

一种基于双 DSP的环网柜测控保护终端

刘革新¹, 尹项根¹, 蔡树立¹, 李伟¹, 李岩¹, 梅中健²

(1. 华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 广州智光电气有限公司, 广东 广州 510640)

摘要: 从配电自动化发展的需求出发, 提出了一种面向环网柜的智能型测控保护终端的设计思想。以两进四出规模的环网柜为研究对象, 阐述了以两片浮点数字信号处理器芯片 TMS320VC33为核心的终端单元的硬件设计。在满足配电远方终端一般要求的基础上, 详细讨论了智能接线、模块化计算、智能逻辑时序控制、电能质量分析及管理等特色功能的技术实现方案, 并介绍了两片 DSP相互配合完成上述功能的程序设计方法。

关键词: 环网柜; 配电自动化; 数字信号处理器; 远方终端

中图分类号: TM76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2005)08-0052-04

0 引言

随着市场经济的高速发展, 城市中高层建筑及大型建筑群的不断兴建, 用电负荷越来越集中, 用户对供电质量和供电可靠性的要求也越来越高, 传统的放射式和树干式供电网络已经很难满足配电自动化的要求, 采用环网供电已经成为配电网发展的必然趋势。环网柜 RMU (Ring Main Unit) 是环网开关设备, 广泛使用于工矿企业、高层建筑、住宅小区、学校等, 作为 10 kV 配电系统环网供电和终端配电之用。

目前大多数的环网柜都还没有具备测控保护的功能, 少数地方为了自动化的建设要求, 实现了基于馈线终端的三遥功能, 但是功能相对简单独立。随着城网改造和配电自动化系统的发展, 需要研究开发一种基于环网柜整个供电节点的测控保护终端, 实现环网柜全面的测量、监控以及保护功能, 并且适应于配电自动化系统发展的要求, 可以完成配电自动化系统远方终端的功能目标。

基于这种思路, 本论文提出了一种全新的智能型环网柜测控保护终端的设计思想和技术实现方案。采用了数字处理技术、自动控制理论、可编程逻辑技术、数据库技术和面向对象的编程思想等, 不仅实现了配电自动化系统远方终端的一般功能, 而且考虑了电能质量管理和分析的目标要求, 扩充了智能接线、模块化计算、现场可编程的逻辑时序控制和电能质量分析等智能化功能, 能够应用于目前大多数城市环网柜, 具备很强的技术优势。为叙述方便, 下文提到的 RMU 一律指环网柜的测控保护终端。

1 研究对象

环网柜至少需要 3 个间隔单元才能组成环网供电单元, 因而在外观上它大都是由几个柜组成^[1], 即两个环缆进线柜和一个出线柜 (我们定义连接到环缆电源侧的馈线为进线, 经变压器供用户使用的馈线为出线)。环网柜的出线柜可以不止一个, 考虑到智能终端应用的普遍性, 系统针对的对象为两进四出规模的环网柜。如图 1 所示, 研究对象由 9 个部分组成。

第 1、2 部分为进线柜, 连接着变电站或其它开闭所的环网柜单元, 从整体上看, 这里是连接电源的部分。第 4、5、6、7 部分为出线柜, 连接用户。第 3 部分为母联柜, 可以配置断路器, 切断故障电流。第 9 部分备用, 可以连接控制设备, 如无功调节的电容器组等。第 8 部分为监控单元, 安放 RMU 测控装置。进线柜和出线柜在资金允许的情况下配置能够直接开断故障电流的断路器, 否则选用开断容量较小且价格较低的负荷开关。若出线直接连接用户变压器, 则补充配置熔断器, 配合负荷开关迅速切除故障电流, 保护变压器。所有的进线、出线以及母线都配置 CT, 而仅在母线上配置 PT 即可。为了避免影响谐波采集, 装置的工作电源和操作电源不使用母联 PT, 而是采用高压单相变压器 (10 kV / 220 kV, 见图 1 的注 A)。

设计的 RMU 要能完成这个环网单元或供电节点的监测、控制与数据的记录、分析等功能, 既可以选择分布式的结构, 也可以选择集中式的结构。

本文的设计采用集中式基于以下几点考虑。

1) 环网柜的普遍应用, 其中一个主要原因在于占地面积小。RMU 若采用分布式的结构, 可以有两

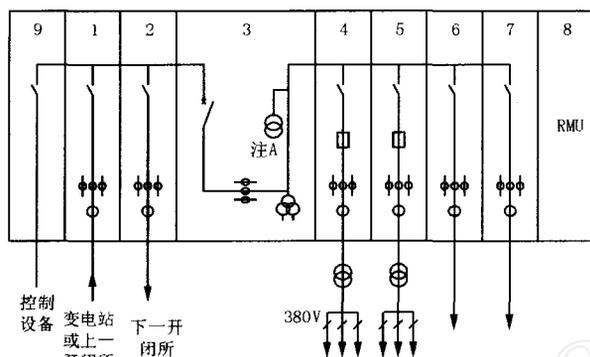


图1 环网柜总体结构

Fig 1 Overall configuration of ring main unit

种方式安装:一是将测控装置内置到开关柜内部,但是开关柜内部具有 10 kV 的高压设备,安装空间有限,即使能安装也难以保证测控单元的稳定运行;二是将测控装置附加到开关柜外,这样现场的设备布局非常难看,并且破坏了标准尺寸设备的布局方式。

2) 采用分布式结构,在软件和硬件设计时必须分散处理,必将使环网柜增加投资,而且开发和调试的周期较长。采用集中式的结构,可以在软硬件上充分利用现有的资源,使用性能高的 CPU 以及 CPLD 等核心器件,计算的精度和速度无疑比分布式的低端处理器更胜一筹,装置的技术指标和性价比更高。

2 硬件设计

RMU 由多块电路板插件构成,其中以 DSP 芯片为核心运算及控制的主板的设计最为重要。这里对主板各功能模块的设计说明如下:

1) 对 CPU 的选取。主板上采用两块 CPU,一片负责电量的采集和计算,一片完成数据分析、保护、控制等功能。由于计算的电量和控制的对象都很多,所以一定要选择运算速度快的 CPU。本次设计采用了 TI 公司的浮点 DSP 芯片 TMS320VC33 作为核心处理器。其单周期指令时间可达 17 ns,单周期双存取的内部 RAM 达到 34 k;为了提高 FFT 的运算速度,提供了专用于 FFT 运算的位反转寻址方式。两块 DSP 之间的通信用双口 RAM 完成。

2) 状态量采集设计 40 路,用于记录 7 组开关设备的合位、分位,开关上下刀闸的位置、有功和无功电度脉冲、自动装置动作信号及各种闭锁信号等。开出量设计 20 路,用于控制 7 组开关的开、合操作,事故和故障告警输出等。鉴于此,系统采用了 Actel 公司的 ProASIC Plus-APA075 可编程逻辑器件。它

具有 158 个 I/O 口,与 ASIC 特性相同,上电即可运行,同时兼具高度保密性及无需额外配置存储器。此外,该芯片还能在系统中完成译码、三态驱动、片选、锁存、软件看门狗等功能,减少了许多 74 系列的芯片,使系统功耗降低,复杂度减少,可靠性大大提高。

3) 图 1 中共有 6 条线路,如安装 6 个三相 CT, 6 个零序 CT, 1 个三相 PT, 1 个零序 PT, 则交流模拟量需采集 28 路,考虑 2 路电源监视以及 2 路直流量采集,总共设计采集 32 路模拟量。所以选择 A/D 转换器要具备通道多、转换速度快、精度高的特点。本次设计选择了 4 片美信公司的 MAX125, 14 位的分辨率, 4 个同步采样保持, 1 个可编程发生器, 还有 4 个存放转换数据的 14 位的 RAM。

4) 通信模块采用了异步传输接收芯片 ST16C554。该芯片有 4 路通信接口, 16 MHz 的工作时钟, 通信速率可达 460.8 kbps 甚至 921.6 kbps。通信接口转换芯片采用 MAX232, MAX485。

3 特色技术及实现原理

3.1 智能接线和模块化计算

传统的测控装置,接线端子和遥测电量之间的关系是固定的,不允许接错。但 RMU 在设计时希望能具有更广泛的使用范围,不局限于两进四出的系统结构,不固定接线端子与遥测电量的关系,这就是智能接线的目标。

其实现原理为:由输入端的不同组合建立最大中间量电量集,输入量可以在现场由用户随意改变,中间量的定义在系统设计时固定,所有的数据计算和分析都建立在中间电量的基础上,不直接与输入量联系,这样就实现了灵活接线的功能目标。

RMU 用于保护监控的数据源,在设计阶段已经固定,如果用户在现场需要新的数据,可以根据模块化算法,利用已有的数据和计算元件,定制输出结果。RMU 将所有已知的模拟数据组织成遥测表,同时提供了标准计算元件包括加、减、乘、除、取绝对值、开方、平方等,在用户提出算法需求后,由工程人员设定模块化计算的协议,这就是模块化算法的原理。

3.2 智能逻辑时序控制功能

RMU 能够实现遥测越限报警、电压闪变报警、功率方向逆转报警以及电流、电压、功率、反时限保护等一般的保护监控功能。在此基础之上, RMU - 10 可以根据现场实际,由用户定制一些高级

的保护监控功能,实现逻辑时序的智能控制,比如:三次重合闸、检同期、备用电源自投等。

智能逻辑时序控制的原理是:将系统所有的数据源包括模拟量、开入量、开出量统一分类编号,然后组建标准功能元件如连接元件、与或非元件、比较元件、延时元件、延时清零元件、计数清零元件、SOE元件等,利用功能元件关联数据的输入输出,从而实现了智能的逻辑、时序控制的目标。在现场实现时,由用户提出具体的功能要求,工程人员将实现智能逻辑时序的组态。

3.3 电能质量分析和和管理

RMU可以测量系统频率、统计电压波动、电压闪变的情况并报警。

RMU将系统的正弦波信号转换成方波信号,在一定时间 T (单位为 s)内记录正方波的个数 N ,可以得到频率 $f=N/T$ 。RMU采用了测多个周期取平均值的方法,以减小偶然因素对测量的影响。

对电压波动的检测就是要计算出相邻两个周期电压的有效值,看是否有变化以及变化量是否超标。而闪变是要从实际电压波形中解调出调幅波形,从而计算是否发生闪变,以及闪变结果是否超标。参考我国1990年国家技术监督局发表的国标《电能质量——电压允许波动和闪变》的标准, RMU分别利用电压变动的频度 r 和电压变动相对百分值 d 来衡量电压闪变和电压波动的指标。

表1 中压系统不同频度动态电压变动的限值

Tab 1 Limits of fluctuant voltage within different frequency in middle voltage power system

电压变动的频度 r 次数/h	电压变动相对 百分值 $d/(%)$
$r < 1$	4
$1 < r < 10$	3
$10 < r < 100$	2
$100 < r < 1000$	1.25

表1中的电压变动百分值的定义为:两个相邻的持续1s以上的半周波电压方均根之差对标准电压 U_N 的相对百分比,用公式表示为:

$$d = \frac{U_1 - U_2}{U_N} \times 100\% = \frac{U}{U_N} \times 100\% \quad (1)$$

单位时间内半周波电压方均根值从大到小或者从小到大变动的次数称为电压变动的频度 r ,一般以次数/min或者次数/h作为频度的单位。根据以上标准, RMU在设计时的实现算法为:每1s利用半周波方均根值计算一次电压变动的相对百分比,在1h之内统计电压变动的频度,然后参考标准,寻找

频度范围,如果电压变动相对百分比超标则报警。

4 软件设计

主板上 有 2 块浮点 DSP,其中一块实现数据采集计算功能,称其为采集模块,另一块完成对模拟量的计算结果和开入量的比较、判断、分析、控制等功能,称其为控制模块。

采集模块的软件编制主要分为 3 部分:主程序、采样中断以及定时中断。其流程图见图 2 和图 3。

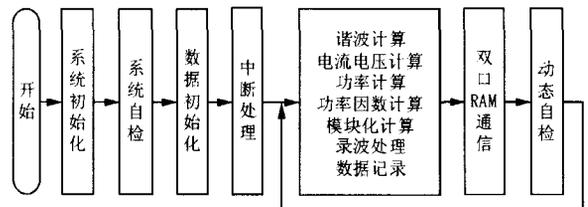


图 2 采集模块主程序框图

Fig 2 Flow chart of the main program in collection module

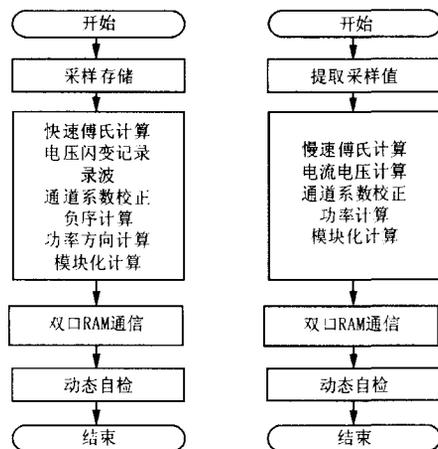


图 3 采集模块采样中断和定时中断程序框图

Fig 3 Flow chart of the sampling interrupt and the time interrupt program in collection module

主程序包括:开机自检、系统初始化、中断周期设置、开中断、初始采样等待、主循环等模块。其中主循环包括动态自检、测量量计算(电压、电流、功率、功角等)、电能质量分析(比如谐波)、模块化计算、数据保存、通过双口RAM与控制模块通信等。

采样中断程序包括:数据采集、计算、保护启动、故障录波等内容。每周波采集64点。由于RMU有电度累计的功能,因此开辟了一个定时中断,每20ms即一个周波中断一次。定时中断程序的主要内容就是计算有功、无功功率,从而得到电度量。

与采集模块相似的是,控制模块软件结构分为

主程序和中断程序两部分。逻辑判断、智能控制等及时性高的功能需求在中断程序中完成,一般的处理在主程序中实现。控制模块的程序流程图见图 4 和图 5。

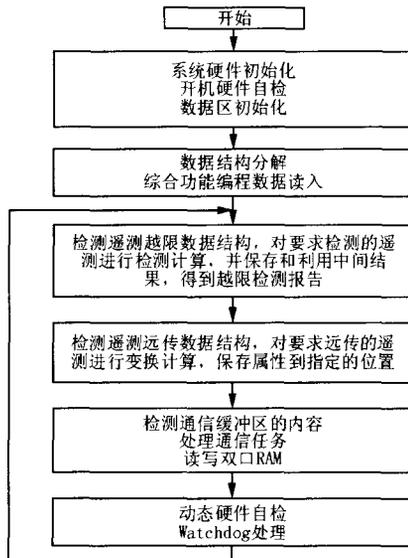


图 4 控制模块主程序框图

Fig 4 Flow chart of the main program in control module

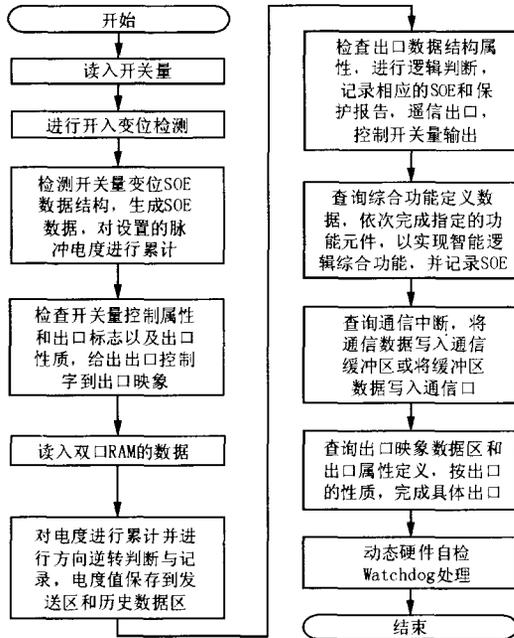


图 5 控制模块中断程序框图

Fig 5 Flow chart of the interrupt program in control module

控制模块中断的周期需要特别考虑。首先,控制模块要采集开入量信号,对于开关量,其响应速度

需要达到毫秒级,因此 1 ms 是控制模块中断间隔时间的上限;其次,采集模块的保护数据是通过双口 RAM 上传的,为了保证数据不丢失,控制模块中断间隔时间应该小于双口 RAM 中保护数据更新的时间间隔,这是另一个上限;第三,如果对外通信的最大波特率为 19.2 kbit/s,还需要考虑控制模块和外界通信速率的配合,这是一个中断间隔时间的另一个约束;最后,从程序安全运行的角度考虑,为了保证主程序的足够时间,一般中断程序最大实际运行时间不大于中断间隔时间的 2/3,中断间隔时间越长越好。综合这几方面因素,上层中断间隔时间选择为 0.5 ms。

5 结束语

电缆环网供电将成为城市电网的发展方向,环网柜作为环网供电的主要设备,其作用和重要性也越来越明显。文中研究的智能型环网柜终端单元,采用集中式的结构,以数字信号处理器为核心,能快速实时进行电量采集、分析、运算和处理,在远方终端基本要求上完成许多实用特色功能,可以灵活地应用于不超过两进四出规模的任何环网柜中,实现故障诊断、隔离、快速恢复供电的要求。

参考文献:

- [1] Torben S, Gulbrandsen T. Intelligent Ring Main Unit [A]. Proceedings of the 5th International Conference on Trends in Distribution Switchgear London (UK): 1998. 167-172.
- [2] 张玫.关于环网柜的一些技术问题 [J]. 四川电力技术, 2002, 25 (5): 35-37.
ZHANG Mei. Some Technical Problems about Ring Main Unit [J]. Sichuan Electric Power Technology, 2002, 25 (5): 35-37.
- [3] Texas Instruments Incorporated. TMS320C3X User's Guide [M]. Dallas (USA): 1997.
- [4] Texas Instruments Incorporated. TMS320VC33 Data Sheet [M]. Dallas (USA): 2000.
- [5] 张雄伟,等. DSP 芯片的原理与开发应用 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
ZHANG Xiong-wei, et al. Principle and Developing Application of DSP [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003.

(下转第 60 页 continued on page 60)

- CHEN Xia, SUN Li-li, LI Yuan-fei The Application of GPRS in the Transmission of RTU Data[A]. The 4th International Conference on Power Transmission & Distribution Technology 2003. 689-691.
- [3] 深圳倚天科技开发有限公司. ETP₁₀系列嵌入无线调制解调器用户指南[Z]. 2003.
Shenzhen Yitian Technology Exploitation Co., Ltd. ETP₁₀ Series Users Guide of Embedded Wireless Modem[Z]. 2003.
- [4] 陈勇, 海涛. 电压型馈线自动化系统[J]. 电网技术, 1999, 23(7): 31-33.
CHEN Yong, HAI Tao Voltage Type Feeder Automation

System[J]. Power System Technology, 1999, 23(7): 31-33.

收稿日期: 2004-08-02; 修回日期: 2004-09-28
作者简介:

郭上华(1977-),男,硕士,工程师,从事配电自动化系统、电能质量检测与控制等方面的研究开发工作; E-mail: gsh112@tom.com

刘保玉(1961-),男,主要从事光电子的教学和研究;

王焕文(1974-),男,工程师,从事配电自动化终端、通信等方面的研究开发工作。

Application of GPRS network to power distribution automation system

GUO Shang-hua¹, LIU Bao-yu², WANG Huan-wen¹, WANG Huai-ning¹

(1. Zhuhai XJ Electric Co. Ltd, Zhuhai 519060, China; 2. Xuchang Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: This paper concentrates on power distribution network. Based on comparing and analyzing the performances of some common communication modes in distribution network, a general distributed opening system based on GPRS communication network design is proposed. In this scheme, the constructing network method and the implementing method of GPRS mobile communication network in distribution automation system are discussed. Furthermore, the transmission of real-time FTU data using the GPRS network is also analyzed. In the situation of applying the local protection mode of distribution automation based on voltage-time typed feeder terminal, using GPRS network to transmit the FTU data is feasible and economical.

Key words: GPRS; distribution automation; FTU

(上接第 55 页 continued from page 55)

- [6] 刘健,倪建立,邓永辉. 配电自动化系统[M]. 北京:中国水利水电出版社, 1999.
LIU Jian, NI Jian-li, DENG Yong-hui Distribution Automation System[M]. Beijing: Publishing House of China Water Resources and Hydropower, 1999.
- [7] 林海雪,李世林,刘惠民. 电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[M]. 北京:中国电力出版社, 2001.
LI Hai-xue, LI Shi-lin, LI Huimin National Standard Apply Volume of Voltage, Current, Frequency and Elec-

tric Power Quality[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2001.

收稿日期: 2004-07-22; 修回日期: 2004-10-12
作者简介:

刘革明(1980-),男,硕士研究生,从事电力系统微机继电保护方面的研究; E-mail: fapigeon@sina.com

尹项根(1954-),男,博士生导师,从事电力系统继电保护、电力设备状态监测及诊断研究。

A device integrated with control, measurement and protection functions based on two DSPs for ring main unit

LIU Ge-ming¹, YIN Xiang-gen¹, CAI Shu-li¹, LI Wei¹, LI Yan¹, MEI Zhong-jian²

(1. Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. Guangzhou Zhiguang Electric Company, Guangzhou 510640, China)

Abstract: In order to meet the requirement of distribution automation, a novel intelligent electric device integrated with the functions of control, measurement and protection for the ring main unit is presented. Taking the RMU with a scale of cable section of two ingoing lines and four outgoing lines as an object, the hardware of this device oriented is designed by using two TMS320VC33 Digital Signal Processors. Some specific techniques such as intelligent connection, module calculation, intelligent logical chronological control and power quality analysis are detailed in this paper. In addition, the method of DSP software design introduces how to accomplish all mentioned functions.

Key words: ring main unit; distribution automation; digital signal processor(DSP); terminal unit