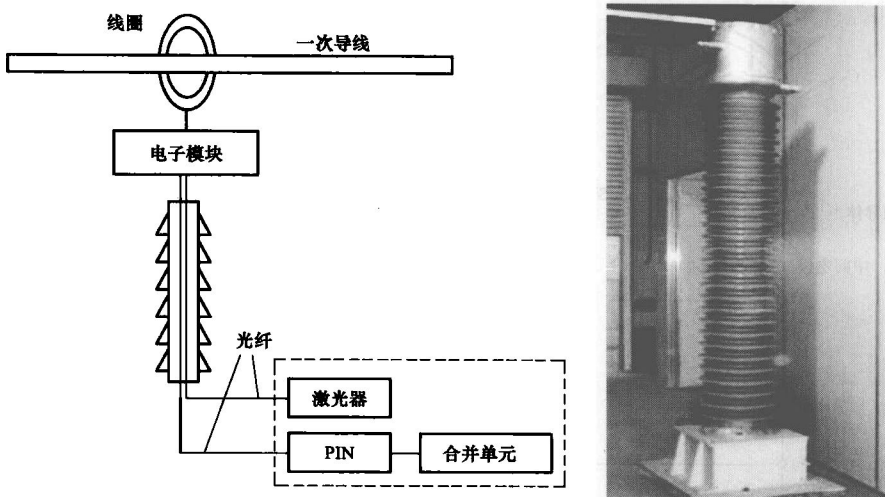


图 2-1 有源电子式电流互感器组成原理框图

罗氏线圈是一种较成熟的测量元件,实际上是一种特殊结构的空心线圈。将测量导线均匀地绕在截面均匀的非磁性材料的框架上,就构成了罗氏线圈。它在传感结构上根本解决了铁芯线圈电流互感器的磁路饱和问题,可根据被测电流的变化,感应出被测电流变化的信号,其特点在于被测电流几乎不受限制,反映速度快,可以测量前沿上升时间为纳秒级的电流,且精度高达 0.1%。从测量大电流的观点来看,罗氏线圈是一种较理想的敏感元件。由于它不与被测电路直接接触,可方便地对高压回路进行隔离测量,当被测电流从线圈中心通过时,在线圈两端将会产生一个感应电压,若线圈匝数密度 n 及线圈截面积 S 均匀,则线圈感应电压的大小为 (μ_0 为真空导磁率)

$$u_0 = -\mu_0 n S \frac{di}{dt} \quad (2-1)$$

式 (2-1) 表明空芯线圈的感应信号与被测电流的微分成正比,经积分变换等信号处理便可获知被测电流的大小。

有源电子式电压互感器主要是由电容分压器(或电阻分压器、阻容分压器)、电子处理电路和光纤等组成。电子电路的工作电源由分压器或者从变电站的电源获取,

被测电压信号由互感器或分压器从电网中取出, 然后由前端处理电路处理后转换成数字光信号传输到控制室。在控制室由光电转换电路、EFG 处理电路处理后得到保护和计量所需的电压信号, 图 2-2 为有源电子式电压互感器原理框图。

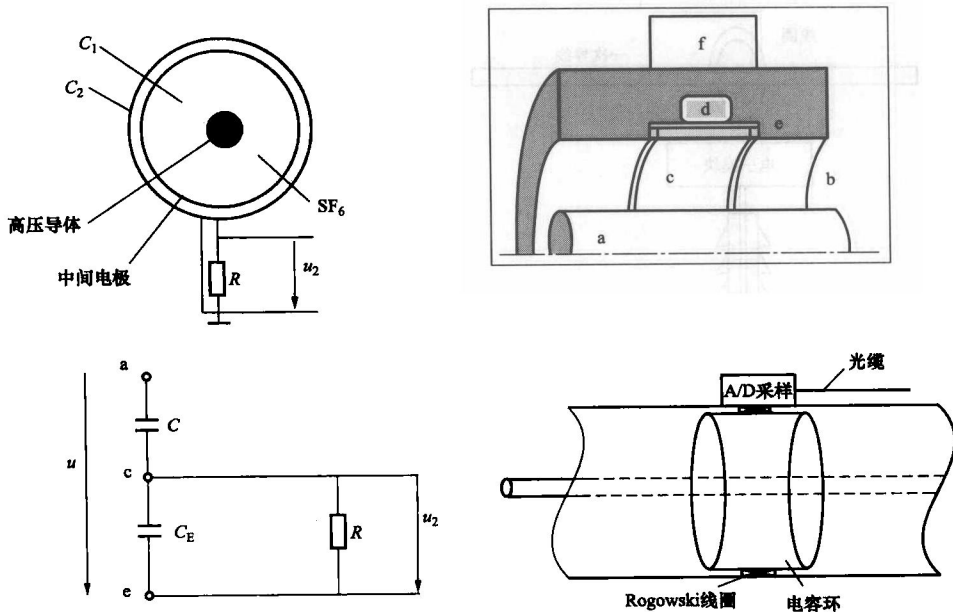


图 2-2 有源电子式电压互感器原理框图

有源电子式互感器的工作原理框图如图 2-3 所示。

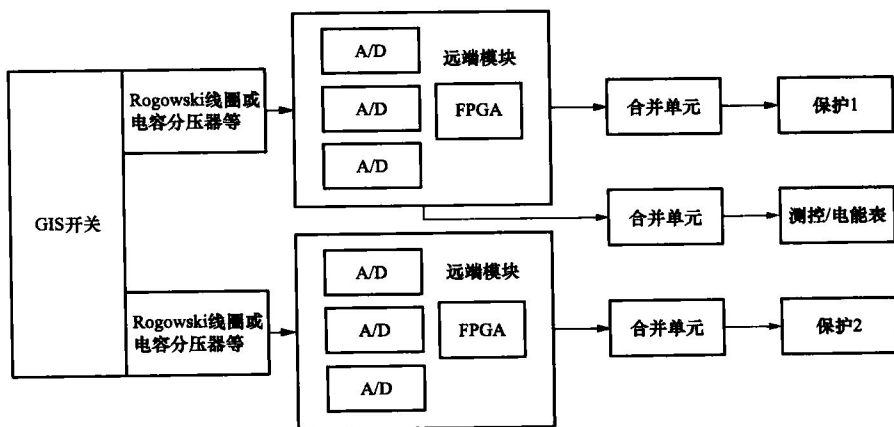


图 2-3 有源电子式互感器的工作原理框图

有源电子式电压/电流互感器的特点是：既发挥了光纤系统的绝缘性能好、抗干扰能力强的优点，明显降低了高电压等级电流、电压互感器的体积、质量和制造成本，又利用了传统互感器原理技术成熟的优势，避开了纯光学互感器光路复杂、稳定性差等技术难点。

有源电子式互感器设备制造的关键技术有以下几点：

- (1) 远端模块的稳定性和可靠性（安置在室外时温度影响、电磁干扰等）。
- (2) 绕制在陶瓷骨架上的空芯线圈结构的稳定性对测量精度的影响。
- (3) 对独立结构的有源电子式互感器的远端模块取电技术。

2.1.2.2 无源光学式互感器

无源光学式互感器可分为光学式电流互感器和光学式电压互感器两种。

2.1.2.2.1 光学式电流互感器工作原理

光学式电流互感器中，光学介质（包括光纤、光学玻璃、晶体等）既起高低压之间绝缘隔离的作用，又起对电流进行采样的作用。在光学介质中传播的光波，其状态可以用强度、频率、波长、相位和偏振态等参数描述。当外界信息与光波发生相互作用时，如果作用的结果改变了上述五个参数中的一个，则称为参数调制。

按照参数调制机理，光学式电流互感器又分为以下三种：

(1) 光强度调制型的光学式电流互感器。这种类型的光纤传感器一般都是以传统的电流互感器（TA）为基础的。它的传感头部分主要由一个 TA 和一个高功率的二极管（LED）组成，探测部分由一个探测二极管和其他处理电路组成。在这种系统中，LED 发射强度和被测高压端电流成一定的比例关系，以光纤为通道，将光传输到低压部分，通过光电探测器和信号处理电路便可测出高压端电流。由此可看出这种类型的光纤电流传感器结构简单、造价低、便于实现。但 LED 受温度影响很大，随温度升高，LED 输出强度将以 0.5% 的速率降低。因此，必须解决好温度控制的问题。

(2) 光相位调制型的光学式电流互感器。传感器首先利用被测电流改变光纤中传输的光的相位，再通过干涉技术把相位变化转化为强度变化，最终实现对外界被测物理量的检测。此类传感器由于采用干涉结构，具有极高的灵敏度，电流测量范围大，线性度好，因此有望在电力系统中得到广泛应用。

(3) 光偏振型的光学式电流互感器。1846 年法拉第首次发现，磁场不能对自然光产生直接作用，但在光学各向同性的透明介质中，外加磁场 H 可以使在介质中沿磁场方向传播的平面偏振光的偏振面发生旋转，这种现象称为磁致旋光效应或法拉第效应。根据法拉第效应，以光纤作为传感物质，当其处在被测电流产生的磁场中时，通过光纤的线偏振光的偏振面会发生偏转，通过检测其偏转角度的大小就可以得到相应的电流数值。

当一束线性偏振光通过放置在磁场中的 Faraday 旋光材料（如重火石玻璃）时，若磁场方向与光的传播方向相同，则光的偏振面将产生旋转，旋转角 θ 正比于磁场

强度 H 沿偏振光通过材料路径的线积分。即

$$\theta = V \oint H dl = V i \quad (2-2)$$

式中 V ——磁光材料的 Verdet 常数。

由式 (2-2) 可知, 角度 θ 与被测电流成正比, 利用检偏器将角度 θ 的变化转换为输出光强的变化, 经光电变换及相应的信号处理便可求得被测电流 i 。其测量原理

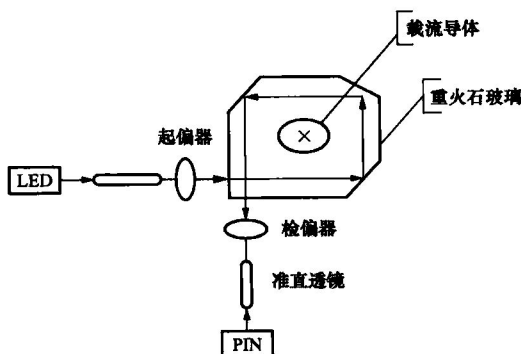


图 2-4 光偏振态型的光学式电流互感器测量原理图

如图 2-4 所示。

由于光纤自身和光纤弯曲造成的双折射的存在, 使得在检测系统中存在固有的偏差, 降低了系统的检测灵敏度和准确度。因此, 为了提高这类传感器的性能, 使这类传感器应用于实际, 必须要减小引起光纤产生双折射的因素。

光学式电流互感器的结构如图 2-5 所示。

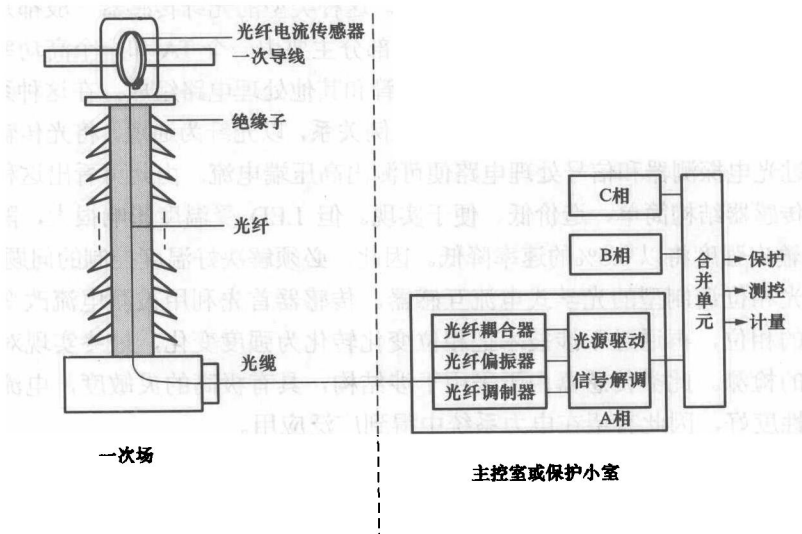


图 2-5 光学式电流互感器结构图

2.1.2.2.2 光学式电压互感器工作原理

光学式电压互感器主要是利用晶体的线性电光效应。能够稳定应用于高压测量的晶体并不多, 目前应用最多的电光晶体就是锆酸钡晶体。光学式电压互感器的测

量原理如图 2-6 所示。

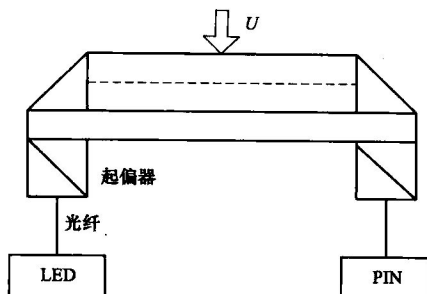


图 2-6 光学式电压互感器测量原理图

LED（发光二极管）发出的光经起偏器后为一线性偏振光，在外加电压作用下，线偏振光经电光晶体（如 BGO 晶体）后发生双折射，双折射两光束的相位差 δ 与外加电压 U 有如下关系

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} n_0^3 \gamma_{41} \frac{l}{d} U \quad (2-3)$$

式中 n_0 ——BGO 晶体的折射率；
 γ_{41} ——BGO 晶体的电光系数；
 l ——BGO 晶体中光路长度；
 d ——施加电压方向的 BGO 晶体厚度；
 λ ——入射光波长。

相位差 δ 与外加电压 U 成正比，利用检偏器将相位差 δ 的变化转换为输出光强的变化，经光电变换及相应的信号处理便可求得被测电压。根据传光方向与电压（电场）方向的位置关系可分为纵向调制型和横向调制型两种方式。

2.1.2.2.3 光学式互感器制造的技术难点

光学式互感器的特点是整个系统线性度好，灵敏度较高，绝缘性能好；但其精度和稳定性易受温度与振动的影响。由于温度对晶体和光纤的影响比较大，对晶体加工的工艺要求很高。因此，长期运行中的稳定性问题是光学式互感器实用化和产品化的一个技术难点。

光学式互感器制造的技术难点有以下几项：

- （1）光学传感材料的选择。
- （2）温度对精度的影响。
- （3）微弱信号检测。