

电子式互感器

| 原理与应用 |



刘忠战 任稳柱 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电子式互感器

| 原理与应用 |

刘忠战 任稳柱 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书配合我国智能电网建设技术现状,介绍了国内技术成熟、已定型量化产品的新型电子式互感器的工作原理、结构特点以及应用技术。侧重介绍新型互感器在数字化变电站设计、选型、装配、试验、检验的标准和方法。

本书适用于电站工程设计、电子式互感器采购、安装、调试、试验及相关工作的人员。

图书在版编目(CIP)数据

电子式互感器原理与应用 / 刘忠战编著. —北京: 中国电力出版社, 2014.6

ISBN 978-7-5123-5218-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①互感器—基本知识 IV. ①TM45

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第280324号



中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014年6月第一版 2014年6月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 13印张 296千字

印数0001—3000册 定价36.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
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

序 言



电网是实现能源大规模、远距离快速流动的高速公路，是技术综合性最强的工业领域之一。在当今，中、美、欧均提出了意义相近的智能电网概念，并制定规划，力图使这种瞬间实现能量转移的网络系统更加敏慧、高效、合理、安全。实现这一目标，仰赖于现代高速发展的信息技术、材料技术、超导技术、广域测控技术和电力电子技术，只有这些新技术合理地交叉融合，才会造就更为先进的智能电网体系。

电子互感器是智能电网测控技术的信息探头，是构成智能测控系统的感官部件。新型电子式互感器融入了传感器、计算机、光通信及网络技术，它本身就是一个现代新技术的融合体，尤其是传感器技术，摒弃了传统的铁磁耦合传感机理，大量采用无功率消耗过程的信息转换技术，如：空心 Rogowski 线圈的运用、Faraday 磁光材料的运用、纳米晶高磁导材料的运用，都是新材料技术的工程化应用延伸，光纤隔离绝缘代替了复杂的油气绝缘系统，更使互感器技术发生了质的变化。

本书的作者是一些产品的原创技术的研发者，在十多年的研发应用实践中，积累了大量的一手技术资料和经验数据，书中介绍的一些观念，实际上是通过大量试验和应用比较得出的结论，至少是现阶段的比较性结论，书中对电子式互感器应用中的一些优、劣、风险评估意见尤其值得借鉴。

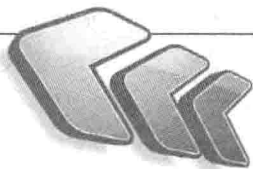
电子互感器技术正在快速发展中，本书作为十年技术成果的阶段性总结，值得电力科研、应用工作者研读和参考。

出于对新材料应用技术的关注，与本书作者做过多次有益的技术交流，对他们严谨的科研态度，理论上不断探索和追求的精神深表敬意。衷心希望本书能为推动智能电网建设做出有益的贡献。

王中林

2014 年 1 月

前言



近几年,在中国乃至世界电力制造行业正在涌动着一股数字化、智能化的革新浪潮。新时代信息产业革命所产生的一些技术成果,正在迅速延伸应用到电力制造以及电网运行管理行业,引发更加深刻的技术革命。

通常认为现代信息技术的三大支柱是:传感器技术、计算机技术和通信技术,而新型电子式互感器的出现,恰好是这三种新技术有机结合的产物,试想,没有新型磁—光、磁—电传感材料及技术发明,就不可能出现新型光学无源或高性能微功耗有源电流传感器;没有高速低功耗微处理器芯片技术,不可能搭建数字化、智能化的远端模块 IED;没有现代光纤通信技术,不可能出现新型“光隔离”绝缘技术。可见新型电子式互感器技术的出现,完全是信息技术革命向电力制造业延伸的产物。

2005 年,在一所大学的电气工程学术年会上,作者所准备的“光隔离电子式互感器”演讲题目被安排在下午 4 点钟进行,已听过数十个报告的与会学者们早已精力疲惫,多数离场,闲渡外廊喝茶小息,面对厅内仅剩的四五十个仍在“坚持”的听众,我在报告之前临时增加了开场白:“我统计了今天所有学术报告中出现最多的一个词,那就是‘高压绝缘’,百多年来,绝缘是高压电器制造技术中永恒的话题,围绕着这一话题,学者们有写不完的文章,电器制造业有攻克不完的技术难关,可是我今天要介绍的一种高压电器,绝缘难题将会奇迹般地永久性地被化解了……”,外廊的学者们显然听到了扩音器传出的声音,带着职业敏感、怀疑和惊异,纷纷返回会场,以至于报告一再被热烈的提问所延长。由此可见新型互感器采用的“光隔离绝缘”技术是最有吸引力的伟大创新。

新型电子式互感器陆续在我国智能变电站上得到应用,被誉为 21 世纪初高压电器制造业的一场革命,它颠覆了高压电器只能依靠油、气绝缘的传统理念,简单的“光隔离”绝缘取代了沿用百年结构庞杂的油—气绝缘系统;数字化输出、网络化接线使得电网更安全、更环保、更利于一次电器乃至整个输配电系统智能化,这些新理念和技术亮点作为一种技术引擎,引发国际上一波又一波研发热潮。

历经二十多年的理论探讨和研发实践,特别是近五年的实际应用,我国在电子式互感器应用领域进步神速,后来居上,在应用规模和技术上已经处在世界同行的前列。我国新兴的智能电网建设,形成巨大的市场牵引力,催生具有我国自主知识产权、自主创新、适合我国电网应用特点的新品涌现,形成了不同门类互感器品种和相应的核心技术。

我国目前大约有上百个单位从事新型电子式互感器的制造、试验和应用研究,一些制造企业已逐渐具有门类齐全的供货能力,产品涉及 10~800kV,电流、电压、独立式、组合电器式等不同品种。各省市已建成 220kV 以下的各种试验站约有 300 多个,特别是 2009

年以来,国家电网公司以及南方电网公司实施了不同电压等级的数字化试点工程,最高电压等级达到 750kV。2011 年 3 月 1 日,全部采用电子式互感器的延安 750kV 智能变电站成功投运,标志着我国电子式互感器的研发应用水平达到一个新的高度。

笔者作为电子式互感器产品研发和试验研究工作者,有幸亲历了十多年来从核心技术攻关、新品研制、验证试验直到在电站上实际应用的全过程;参与了近年来 IEC 标准到国家标准的转化以及新国标的讨论和修订;参与几十个不同类型数字化电站前期设计、互感器现场安装、调试、改进全过程。特别是国内 500kV 和 750kV 两个类型的大型试点站,数百套不同类型互感器的研制及现场调试和试验投运过程;参与了国内重要的技术论坛以及学术刊物的论文交流。萌生编写本书的念头是出于以下考虑,在与电站设计、试验、检验人员的长期交流和接触中,深切感觉到:①人们对新型电子式互感器的理解尚有一些误区,设计的关注点往往不甚恰当,不利于发挥电子式互感器的优势。②出于商业竞争的需要,制造厂家难免在产品宣传中褒长蔽短,电站技术人员很难在短时间内做到全面了解,往往在选型设计中做出误判。③新型电子式互感器的现场检验、试验、日常维护方法尚未形成技术规范,需要在总结既有经验的基础上提供可供借鉴的数据资料。对于以上需求,作为一个亲历全过程的研发者和试验者,有必要通过一本书的篇幅作较为全面的介绍,提供更多的背景技术资料以及施工的经验教训,以便科学、合理、有序的全面推进电子式互感器在智能电站上的应用。

本书将努力面对电网实际应用,重点介绍获得共识的技术方案以及产品类型,不追求学术论文形式,不作大量公式推导,直接采用成熟理论对现象做出解释,力求利用较小篇幅提供更多的理论技术资料、现场使用信息以及试验检验方法。

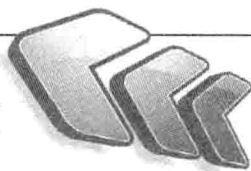
本书由刘忠战完成第 1~12 章及第 14 章的编写,特约长期从事互感器试验研究的西安高压电器研究院任稳柱(教授级高工)编写了第 13 章。书中图片资料除文中注明出处之外,其余部分由西安华伟光电技术有限公司提供,在此一并感谢。

限于作者知识领域以及经验范围,书中难免有不妥之处,诚望读者指正。

刘忠战

2014 年 2 月

目 录



序言
前言

①	互感器技术研发及应用概况	1
1.1	互感器技术发展回顾	1
1.2	技术方案优选过程	2
1.3	电子式互感器核心技术群	3
1.4	应用面临的主要问题	4
1.5	技术发展新趋势	5
②	电子式互感器系统的作用和分类	7
2.1	互感器在电网中的作用	7
2.2	通用体系结构	8
2.3	电子式互感器的类型	9
2.4	互感器的结构	11
③	线圈类电流传感器	16
3.1	电流传感器的一般要求	16
3.2	LPCT 电流传感器	17
3.3	罗氏线圈电流传感器	23
3.4	LPCT 与罗氏线圈复合传感方式	31
④	光学及电子类电流传感器	33
4.1	光学电流传感器	33
4.2	电子类电流传感器	41
⑤	电压传感器和分压器	47
5.1	电压传感器的一般要求	47

5.2	电容分压	48
5.3	电阻分压	50
5.4	阻—容分压器	52
5.5	光学电压传感器	53
5.6	电压—电流组合传感器	55

⑥ 信号调理与数字采集技术

6.1	电子式互感器的输出标准	58
6.2	信号调理方法	61
6.3	数字采集技术	66

⑦ 合并通信单元

7.1	MU 功能概述	69
7.2	物理层协议和惯例	70
7.3	链路层协议	74
7.4	应用层相关协议	75
7.5	合并器的通信方式	77

⑧ 互感器的辅助电源技术

8.1	高压侧电源问题	79
8.2	激光送能技术	81
8.3	自励电源技术	82
8.4	外供电源	86
8.5	电源技术研发的方向	88

⑨ 互感器的选型与应用配置

9.1	相关参数及规定	89
9.2	互感器类型及其特性	91

⑩ 互感器的功能组合与扩展

10.1	功能组合与功能扩展的意义	99
10.2	功能组合设计	100
10.3	互感器功能的扩展	103
10.4	电子式互感器与电器智能化	105

⑪ 现场电磁干扰及防护技术

11.1	电站上特殊的 EMC 问题	108
------	---------------------	-----

11.2	电站干扰源的特点	109
11.3	干扰进入的途径	114
11.4	电磁干扰的综合防护	116

12 现场检验和动模试验

12.1	现场检验项目	121
12.2	检验方法	123
12.3	小型动态模拟试验	129
12.4	日常检查和维护	132

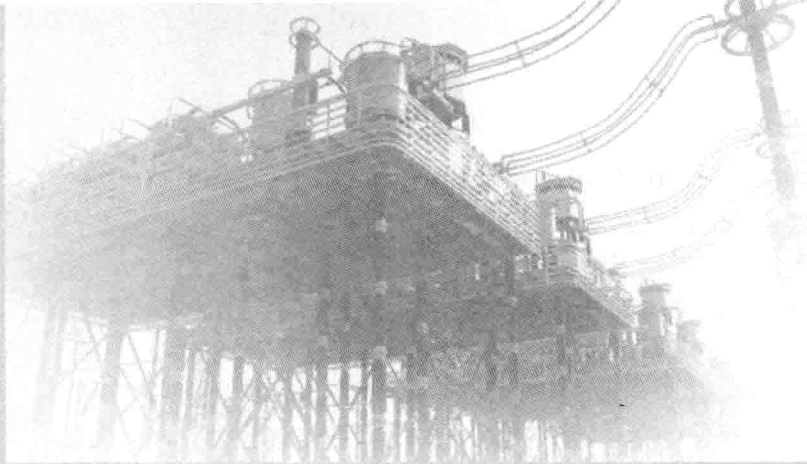
13 电子式互感器的标准试验

13.1	标准规定的试验项目	135
13.2	绝缘耐压类试验	137
13.3	电流互感器的短时电流试验	142
13.4	温升试验	144
13.5	准确度相关试验	146
13.6	保护级相关试验	159
13.7	电磁兼容相关试验	168
13.8	低压器件耐压试验	176
13.9	数字量输出的相关试验	177
13.10	模拟现场干扰试验	179
13.11	电子式互感器振动试验	181

14 大型试点站应用实例解析

14.1	延安 750kV 智能变电站	184
14.2	长春 500kV 智能变电站	190
14.3	试点站技术的启迪和导向	194

参考文献	197
------------	-----



互感器技术研发及应用概况

1.1 互感器技术发展回顾

互感器是一种用于输电线路电流、电压测量的专用电气装置，传统意义上的互感器就是一种测量用变压器或变流器，也曾被称为“比压计”和“比流计”。自 18 世纪后期，出现了真正有工业使用价值的电力变压器以及远距离送电方法以来，基于电磁感应原理的电流、电压互感器伴随着交流输变电技术的发展和进步，一直沿用至今，与相关的显示、计量、保护仪表一起形成了相对完整的电磁系、电动系电力仪表体系。

电子式互感器（Electronic Instrument Transformers）的研发始于 20 世纪 60 年代，当时的工程师们力求寻找更加简单可靠的高压电流传感和测量方法，尤其是高低压间的绝缘隔离方法，设想在一、二次间无电气连接的情况下传递测量信息。尽管人们已经注意到采用光、超声、无线电波等非电气连接方式传递信息，尤其是关注到光技术的应用前景，但当时还没有成熟的光纤通信技术，国外学者的多种“非电磁”的传感试验方法未能达到工业实用程度。进入 20 世纪 80 年代，随着光学新材料、新器件、光电检测技术、微处理器技术、通信技术的发展，光学电子式互感器的技术方案逐渐成形，国外著名电器制造商也开始研制出电压高达 765kV、测量动态范围达 63kA 的光学电流互感器样机，随后几十年的不断发展，电子式互感器逐渐成形为一种可以进入工业实用的电力设备。

20 世纪 90 年代，国际电工委员会（IEC）逐步酝酿拟定了面向未来数字化变电站通信网络和系统的新标准，即 IEC 61850 系列标准（Communication networks and systems in substations），在 1999 年推出了相关草案文本。我国电力行业通过多次研讨和审定，形成了我国电力行业数字化电站的相关标准。

在数字化变电站中，电子式互感器被定义为底层测量设备，1999 年和 2002 年，IEC 陆续推出了电子式电压互感器和电流互感器国际标准：IEC 60044—7 Electronic Voltage Transformers，简称 EVT；IEC 60044—8 Electronic Current Transformers，简称 ECT。标准的出台对电子式互感器的构成、试验方法及输出接口、通信协议等进行了规范。我国电力

行业适时跟进了这一发展趋势,已于2007年正式审定并推出了GB/T 20840.7《互感器 第7部分:电子式电压互感器》和GB/T 20840.8《互感器 第8部分:电子式电流互感器》。国标的出台标志着我国正式启动了电子式互感器的推广应用。

自2005年以来,国家电网公司、南方电网公司以及一些省市地方电网,已经试建了300多个不同类型的数字化变电站,对不同原理结构的电子式互感器进行了实际试用,获得了大量运行数据,对于技术方案验证、结构类型筛选以及技术工艺进一步改进提供了宝贵的经验。在此基础上,在国家电网公司的主导下,陆续出台了数字化变电站以及电子式互感器的设计、选型、应用技术规范,将电子式互感器的采购应用纳入正轨。在这期间一些标志性的电站工程陆续投运,特别是,2011年3月1日,国网试点工程之一——世界上电压等级最高的延安市洛川750kV智能变电站的成功投运,该站在750、330、66kV三侧线路以及变压器、断路器、电抗器、电容器上全部采用了电子式互感器,涵盖了我国在罗氏线圈、低功率线圈、光学玻璃、光纤各个技术领域的最新研发成果,200多台套不同原理的特高压互感器的稳定运行,代表了我国电子式互感器的制造和应用技术达到一个新的高度。

1.2 技术方案优选过程

与国外研发路径不同,中国研发者在承袭国外早期的光学传感原理的同时,更加注重短线产品的产业化,自2004年起,一种“有源电子式”互感器率先进入市场应用,并迅速成为主流,这得益于一种激光送能加母线取能技术,它解决了高压侧的电源难题,以LPCT(低功率磁芯线圈)和ROG-CT(罗氏线圈)为代表的电流传感方式很快付诸实用。与光学方案不同的是:有源式将传感器和转换器全部安装在高压侧,在高压侧将电流信号转换为数字信号,再经光纤传至地电位的通信设备。与光学方案相同的是:采用光纤传输数字信号,也同样实现了高低压之间的绝缘隔离。由于有源传感的物理过程简单稳定,仍为电磁感应原理,不受非电因素(应力、温度、振动)影响,便于工业化批量生产,因而很快成为占主导地位的互感器种类。

2008年,一种更加实用的“自励源”技术快速成型,它的出现为电子式互感器彻底摆脱外部送能装置的制约带来了希望,“自励源”实际上是一种完全依靠高压母线的“自供电”技术,从而使有源式转变为一种“准无源式”结构。这一方案可以大幅度简化互感器,从根本上提高可靠性和寿命周期。成为独立支柱式电流互感器发展的方向之一,连续多年的攻关使得我国在这一技术上的应用处于领先地位。

电子式电压互感器的电压传感均采用分压技术,由于分压点可选择在低压端(近地端),因而数字采集和转换电路容易从地端获得电源,已没有追求“无源”的必要性,所以适合采用电子、电气结构的小功率分压器来实现电压传感,常用的有:电容分压、阻容分压、电感分压等型式。也有研发者探索一种光学电压传感方案,由于失去“无源”的必要性,加之光器件本身的缺陷,目前推广应用的可能性较小。

自2008年以来,国内外研发者已经意识到:光学电流传感方式的物理过程链太长,电流信号需经过多次磁—光、光—电物理效应的转换才能得到被测量,与测量无关的外在干扰因素容易在链路的多个环节参入,因而系统结构相对复杂。为了克服温度、震动应力

的影响,近年来逐渐由单块玻璃结构转向采用多块传感玻璃串接或直接采用一种传感光纤作为磁敏感元件,这使光学方案重新登上了一个新的技术平台,尝试采用自适应原理、闭环负反馈原理克服非线性和抵消参入因素的影响。光学方案在改进测量性能的同时,也在试图简化复杂的系统结构,以便提高可靠性和降低造价。

采用油、气或固体绝缘的一次电器如断路器、变压器、GIS、PASS 等组合电器也逐渐配用电子式电流、电压互感器,传感器的小型化、低功率化为一次电器的小型化设计带来了好处。同样由于传感和采集电路均装在低压侧(地电位),不存在电源的问题,所以 LPCT、ROG-CT 电流传感以及同轴电容分压的电压传感方案更加经济和适用,光学电流传感方案适合直流测量,另外由于在强电磁干扰环境下,光传感头的抗干扰能力优于电磁线圈,所以在直流和抗强电磁干扰应用中,光学方案独具优势。

1.3 电子式互感器核心技术群

电子式互感器融合了高电压、电磁场、传感器、微处理器、光通信、以太网等多学科技术成果,是不同门类的技术交叉渗透的综合体,构成电子式互感器的核心技术是多学科技术成果的系统集成,它是一个技术群。

国内外多年的研发已经在不同的技术方案上形成了一些相对成熟的产品,在传感原理、隔离电源、抗电磁干扰、装配形式等方面形成了一些技术创新点,这些创新点构成电子式互感器的核心技术群。

1.3.1 传感技术方面

(1) LPCT 电流传感器。一种带磁芯的线圈式低功率电流传感器,由于电子式互感器仅要求在一定线性范围作信号转换,不要求输出大功率,硅钢片铁芯已被一种新型铁基微晶磁芯所代替,所以经改进,体积更小,精度更高,不受温度、震动因素影响,是我国目前使用最普遍的测量用传感器。

(2) 罗氏线圈(Rogowski-coil)电流传感器。一种不带铁芯的空心线圈,无磁滞和磁饱和,适用于大范围保护测量,可以做成 PCB 型、弹簧管型,可在导线上柔性安装。已被电子式电流互感器大量采用作为保护测量。

(3) 磁光玻璃电流传感器。利用法拉第磁致旋光效应以及安培环路定律作电流测量的一种光学电流传感器技术,利用光在载流导体外磁场的作用下偏振方向的改变量做电流传感,传感过程无需电源的支持,体现了“无源”的优点。

(4) 光纤式电流传感器。以法拉第磁致旋光效应作为传感原理,而在测量方法上引入赛格尼克干涉效应,构成局部闭环系统的一种光学电流传感器,这是光学电流传感技术的改进。

(5) 同轴空气电容分压式电压传感器。它被广泛用于 GIS、PASS 类空气绝缘组合电器内安装的电压互感器,由于与一次电器一体化安装且可与 LPCT、ROG-CT 组合安装在一个腔体内,构成电流、电压组合式互感器,可压缩空间、降低造价,利于一次电器本体的小型化和智能化。

(6) 自动量程选择与切换。自动判断量程范围,选择不同变比的传感器输出,可提高小信号的信噪比,使不同性能的传感器组合应用,优势互补,也可构成一种自动选择的

量程互感器，这与传统电流互感器的变比在运行中不能随意改变形成差异，体现了电子式传感的优势。

1.3.2 电源技术方面

(1) 自励电源技术。由我国企业研发的一种依靠高压线磁场激励自供电技术，它是独立式光隔离电流互感器最重要的核心技术，这一技术可使得有源互感器实现“无源化”，纯自励源互感器的寿命周期可延长至 20 年以上。

(2) 激光送能技术。它是独立式电流互感器的外送电源技术，通过光纤将激光能量传至高压侧，供采样电路工作，常被作为一种补充或辅助能量措施。作为一种非电气连接的光能量传送方式，在科研试验中有其独特的作用。

(3) 射频送能技术。由射频电磁波在一定距离上传送能量，它是 RFID（射频识别）技术的延伸应用之一，是一种可以开发利用的隔离送能技术，与激光送能不同的是它不经光纤传送，而是通过空间通道传送，作为另一种非电气连接的能量传送方式，在科研试验中也会有其独特的作用。

1.3.3 装配结构方面

由于采用新的低功率传感、光隔离绝缘以及数字通信技术，使得电子式互感器装配方式也发生了变革，出现以下新的装配方式。

(1) 悬挂式。采用无绝缘支撑的小型电流互感器悬挂在高压硬母线上，信号光纤经小型硅胶软伞套保护，悬垂并固定到地面上，可简化施工，节省占地，降低造价。

(2) 软扣式。在不便分断的母线上，可采用柔性（弹簧管形）软扣式安装，可将传感线圈缠绕在载流导体外进行测量。简化了装配工艺，减少母线断口搭接。

(3) 隐藏式。小型化的传感器可以在制造时埋藏于绝缘套管、电缆包层内，成为不占外空间的隐形结构，可以减小一次电器体积，简化装配工艺。

(4) 组合式。可以将电流、电压互感器组合在一个壳体内，成为独立组合式或封闭组合式互感器，减小占地，降低造价。

1.4 应用面临的主要问题

1.4.1 电磁干扰的防护

电子式互感器的微电子器件（采集器）被前移至户外环境的高压线、隔离开关、断路器等强干扰源附近，这是前所未有的工业技术尝试。目前，电磁兼容试验标准滞后，产品的电磁干扰防护措施缺失，导致采集器功能失效和信号畸变，是电子式互感器应用面临的最主要的问题之一。

1.4.2 恶劣环境防护

电子装置被安装在户外，户外的酷热、严寒、潮湿、酸碱污染环境会导致电子器件功能逐渐衰变甚至失效，需要针对性的防护措施。

1.4.3 通信环节的差错控制

电子式互感器较传统互感器增加了合并器、交换机等通信环节，总线式通信线路简化了大量并行接线，但同时又将多重信息“系于一线”，通信系统的任何差错都会造成电站继电保护体系的故障。

1.4.4 辅助电源可靠性

电子式互感器新增了辅助电源，这包括独立式电流互感器高压侧的取能或送能电源；装在低压侧的组合电器互感器采集器电源、光学互感器的光源，这也是传统互感器不曾涉及的新部件，特别是独立式互感器的电源方式是互感器的核心技术，其可靠性直接决定了互感器的寿命周期。

1.4.5 与二次系统的适配

电子式互感器的很多新特点并未被二次仪表系统所利用，诸如与传统互感器相比，信号中有更多的高频谐波分量，二次计量、继电保护设备如何适配（规避或利用）；计量系统对数据同步、传输延迟如何调整；一次不带电闲置间隔的互感器工作空耗；行波测距等特殊需求与低采样率合并通信设备之间的矛盾；原有的 GOOSE 网信息与 SAV 网信息如何共享互通等问题。

1.4.6 通用性和互换性

产品的结构设计仍处于初级阶段，含有较多的个性化非标成分，部件之间不可拆分，需现场一对一调试，零配件不具备通用性和互换性，各个厂家产品难以相互替换。

当然，数字化电站建设是一个整体技术联动的过程，只靠一两个产品的技术亮点，不足以构成一个智能电网的整体先进性，只有通过不断地完善关联技术，促进整体配套技术进步，智能电站乃至智能电网才有可能收到综合效果。

1.5 技术发展新趋势

随着人们对智能电网建设内容不断地加深理解，实际应用信息的不断反馈，制造技术、装配工艺和通信连接等方面不断改进，技术方案的日臻成熟，人们逐渐将专注点移向新的方向，例如：从关注原理的先进性转向工作的可靠性和稳定性；从关注技术优势转向成本优势；从关注试验合格转向工业现场的实用性、免维护和寿命周期；从希望专家服务转向可由用户自己动手维修和更换。产品的发展会呈以下趋势。

1.5.1 传感无源化

由于无源传感方式所具有的技术优势，独立式 ECT 传感部件将趋向于无源化，独立式电流互感器采集转换电路装在高压侧，长期被“源”的问题所困扰，通过实现完全自供电或基本自供电走向“准无源化”，彻底摆脱对外源的依赖，由此，电子式互感器平均寿命周期将会达 20 年以上。光学传感器装在高压侧，采集转换器装在低压侧，本不存在“源”的问题，但长期困扰于测量性能的不稳定以及过于复杂的体系结构，影响到推广使用，预计以后会不断地简化系统结构，稳定测量性能，降低造价，进入实用。

1.5.2 结构组合化

利用电子式微功率、小型化优势，今后互感器更多的会以组件方式组合于变压器、GIS、PASS、隔离开关等组合电器中，减少占地，降低造价，还可以通过功能复用促进一次电器本身的小型化和智能化。各种传感器在发挥各自优势的同时，也会相互组合，优势互补，出现电流与电压组合、电磁式与光学组合版的互感器。

1.5.3 功能复用化

充分利用数据共享优势，单点测试，可以多点共享，互感器的通信设备同时提供

GOOSE、RS485、MU 等不同类型的数字接口，供多种测控设备共享，减少互感器多点重复安装，使设备配置更加紧凑，功能集成度更高。

1.5.4 部件标准化

互感器的组成部件将被模块化和标准化，使其具有通用性和互换性，可作为标准“插件”直接插接安装于各种一次电器，直插直用，不同厂家互感器可以相互更替和互换，方便现场的维护和更换。要求传感器、采集器、电源、通信系统具有统一的机械和电器接口以及电、光信号的互连控制协议，除去主体结构不变外，应用周期相对较短的采集电路部分应成为一个整装模块，实现抽屉式插接，便于由现场技术人员自己动手安装、调试和维护。

所有这些发展趋势将会更加有利于电器智能化和安装维护简易化，使新型电子式互感器的技术优势最大化。

电子式互感器系统的作用和分类

2.1 互感器在电网中的作用

2.1.1 互感器的作用

互感器分为电流和电压两大类，传统意义上的互感器是一种电流、电压比例转换装置，用于将线路上的大电流、高电压按固定比例转换成可以用普通仪表测量的小电流和小电压，它在线路中同时起到了三种作用，具体如下。

(1) 扩大量程。互感器将一次电流或电压按选定的比例缩小为小电流和小电压，输出给二次仪表，达到以“小”测“大”的目的。通常，互感器除用于额定电流、电压的显示、计量、测量外，还兼有大于额定值数十倍的短路电流和二倍过电压的测量功能，用于故障状态下保护仪表的信号输入要求，这要求互感器具有更大的量程范围。

(2) 二次仪表标准化。互感器的二次输出为统一的标准信号，例如：电流测量的额定输出为 5A 或 1A；电压测量的额定输出为：100V 或 $100/\sqrt{3}$ V，这样，二次仪表可以按统一的输入标准进行设计和生产。

(3) 绝缘隔离。互感器在转换信号的同时，实现一二次线路的绝缘隔离，确保二次保护仪表系统在安全的“地”电位环境下运行，便于人员检查和维护操作。

2.1.2 电子式互感器

在现代数字变电站信息采集与控制体系结构中，电子式互感器处于最前端的过程层，被定义为智能电站前端设备，承担所有过程层线路电流、电压数据采集。由于传感、装配、信号传输方式均有很大的改进，所以它在电站中起到的作用比传统互感器更加多样。

(1) 扩大量程。扩大量程是由一次传感器性能和数字采集器的定标共同决定的，由于电子式只要求物理信号间的转换，不要求附带功率输出，因而可采用电气、电子、光学等不同类型的传感器，使得扩大量程更加容易。传统传感器只能装在低压侧，而电子式传感器可以装在高压侧，与一次导体处在同一电位（与一次电路无绝缘要求），省去了结构庞杂的油、气绝缘装置，使得体积更小、功耗更低。

(2) 绝缘隔离。传感器装在高压侧的独立支柱式或悬挂式 ECT，由光纤传输系统承担高低压间的绝缘隔离，这种绝缘方式使得电流互感器不再被高压、特高压绝缘难题所困扰。在气体绝缘的组合电器上（如 GIS、HGIS、PASS、断路器等）配用互感器，传感器仍可装在低压侧，依靠一次电气设备原有的绝缘系统绝缘隔离；EVT 则由一次传感器本身承担绝缘，依靠光纤传输系统彻底实现一、二次设备间的电气隔离。

(3) 二次仪表标准化。提供标准的数字输出接口，电流互感器的二次额定输出为 2D41H（10 进制：11585），保护为 01CFH（10 进制：463）；电压互感器的二次额定输出为 2D41H。经由合并通信单元的输出，则按照现代以太网的模式，以 FT3 或 IEC 61850-9-1/2 协议传输报文，可以供过程层、间隔层乃至站控层的设备共享。与传统互感器相比，电子式互感器不仅输出测量值，而且数据帧中包含变比、保护限值系数、互感器工作状态以及时间标志等信息，据此，对接的二次仪表可以从“网上”解读出更多的远端信息。

(4) 数字化与智能化。数字化输出为互感器以及所依附的过程层设备（断路器、变压器、电抗器、电容器等）智能化提供了可能，互感器的采集器含有微处理器，除了采集测量数据外还可以作设备状态的自诊断；为一次电器提供本地接口，促进过程层的智能化，这是有别于传统互感器的新增功能。

2.2 通用体系结构

以一个单相电子式互感器的通用结构为基础，认识和研究互感器的系统组成，在此基础上再去认识不同原理、方案的互感器的组成模块和技术特点。

图 2-1 所示为电子式互感器的通用结构框图，它概括了互感器的所有类型，包含电流、

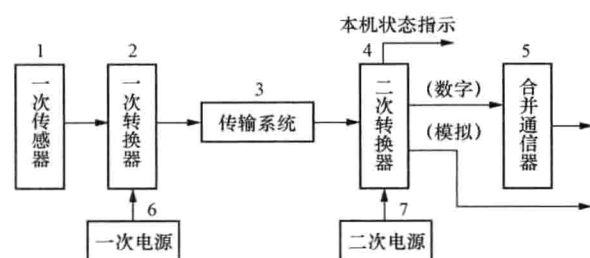


图 2-1 电子式互感器结构通用框图

电压两大类。从信号传感到数据输出，依次为：一次传感器、一次转换器、传输系统、二次转换器和合并通信器。如果系统配有一次或者二次转换器，则分别需要附加一次或者二次电源，一个完整体系共含七个功能模块。

图 2-1 适用于所有类型的电子式互感器，它包含了所有可能需要的技术环节，

但就某个具体的方案而言，结构会有所不同，有些模块可被省去，对同一个模块的功能定义也会有所差异。

在此仅对各模块的作用简述如下。

(1) 一次传感器。它是一种电气、电子、光学或其他装置，用于将一次电流或电压转换成另一种便于测量或便于传输的物理量。例如模拟小电压、阻值、霍尔电势、光强、光偏角、光相位等，传感器的输出量可经过一次转换器或二次转换器输出为标准数字量或模拟量。

(2) 一次转换器。将传感器输出的物理量转换成适合传输和标定的数字信号或模拟信号。通常也被称作变送器、采集器、信号调理器、远端模块等。一次转换器如果置于高压侧，则需要将模拟信号转换为数字信号（即 A/D 转换），经光纤发送，并且需要在高压侧