

一种多功能集成的海外远方数据终端的研制

李少卿, 程立, 刘永钢, 熊慕文, 张建华
(南京南瑞继保电气有限公司, 江苏南京 211102)

摘要: RTU(Remote Terminal Unit)在海外自动化市场中占据着非常重要的地位, 功能需求也在不断变化。文中针对海外老站改造及新建站对 IO 采集、通讯接入及高级应用的需求, 提出了一种多功能集成的 RTU 终端设计思路。该终端采用面向对象设计思想, 分解和细化各项功能到各个子系统。IO 采集子系统提供了基本的硬信号接入功能, 通讯功能子系统提供了更稳定、更庞大的规约库支持, 高级应用子系统提供改善电网经济运行的附加功能。研发成功的 RTU 终端已经成功应用在新加坡等地, 运行结果可靠稳定, 能够满足用户需求。

关键词: 海外; RTU; 多功能; 子系统

中图分类号: TM76

文献标志码: A

文章编号: 1009-0665(2016)02-0056-04

RTU(Remote Terminal Unit)系统作为变电站自动化一个历史产物, 早期在变电站得到了大规模的应用, 其特征是将站内多个间隔的数据集中采集, 并结合远动功能, 将变电站四遥数据上送到调度中心, 从而实现无人值班。这在早期变电站及后期的中低压变电站得到了大规模的应用^[1-3]。海外欠发达国家受限于经济发展水平, 电力行业技术门槛较低, 未形成综合自动化概念; 较发达国家注重经济性, 人力资源成本较高, RTU 老站改造为综自系统成本高, 而传统的 RTU 简单可靠、IO 配置灵活、投资成本低, 因此在欠发达地区和发达地区都有一定的市场。在这些地区, 用户的需求还是基于传统的 RTU 模式, 希望 RTU 能够接入更多 AI/BI/BO。一方面是由于这些地区的自动化水平还处在相对较低的阶段, 对于自动化的要求还局限在简单的数量上, 另一方面用户考虑到经济性, 不愿意改造为综自系统^[4]。

随着社会经济发展, 海外电网的自动化^[5]水平逐步提高, 用户对于传统的 RTU 也提出了更多功能需求。现场新投入的 IED 设备一般都支持 IEC 61850^[6]规约, 而老的 RTU 系统往往只支持传统的 IEC 101/IEC 104/modbus^[7,8]等规约, 缺少面向对象的 IEC 61850 模型支撑, 因此海外 RTU 研制不能按照以往的技术思路来进行开发研制, 而应从模型支撑、多功能集成的角度, 为用户提供更便捷、更经济、更开放的功能服务, 以期提升电网的运维水平。基于以上出发点, 研制了多种功能集成的海外 RTU 装置。硬件上采用高性能 OMAP 及浮点 DSP, 软件上采用功能模块化的设计思想, 从模块化、标准化、可重用化方面进行设计, 可兼顾交流和直流采样, 将各类功能分布完成。同时通过内部高速数据总线进行实时数据交换, 这种分布式系统具有良好的扩展性, 软硬件升级简单。

1 系统设计

1.1 硬件架构设计

装置由管理 CPU 插件、DSP 插件、交流插件以及 IO 采样插件 4 大部分组成。整体结构如图 1 所示。

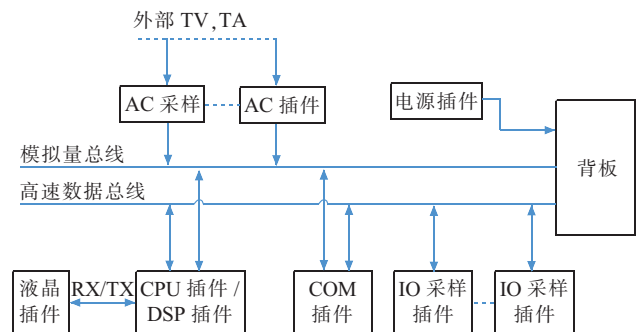


图 1 系统结构框架图

管理 CPU 和 DSP 插件采用双核处理, 其中 CPU 主频为 700 MHz, 主要负责装置的管理工作。

DSP 插件主要负责模拟量采集计算/控制输出的计算。采用高性能浮点 DSP 作为处理器, 最高主频为 600 MHz, 片内有 256 kB 空间, 用来存放指令和部分数据, 外部扩展的 128 MB 高速 DDR2 用来存放大批量数据。前端采用 16 位高精度并行 AD, 保证装置对采样的高精度要求。

交流插件负责采集常规模拟量输入, 通过模拟量总线传输给其他插件的 AD 前端。

IO 插件为智能插件, 配置单片机, 独立完成开入/直流输入信息采集, 并可进行开出/直流输出, 主频达到 133 MHz。

一个装置机箱最多可配置 20 块插件(包括电源板)。除了管理 CPU 插件和电源插件外, 其余插件均可以根据实际应用需要灵活配置。各个板卡各司其职, 众多板卡协同配合完成目标应用功能。

为解决多块高性能插件间大量的数据实时可靠交

换,开发了高速数据总线技术,有效地解决了装置内各插件间大容量高速数据的传输问题。同时采用了CAN总线用于系统初始化管理报文交互,以及板卡间变量交换。

1.2 系统软件设计

海外RTU装置为了做到分布式、智能化、易扩展,将软件分为“系统软件”和“应用软件”两大块。应用软件基于系统软件的支持,完成具体目标功能的实现。系统软件作为应用软件与硬件之间的联系桥梁,负责为应用软件实现I/O通信,以及完成应用软件执行的调度和管理。装置包含多个插件,这些插件必须协调、配合才能一起完成应用任务。因此在装置的系统软件中,使用管理程序来负责管理、协调多个插件高效、有序地工作。管理程序示意图如图2所示。

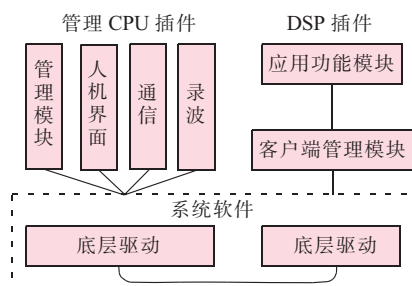


图2 管理程序示意图

管理CPU插件基于嵌入式Linux^[9]操作系统,包含了完成装置管理任务的管理程序和装置的各种应用功能模块,包括SOE事件记录、录波、对时、通讯、存储、液晶显示等功能模块。其他各插件的程序由各种应用功能模块和系统程序模块组成。系统程序模块完成硬件驱动、插件管理、以及应用功能模块的任务调度、管理等功能。

2 功能实现

海外RTU装置将各项功能可在不同的插件上进行了分布式实现,并可根据实际的需要进行功能地扩展。为了做到功能易于扩展、软硬件升级方便。设计能够做到模块化、标准化、可重用化。将各项功能按照子系统的原则进行划分,各子系统之间相互独立又保持相应接口。子系统内功能模块采用强内聚、松耦合的原则,独立完成一个特定的应用功能。

2.1 IO子系统实现

子系统内完成两段母线、8个间隔的计算,总共6个电压、24个电流,所有的采样^[10]和计算模块均根据标准要求,放在同一中断采用轮转的方式计算,以期均分DSP负荷、降低负载。

2.1.1 计算与控制指标

具体的功能指标如下:

(1) 实时监测和显示电压、电流、频率;

(2) 计算15次谐波有效值;

(3) 计算同期电压、同期角度,选择同期合闸点;

(4) 实现遥控出口功能,且保证遥控分/合闸脉冲的精确控制;

(5) 实现遥调出口功能,且保证直流输出的精确控制;

(6) 实现档位的采集与滑档的控制。

2.1.2 功能模块划分

海外RTU计算控制功能模块的划分考虑按照2个原则进行划分。(1)按IEC 61850逻辑节点功能进行划分;(2)模块便于维护,一个程序模块完成所有子功能。

基于以上2个原则,应用程序按照功能可以划分为表1中的几个功能模块。

表1 海外RTU计算主要功能模块

功能模块	作用
AdcSample	采样
Vol3P	电压采样预处理
Cur3P	电流采样预处理
MMXU	基本测量
MHAN	谐波
DigitalOrder	遥控
AnalogOrder	遥调
YLTC	档位
RSYN	同期
...	...

表1中各个主要功能模块之间联系关系由它们的输入输出关系来确定。表1中各个主要功能模块之间的联系关系图如图3所示。

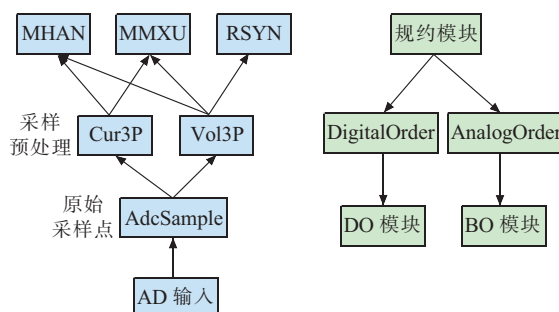


图3 主要功能模块关系图

2.2 通讯功能子系统

通讯功能作为RTU功能的重要一部分,担任数据汇总及转发的角色,具有远方NCC调度中心通讯及站内IED设备接入的功能。装置采用Linux操作系统,通讯功能按照模块化进行设计,每个模块单独为一个进程,由此分解为若干软件子系统,分别实现相对独立的功能。系统架构如图4所示。其中包含实时库、历史库、对上规约、对下规约等若干个子系统。

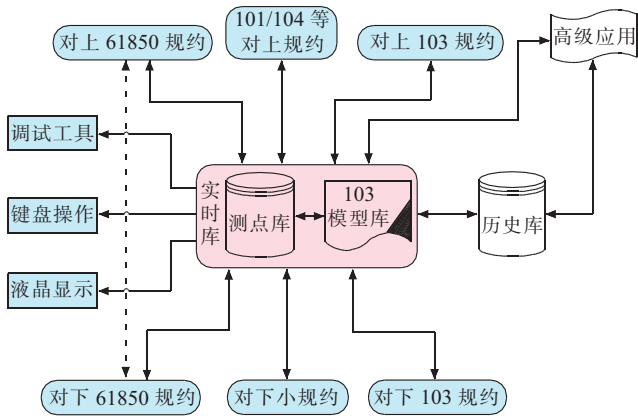


图4 通讯系统架构

2.2.1 实时库子系统

实时库子系统用于保存全站装置上送的数据值和 IEC 103^[10]模型,为对上规约子系统、对下规约子系统、人机界面子系统等提供统一的实时数据访问接口。为保证数据访问的实时性,实时库保存在共享内存中,为其他子系统提供实时数据的快速访问。

2.2.2 历史库子系统

历史库子系统基于嵌入式数据库 MySQL,通信装置采集的历史数据均保存在 MySQL,历史库子系统提供相应的函数访问接口,并周期性地从实时库子系统转存实时数据,从各个规约模块获取突发信息。

2.2.3 对上规约子系统

对上规约子系统支持大多数目前主流的对上规约,包括 IEC 103 对上规约,IEC 101/104 对上规约以及 Modbus,DNP3.0,CDT 等对上规约,负责与采用不同规约的主站通讯。对上 IEC 103 规约模块支持对全站设备建立 IEC 103 数据模型;IEC 101/IEC 104 等其他对上规约模块直接从实时库中获取数据,无需建立数据模型。

2.2.4 对下规约子系统

对下规约子系统主要用于建立与站内装置的通讯,主要支持 IEC 61850 装置和 IEC 103 装置,因此该子系统也包括 2 个主要的模块:即对下 IEC 61850 模块和对下 IEC 103 模块。对于非 IEC 61850 和 IEC 103 装置,由另外的对下小规约模块与其建立通讯,将相关数据转成 IEC 103 模型记录到实时库。

2.2.5 GPS 时钟同步子系统

GPS 时钟同步子系统是指通信装置软件中实现 GPS 标准时间接收以及时间发布功能的子系统,并且需要考虑统一处理的时钟源优先级。时间同步的接口种类需要支持网络 NTP、网络 103、B 码、差分、串口报文等。

2.2.6 人机界面子系统

装置人机界面是通信装置人机交互的接口,是调

试维护人员查看通信装置运行状态、数据库实时状态的窗口,也是进行参数配置的重要手段。人机界面子系统包括指示灯、键盘操作、液晶显示等功能。

2.2.7 逻辑子系统

负责对遥信点的信号进行与、或、非等运算、对遥测点进行比较等运算、对控制逻辑进行编辑,实现遥控闭锁和联锁等扩展功能。

2.3 高级应用子系统

在常规功能的基础上,利用组态工具实现了一些高级应用的功能,如顺控服务器^[12]、VQC^[13]、小电流接地选线^[14]等功能。

2.3.1 顺控服务器

顺控服务器的主要任务是执行预先设定好的程序化操作,程序化操作可分解为 2 个基本元素:步和态;其表征为一个顺序化指令,每一“步”包含一个确定的指令集;“步”与“步”之间的转换为“态”的迁移。其中每一“步”的激活可以由相应的条件确定,当条件满足时,进行当前步操作;当达到某个目标态后,停止原有活动的前驱“步”,并当下个条件满足时,激活后继“步”。

当多个步相互之间以确定的顺序,组成态的转换时,就形成了一个完整的程序化操作的网络,亦称之为“程序化操作票”。

2.3.2 VQC

VQC 的目的是自动控制变电站的电压和无功以满足经济运行的要求。控制方法通常采用改变主变分接头档位和投切电容器组来改变系统的电压和无功。控制策略采用十七域图原理,即在常见的九域图中再细分 8 个小区。每个区的动作方案可自动整定,也可根据特殊情况手动修改设置。在自动整定时能按以下 5 种方式进行自动整定:只考虑电压、只考虑无功、电压优先、无功优先、电压无功同优先级。

VQC 模块同时具备多种闭锁功能,其中闭锁分为自动复归和手动复归 2 种。‘自动复归’表示在状态返回时,该闭锁自动返回;‘手动复归’表示程序保持该闭锁信号,在状态返回时,该闭锁信号并不返回,继续闭锁,只有通过复归操作后才能返回。

2.3.3 小电流接地选线

小电流接地选线一般有 S 注入法、有功分量法和 5 次谐波方向法。RTU 装置采用基于 5 次谐波突变量的选线方法。5 次谐波电流突变量有 2 个特点:

(1) 对于故障线路,正常相与故障相的 5 次谐波电流突变量大小不等,方向相反;

(2) 故障线路与非故障线路的故障相相比,5 次谐波电流突变量大小不等,方向相反。

所以,当系统发生单相接地故障时(A 相接地),可以利用 2 个判据来选线。

判据 1:对于每回出线,如果故障相(A相)和非故障相相比,有 $\Delta \dot{I}_{A_j(5)} \geq k_1 \Delta \dot{I}_{B_j(5)}$ 或 $\Delta \dot{I}_{A_j(5)} \geq k_1 \Delta \dot{I}_{C_j(5)}$ 成立,则可以判断出该线路发生单相接地故障,并发出故障信号。

判据 2:对于各回出线的故障相(A相),如果 $\Delta \dot{I}_{A_j(5)} \geq k_2 \Delta \dot{I}_{A_j(5)}$ ($i=1, \dots, n, i \neq j$) 成立,则可以判断出该线路发生单相接地故障,并发出故障信号。

3 工程实践

本文研制的 RTU 装置已成功在新加坡电力公司投入运行。新加坡电网以花瓣形环网为主,各个站点之间以手拉手方式构成环网,供电可靠性高。通讯结构以 ethernet modem 构成环网结构,各 RTU 通过 ethernet modem 与 gateway 通讯。规约采用 IEC 104,暂未采用安全加密措施^[15]。现场投运的站点共有 3 个站,分别为 Buona Vista, Holland rd 和 Connation rd,其中 Buona Vista 站点为 gateway, Holland rd 和 Connation rd 为 RTU,如图 5 所示。

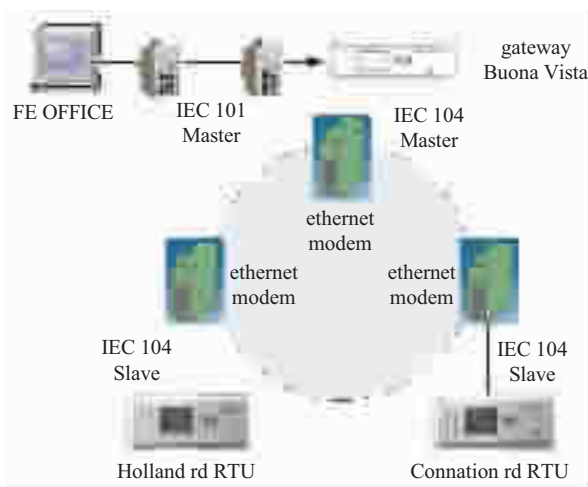


图 5 新加坡现场运行图

4 结束语

本文采用了大系统划分为子系统的原则,将 IO 采集、通讯接入及高级应用划分为各个子系统。各子系统中又采用面向对象的设计思想,充分考虑了程序的开放性、通用性以及可重用性,开发出多功能集成的海外 RTU 监测装置。

该装置提供了高度集成的功能,具有良好的通用性和扩展性,充分满足用户复杂多变的需求,同时简化了日后的维护升级工作,提高了系统的生命周期。该装置已在新加坡等国家成功运行。实践证明,该装置满足了海外市场对 RTU 装置的新需求。

参考文献:

- [1] 龚强. 变电站 RTU 运行稳定性问题探讨[J]. 电力自动化设备, 2003, 23(3): 49-51.
- [2] 雷军, 袁荣湘. 变电站自动化中的高性能 RTU 装置[J]. 继电器, 2001, 29(1): 44-46.
- [3] 李辉, 柴美丽. 开放型分布式处理 RTU 的研制与开发[J]. 系统工程与电子技术, 2001 (6): 96-101.
- [4] 赵祖康, 徐石明. 变电站自动化技术综述[J]. 电力自动化设备, 2004, 20(1): 38-42.
- [5] 唐涛. 电力系统厂站自动化技术的发展与展望[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(4): 92-97.
- [6] IEC 61850 (Committee Draft) Communication Networks and Systems in Substations[S]. 1999.
- [7] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 634.5101—2002 (idt IEC 60870-5-101:2002) 远动设备及系统第 5-101 部分: 传输规约基本远动任务配套标准[S]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [8] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 634.5104—2002 (idt IEC 60870-5-104:2000) 远动设备及系统第 5-104 部分: 传输规约采用标准传输协议子集的 IEC 60870-5-101 网络访问[S]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
- [9] 严亚勤, 吴文传, 张伯明. 基于嵌入式 Linux 的网络 RTU[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(9): 27-29.
- [10] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. DL/T 667—1999 (idt IEC 60870-5-103:1997) 远动设备及系统第 5 部分传输规约第 103 篇继电保护设备信息接口配套标准[S]. 北京: 中国电力出版社, 1999.
- [11] 倪云峰, 董张卓, 张晓莉, 等. 高性能 RTU 交流采样单元的设计与实现[J]. 高电压技术, 2005, 31(1): 70-72.
- [12] 娄雪芳. 顺序功能图图形化软件的研制[D]. 北京: 华北电力大学, 2010.
- [13] 田庆源, 王向东. 利用交流采样 RTU 实现 VQC 功能[J]. 继电器, 2004, 32(15): 62-63.
- [14] 薛永端, 冯祖仁, 徐丙垠, 等. 基于暂态零序电流比较的小电流接地选线研究[J]. 电力系统自动化, 2003, 27(9): 48-53.
- [15] 朱海兵, 吴奕, 陈宁, 等. 提高远程遥控安全性的 IEC 60870-5-104 规约扩展研究[J]. 江苏电机工程, 2014, 33(6): 51-54.

作者简介:

李少卿(1977), 女, 江苏南京人, 工程师, 从事电力系统自动化研发及测试方面工作;

程立(1977), 男, 陕西咸阳人, 高级工程师, 从事电力系统自动化研发方面的工作;

刘永钢(1984), 男, 山西平遥人, 工程师, 从事变电站自动化系统、数字化变电站系统研发工作;

熊慕文(1981), 男, 江西南昌人, 工程师, 从事变电站自动化系统、数字化变电站系统、IEC 61850 及支撑协议研发工作;

张建华(1986), 男, 河南省林州人, 工程师, 从事变电站自动化系统、数字化变电站系统研发工作。

(下转第 64 页)

参考文献:

- [1] CHEN Y, WANG Z L, QIU J, et al. Adaptive Bathtub Hazard Rate Curve Modeling Via Transformed Radial Basis Functions [C]. International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, 2011: 110-114.
- [2] 唐 燕, 刘 艳. 考虑电网总风险和检修收益的设备状态检修计划优化[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 33-39.
- [3] SHEU S H, CHANG T H. Generalized Sequential Preventive Maintenance Policy of a System Subject to Shocks [J]. International Journal of Systems Science, 2002, 33(3): 267-276.
- [4] MARTORELL S, SANCHEZ A, SERRADELL V. Age-dependent Reliability Model Considering Effects of Maintenance and Working Conditions [J]. Reliability Engineering & System Safety, 1999, 64(1): 19-31.
- [5] DL/T 838—2003 发电企业设备检修导则[S]. 中华人民共和国国家经济贸易委员会, 北京: 中国电力出版社, 2003.
- [6] DL/T 573—2010 电力变压器检修导则[S]. 国家能源局, 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [7] 段东立, 武小悦, 邓宏钟. 基于时变故障率与服务恢复时间模型的配电系统可靠性评估[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(28): 57-63.
- [8] 何 剑, 程 林, 孙元章, 等. 条件相依的输变电设备短期可靠性模型[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 39-45.
- [9] IEEE Working Group for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers. IEEE Std C57.91-1995 IEEE guide for loading mineral-oil-immersed transformers[S]. 2012.
- [10] 宁辽逸, 吴文传, 张伯明. 电力系统运行风险评估中元件时变停运模型分析[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(16): 7-12.
- [11] BILLINTON R, KUMAR S, CHOWDHURY N, et al. A Reliability Test System For Educational Purposes-Basic Data [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1989, 04(3): 1238-1244.
- [12] 赵 渊, 张 煦, 杨 清. 基于可靠性成本/效益分析的电网计划检修周期优化[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(20): 54-60.

作者简介:

张 煦(1986), 男, 湖南邵阳人, 工程师, 研究方向为电力系统规划与可靠性;

张向伍(1987), 男, 河南信阳人, 工程师, 研究方向为电力系统自动化。

Analysis for the Reliability and Economic of Power System Considering Maintenance

ZHANG Xu¹, ZHANG Xiangwu²

(1.State Grid Wuxi Power Supply Company, Wuxi 214000, China;

2.Stat Grid Nanyang Power Supply Company, Nanyang 473000, China)

Abstract: Electric power equipments suffer from aging, wearing, and weather conditions in operation, the failure rate has a cumulative effect over time. Considering the main factors affecting the reliability of various electric power equipments, the time-varying failure rate model based on the operating conditions is established. On this basis, the important A-level and C-level preventive maintenance modes which have different reliability improvements in each preventive maintenance levels are built based on the effective age, and the average unavailability formulas of kinds of power equipment is derived. Then, the analytical expressions for the system reliability and economy indices are established. Finally, According to the studies on RBTS, the validity of the algorithm is verified, and the sensitivity analysis of the generator system is carried out.

Key words: operating conditions; A-level and C-level preventive maintenance; the effective age; average unavailability; the sensitivity analysis

(上接第 59 页)

Development of a Multifunctional Integrated Remote Terminal Unit for the Overseas

LI Shaoqing, CHENG Li, LIU Yonggang, XIONG Muwen, ZHANG Jianhua

(Nanjing Nari-Relays Electric Co. Ltd., Nanjing 211102, China)

Abstract: RTU (Remote Terminal Unit) plays a very important role in the overseas automation market, and the user's function need is changing. According to the renovation of old station and building of new station in the overseas, for the needs of IO acquisition, communication access and advanced applications, a multifunction integrated RTU design is proposed in this paper. A method of object-oriented, decomposition and refinement of the function to each subsystem is used in RTU design. IO acquisition subsystem provides access to the basic function of the hard signal, communication subsystem provides more stable and large protocol libraries, and advanced application subsystem provides additional features to improve the economic operation of the power grid. The RTU terminal has been successfully applied in Singapore and the operation is reliable and stable. The proposed RTU can meet the needs of users.

Key words: oversea; RTU; multifunction; subsystem