

一种带电子互感器数字接口的多功能电力仪表

冯建勤, 乔智, 陈志武, 王庆铭

(郑州轻工业学院电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 为了适应数字电力技术的发展, 设计了一种可以与电子互感器直接相连的多功能电力仪表。这种电力仪表以三相电能测量专用芯片实现与传统电磁式互感器的连接, 以 RS-485 接口实现与电子式互感器的连接, 其数字接口完全满足国家标准 IEC60044-8 对电子式互感器的数字化输出的要求。该仪表既可以用于传统变电站, 又可以用于数字化变电站, 而且便于传统变电站的数字化改造。

关键词: 电力仪表; 数字接口; 电子互感器; 合并单元; 抗干扰措施

A multi-function electronic meter with electronic transformers' digital interface

FENG Jian-qin, QIAO Zhi, CHEN Zhi-wu, WANG Qing-ming

(College of Electric and Information Engineering, Zhengzhou University of Light Industry, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: To adapt to the development of digital power technology, a multi-function power meter which can be directly connected with electronic transformers is developed. The meter can be either connected to traditional electromagnetic-typed transformers by means of three phase power energy measurement IC (Integrated Circuit), or to electronic transformers through RS-485 interface circuit. Its digital interface completely meets the demand of national standard IEC60044-8 to the digital outputs of electronic transformers. The meter can be not only used in traditional substations, but also in digital substations. And it can simplify the digitalization of traditional substations.

Key words: power meter; digital interface; electronic transformer; merging unit; anti-interference measure

中图分类号: TM73 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2009)17-0106-04

0 引言

随着电网电压的提高, 传统的电磁式互感器已逐渐暴露出与之不相适应的弱点。电磁式互感器的缺点主要有: 体积大、制造工艺复杂、造价高、绝缘困难、动态范围小、易产生铁磁谐振、互感器的输出信号不能直接与微机化计量与保护设备接口等。为了适应电力系统的发展, 迫切需要一种新型的电力互感器来代替传统的 CT 与 PT, 因此电子式互感器产生了。电子互感器是基于光电技术和电子技术的新的互感器的总称。与传统的互感器相比, 电子式互感器具有绝缘结构简单、频带宽、动态范围大、尺寸小、重量轻、安全性好等诸多优点, 是未来互感器发展和电力系统数字化发展的必然趋势。

另一方面, 随着电子式互感器的研究发展, 电子式互感器已经在变电站中得到应用, 因此对二次系统的继电保护和测量仪表也提出新的要求。电子式互感器在变电站中的应用, 带动了继电保护和测量仪表的相关研究, 而带有与电子式互感器接口的

继电保护和测量仪表的研究也必将促进电子式互感器的应用并将推进变电站的数字化进程。电子式互感器在高压电网的二次系统比如继电保护方面都已经得到了应用, 而相应的测量仪表的研究还处于空白。本文在传统测量仪表的基础上设计一种新型带电子互感器接口的多功能电力仪表。

1 硬件电路设计

电力仪表的硬件电路由电源电路、测量电路、数字接口、MCU 及其它电路五部分组成。硬件结构如图 1 所示。

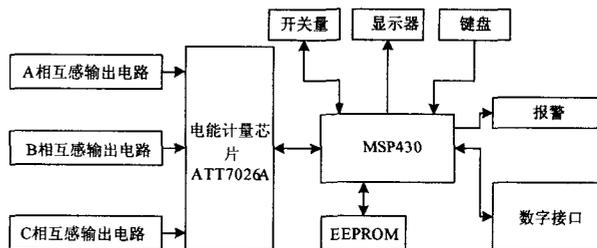


图 1 硬件电路

Fig.1 Hardware circuit

图 1 所示仪表的主要性能指标:

精度等级: 0.5 级; 标称输入: 电流 1 A/5 A, 电压 100 V/220 V/380 V; 测量频率: 50 Hz \pm 10%。

1.1 测量电路

ATT7026A 是一颗精度高且功能强的多功能防窃电三相电能专用测量芯片, 它集成了六路二阶 sigma-delta ADC、参考电压电路以及所有功率、能量、有效值、功率因数以及频率测量的数字信号处理等电路, 使用十分方便, 该芯片适合于三相三线和三相四线应用。该芯片还能够测量各相以及合相的有功功率、无功功率、视在功率、有功能量以及无功能量, 同时还能测量各相电流、电压有效值、功率因数、相角、频率等参数, 充分满足三相多功能电能表的要求。ATT7026A 支持电阻网络校表以及软件校表两种校表方式。电阻网络校表适用于电压通道采用电阻网络取样的系统应用, 通过简单的调节电阻网络就可以将系统误差校正到 1 级表的要求以内。而软件校表是通过相关的校表寄存器对增益、相位进行补偿, 可以将系统误差校正到 0.5 级表的要求以内。有功、无功功率校验输出 CF1、CF2 提供瞬时有功、无功功率信息, 可以直接接到标准表, 进行误差校正。

ATT7026A 片内集成了 6 路 16 位的 ADC, 模拟信号采用双端差分方式输入, 最大输入电压是 1.5 V, 即可以输入最大的正弦信号有效值是 1 V。一般将电压通道 U 对应的 ADC 的输入选在 0.5 V 左右, 而电流通道 I 对应的 ADC 输入选在 0.1 V 左右。单相模拟信号输入通道电路如图 2。

1.2 MCU 及其它电路

MCU 是选用 16 位超低功耗单片机 MSP430F449, 它的 CPU 采用 16 位精简指令系统 (RSIC), 集成有 16 位寄存器和常数发生器, 能够发挥代码的最高效率。具有低电压、超低功耗, 强大的处理能力, 系统工作稳定以及代码保护功能等优点。同时 MSP430F449 具有丰富的外设资源, 160 段的液晶驱动能力只需一块 LCD 显示屏就可以完成显示功能。这部分电路还包括实时时钟电路、存储器、掉电、报警和电池检测电路等组成。

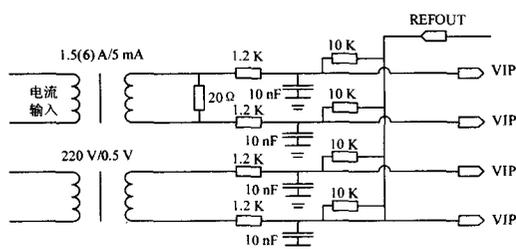


图 2 单相模拟信号输入图

Fig.2 Diagram of single-phase analog input signal

2 电子式互感器接口

2.1 IEC60044-8 的数字化输出

电子式互感器在设计中并不是为每一相电流或电压单独配数字处理单元, 而是将一个间隔内的所有电压和电流量经模拟信号处理后送往同一个装置作统一的信号处理, 在标准中称为合并单元 (MU)。对于数字输出部分, IEC60044-8 规定的典型做法是将 7 个电流 5 个电压互感器的二次变换器组成一个合并单元, 将所有的测量量转换为数字量串行输出。数字输出协议推荐采用单相的点对点联接。采用统一处理的方式不但可以减少投资, 也可以充分发挥数字电路处理的能力和速度, 更为重要的是合并单元 (MU) 可向二次设备提供时间上一致的电压、电流量。MU 能够同时处理一个间隔的 12 路电量: 测量用三相电流、保护用三相电流、中性点电流、三相电压、中性点电压和母线电压。MU 将 12 路数字输出信号打包成帧, 最后传送给二次设备。对保护帧和测量帧信号的输出, 标准中有明确的规定。

2.1.1 标准对物理层的规定

合并单元到二次设备可以有数字电输出和数字光输出两种。数字电输出是以铜线为基础的传输系统, 系统必须与 EIA RS-485 标准兼容。标准中建议使用 D 性 9 帧连接器, 屏蔽双绞线电缆, 长度为 250 m。也可以使用带屏蔽的 RJ-45 连接器代替。对于数字光输出只需将数字输出按一定要求进行电/光转换。数字光输出和数字电输出在链路层和应用层的规定上是完全一致的, 不同的只是物理层的传输介质。光纤连接器可采用 BFOC/2.5, 近距离传输可采用塑料光线, 远距离可使用玻璃光纤。标准中规定无论是电输出还是光输出都要采用曼彻斯特码进行编码: 高位先传送, 数据帧的速率都为 2.5 Mbit/s, 即调制后的传输速率为 5 Mbit/s。

2.1.2 标准对链路层帧格式的规定

标准中的链路层帧格式采用的是 FT3 帧格式, 该格式在 IEC870-5-1 中有所规定。这种帧格式的优点是: 数据具有完整性, 而且在高速数据处理中能进行多点同步数据的链接。链路层服务用语为发送/无应答。这意味着传感器连续不停地向二次设备发送采样值, 而不需要二次设备的任何应答信号。这时如何保证一、二次设备间的数字化通信系统的实时性、可靠性成为首要的问题, 所以标准草案规定了下列传输规则: ①两帧之间的空闲线使用曼彻斯特码传输二进制数 1, 这使得接收站方便的恢复时钟信号步, 增加了通信链路的可靠性; ②每帧的前两个 8 位字节代表起始字符; ③16 个字节的数据码

之后跟着一个 16 位的校验序列。如果所分的字节数有空余, 必须用填充字节把帧填满, 填充字节为 0000 0000; ④校验序列的代码由多项式所构成, 然后由这个生成多项式所产生的 16 bits 的校验码再进行转置; ⑤接收端检验起始字符、校验序列和帧长度。如有误, 该帧将被拒收, 否则传给用户。IEC60044-8 的帧格式见表 1。

表 1 帧格式

Tab.1 Frame format

字节	字节	字节	字节	字节	字节	字节
1~2	3~18	19~	21~	37~	39~	55~
		20	36	38	54	56
起始	用户	核对	用户	核对	用户	核对
字节	数据 1	序列 1	数据 2	序列 2	数据 3	序列 3

2. 1. 3 标准对应用层帧格式的规定

在应用层规定中对模块数、模块长度、数据组数目、数据集识别符、额定电流、额定电压、额定延时、各相测量保护的数据以及状态值等各项参数都有明确规定, 表 2 列出了数据帧内容, 即将 FT3 的帧格式中的用户数据细化后所得到的, 从表中还可以看到每帧数据都包含有两个状态字, 每个状态字占有两个 2 个字节, 表 3 分别注释了状态字的每一位的意义。在应用层设计时必须按照标准的规定, 将数据整理成规约所规定的帧格式, 再经过链路层设计最后通过物理层送给二次设备。

表 2 数据帧内容

Tab.2 Frame content

字节	数据集 1	数据集 2	数据集 3
1~2	(数据)块数	保护 A 相电流	B 相电压
3~4	块的长度	保护 B 相电流	C 相电压
5	数据组	保护 C 相电流	中性点电压
6	数据集标识符		
7~8	源标识符	中性点电流	母线电压
9~10	额定相电流	测量 A 相电流	状态字
11~12	额定中性点电流	测量 B 相电流	状态字
13~14	额定(相)电压	测量 C 相电流	计数器
15~16	额定延时	A 相电压	备用

或者没有投入的功能, 因此 MU 是一个智能的数据采集和传输系统。

表 3 状态字

Tab.3 Status word

位	状态字 1 说明	状态字 2 说明
0	维修请求 0: 无需维修; 1: 请求维修	A 相电压 0: 有效; 1: 无效
1	测试状态位 0: 正常运行; 1: 测试	B 相电压 0: 有效; 1: 无效
2	唤醒期内的数据有效性 0: 正常运行数据有效; 1: 唤醒期内数据无效	C 相电压 0: 有效; 1: 无效
3	合并单元同步方法 0: 数据集不能用插值; 1: 数据集能用插值	中性点电压 0: 有效; 1: 无效
4	用于同步的合并单元 0: 时间同步成功; 1: 时间同步失败	母线电压 0: 有效; 1: 无效
5~7	A~C 相保护数据 0: 有效; 1: 无效	备用
8	中性点数据 0: 有效; 1: 无效	所有者使用
9~11	A~C 相测量数据 0: 有效; 1: 无效	所有者使用
12	TAE 输出数据类型 0: $i(t)$; 1: di/dr	所有者使用
13~15	备用	所有者使用

2. 2. 1 数字接口电路

本仪表采用单片机 MSP430F449, 作为其处理器来实现。RS485 通信部分采用 TI 公司的 SN65HVD24 收发芯片, 它具有较高的共模电压范围(-20~25 V), 支持最多 256 个节点, 高达 16 kV 的 ESD, 通信速率在 500 m 时最高达 3 Mbps。为了防止串行通信时外界干扰引入微控制器, 在微控制器和 RS485 通信芯片间加入了光电隔离电路, 电路图见图 3。

输出电路的设计要充分考虑到线路上的各种干扰及线路特性阻抗的匹配。由于工程环境比较复杂, 现场常有各种形式的干扰源, 所以 485 总线的传输端一定要加有保护措施。在电路设计中采用稳压管 D 组成的吸收回路, 也可以选用能够抗浪涌的 TVS 瞬态杂波抑制器件。在应用系统工程的现场施工中, 由于通信载体是双绞线, 所以线路设计时, 在 RS-485 网络传输线的始端和末端各应接 1 只 120 Ω 的匹配电阻, 以减少线路上传输信号的反射。需要

2. 2 与电子式互感器数字接口的设计

多路传感器输出的信号在合并单元 (MU) 中进行统一处理, 按标准所规定帧格式将采集的数据打包成帧, 传送给二次设备。标准中还规定打包之后的帧数据要以曼彻斯特码进行传输, 速率为 5 兆。此外, MU 还有自检功能, 当发现问题除了报警, 还会通知仪表, 向二次设备告知哪几相为无效

说明的是, 根据标准中的规定, 二次设备只接收数据而无应答, 此 RS485 工作于单工模式。

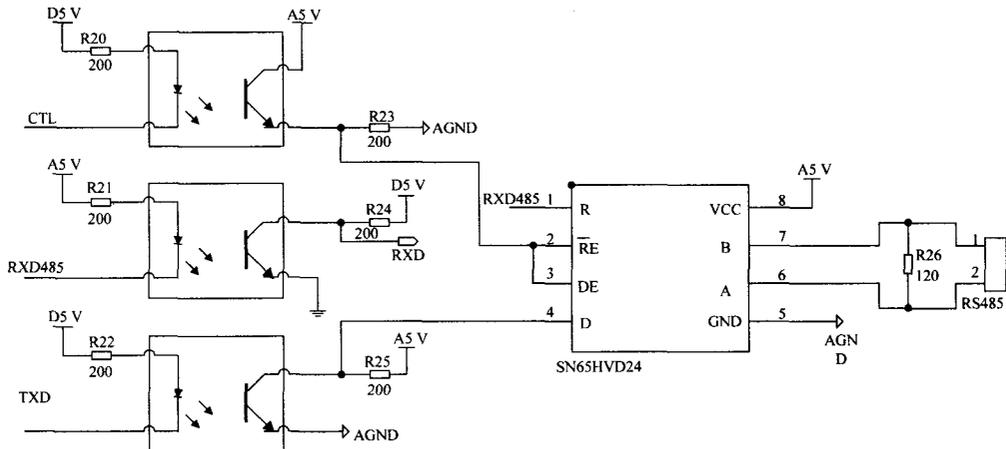


图3 数字接口电路

Fig.3 Digital interface circuits

2.2.2 数字接口软件

带电子互感器接口的电力仪表从数字接口处接收一帧数据, 先检验此帧数据的起始字符、校验序列和帧长度, 若帧数据有效则进一步检验状态字中电力仪表所需要的测量数据的有效性, 无效则丢弃此帧数据; 若状态字中的测量数据经检验有效则提取测量数据后返回, 否则直接返回接收下一帧数据。电子式互感器数据接收处理程序流程图见图 4。

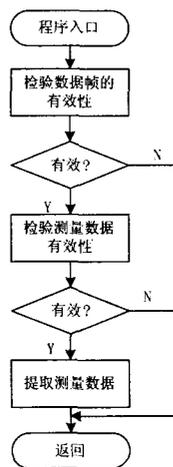


图4 程序流程图

Fig.4 Flow chart

3 结论

电子式互感器数字接口以数字量为输出, 完全适应电力测量与保护的数字化、微机化和自动化发展的潮流, 而且接口的设计也很方便灵活, 有很好

的扩展性和自适应性。因此, 在电子式互感器即将取代传统电磁互感器的时代, 本文提出的多功能电力仪表在传统电力仪表的基础上增加了一个与电子互感器直接进行连接的数字接口, 以适用未来发展的需要。

参考文献

- [1] 沈建华, 等. MSP430 系列 16 位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [2] 秦龙. MSP430 系列单片机 C 语言程序设计实例精讲[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.
- [3] 孙振权, 张文元. 电子式电流互感器研发现状与应用前景[J]. 高压电器, 2004, 40(3):376-378.
SUN Zhen-quan, ZHANG Wen-yuan. The Current Situation and the Future of Developing Electronic Current Transducer[J]. High Voltage Apparatus, 2004, 40(5):376-378.
- [4] 刘琨, 周有庆, 彭红海. 电子式互感器合并单元(MU)的研究与设计[J]. 电力自动化设备, 2006, (4):67-71.
LIU Kun, ZHOU You-qing, PENG Hong-hai. Research and Design Electronic Transducer Merging Unit[J]. Electric Power Automation Equipment, 2006, 26(4):67-71.
- [5] 张慧哲, 李伟凯, 郑绳植. 基于 IEC60044-8 标准的电子式互感器数字输出接口的研究与设计[J]. 高压电器, 2005, 41(4):286-291.
ZHANG Hui-zhe, LI Wei-kai, ZHENG Sheng-Xuan. Study and Design of Digital Output Interface on Electronic Transformers According to IEC 60044-8[J]. High Voltage Apparatus, 2005, 41(4):286-288, 291.

(下转第 135 页 continued on page 135)

信机由旁路切换到本线时,可能发“通道错误”。原因是保护原理设计为保护启信后收发信机的收信输出给保护装置,如果保护装置在 10 ms 之内收不到收信输入就发“通道错误”告警信息,以提醒运行人员检查通道。处理方法:当信号交换正常后复归一下后即可恢复。

3.5 通道试验按钮注意事项

第一种情况:当收发信机切换到单触点的旁路保护时,在进行人工测试时,必须按旁路保护屏上的通道试验按钮,本线保护屏上的通道试验按钮不起作用,在本线上进行通道试验时将发裕度告警信号。原因是此时收发信机的远方启信功能已取消,所以在本线上通道按钮不起作用,此时一定提醒运行人员注意。

第二种情况:当装置出现 PT 断线或者断路器在断开位置时通道测试不起作用。

3.6 旁路开关代路操作时高频收发信机切换时间问题

由于线路代路过程中需要对高频收发信机进行切换,此时一定注意收发信机的切换时刻并且切换时间不要太长,否则有可能使线路长时间失去主保护,也可能出现线路区外故障时保护误动,使电网安全运行存在隐患。

4 结论

对于高频保护正常运行及代路过程中由于保护装置接口的变化,本文从原理根源做了阐述,结合工作中的实际经验提出解决办法与预防措施,对现场运行注意事项、如何解决做了探讨。只有检修人

员熟练掌握高频保护装置与高频通道的原理及具有一些快速处理高频保护问题的能力,运行人员熟练掌握判断高频通道测试方法与一些测试现象的分析,熟练掌握高频保护接口变化后一些功能投、退及一些相关回路的操作,才能使高频保护处于良好的运行状态。

参考文献

- [1] 朱声石. 高压电网继电保护原理与技术(第三版)[M]. 北京:中国电力出版社,2005.
ZHU Sheng-shi. Principle and Technology of High-voltage Power System Protective Relay,Third Edition[M].Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [2] 中国电网公司十八项重点反事故措施[Z].
Eighteen Emphasis Measures Against Accident for China Power Grid[Z].
- [3] WXH-800 系列微机线路保护装置技术说明书[Z]. 许昌:许继集团有限公司,2005.
Series WXH-800 Microprocessor-based, Transmission Line Protection Device Technology Instructions[Z]. Xuchang:XJ Group Corporation,2005.

收稿日期:2008-10-08; 修回日期:2008-10-19

作者简介:

苙旭(1978-),男,本科,技师,长期从事现场继电保护工作; E-mail:13031200645.COOL@163.com

姜勤(1972-),男,工程师,主要从事电力设备安装、调试、检修管理工作;

周汉勇(1971-),男,工程师,主要从事电力系统自动化方面工作。

(上接第 109 页 continued from page 109)

- [6] 珠海炬力集成电路设计有限公司. ATT7026 用户手册 [Z].
- [7] 朱大鹏,张贵新,许超然. 一种通用电子式互感器数字接口的研究与实现[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 119-122.
ZHU Da-peng, ZHANG Gui-xin, XU Chao-ran. Study on Digital Interface of ETA/ETV and Its Implementation[J]. High Voltage Engineering,2007, 33(1):119-122.
- [8] 冯娜,尚秋峰. 电子式电流互感器数字接口的研究进展[J]. 电测与仪表, 2007, (6):44-47.
FENG Na, SHANG Qiu-feng. Research Development on the Digital Interface of Electronic Current Transformer[J]. Electrical Measurement & Instrumentation,2007, (6): 44-47.

- [9] 冯建勤,路康. 新型微机式电流方向继电器研究[J]. 继电器, 2005, 33(9):58-61, 65.
FENG Jian-qin, LU Kang. Research on a New Type of Microprocessor-based Directional Current Relay[J]. Relay,2005, 33(9):58-61, 65.

收稿日期:2008-10-28; 修回日期:2008-12-16

作者简介:

冯建勤(1962-),男,副教授,从事电力系统自动化、微机测控技术和智能仪器仪表方面的研究;

乔智(1984-),男,硕士研究生,从事检测技术与自动化装置研究; E-mail: george585@163.com

陈志武(1977-),男,讲师,硕士,从事计算机检测与控制技术及智能仪器仪表方面的研究。