

基于 MATLAB 的合并单元实验装置的研究

刘喜梅 迟青青 张海龙

(青岛科技大学 自动化与电子工程学院 青岛 266042)

摘要: 根据 IEC60044-8 标准对合并单元的定义,从合并单元的功能入手,用 MATLAB 软件模拟现场电力系统的多路故障信息,并通过以太网按照 FT3 帧格式将多路信号发送给合并单元,而以 FPGA 为硬件核心的合并单元对接收到的多路信号进行处理,最后通过以太网发送到二次侧设备对接收到的数据进行实时显示。针对此实验平台的研究主要描述了各模块的结构与功能:包括了 MATLAB 发送模块、FPGA 接收与光纤发送模块以及曼彻斯特编解码与数据显示的模块。搭建硬件平台并给出了软件的测试结果。

关键词: 故障仿真;合并单元;曼彻斯特编码

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.99

Experimental study of merging unit based on MATLAB

Liu Ximei Chi Qingqing Zhang Hailong

(College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)

Abstract: According to the IEC60044-8 standard definition of merging unit, starting from the function of the merging unit, using the software of MATLAB to receive simulation of multi fault information of field power system, and sending the merging unit with FT3 frame format through the Ethernet, processing the received data with the merging unit with FPGA as hardware core, finally the data is sent to the two side of the device to receive the data real-time display through the Ethernet. The study based on the experimental platform, mainly described the structure and function of each module, including the MATLAB transmission module, FPGA receiving and optical fiber sending module and Manchester coding and decoding and data display module. The hardware platform is built and the test result of the software is given.

Keywords: fault simulation; merging unit ; Manchester code

1 引言

随着电力系统朝着网络化、智能化的方向迅速发展,目前变电站继电保护故障处理系统的研究已越来越重要。合并单元作为变电站中的关键设备,其主要功能是同步采集多路故障信号然后对其进行处理后按照标准规定的格式发送给保护、测控设备。本文在此基础上设计了一种基于 MATLAB 的合并单元装置,实现数据接收、数据通信和数据通信,用 MATLAB 来模拟多路故障信号源,用以 FPGA 为硬件核心的合并单元,实现对多路信号的采集并进行处理,以便搞清楚故障发生的原因、发展过程及后果,进而为提高变电站的安全稳定运行以及减少其故障发生频率、减小因故障带来的损失提供了必要的理论知识^[1-3]。

2 合并单元

2.1 合并单元概述

合并单元(merging unit, MU)是电子式互感器输出数据实现网络化传输必备的部件,在有关电子式互感器体系结构的“4段3口”定义中, MU 属于最后一个段,它实现的功能是:对于来自变送段的电流/电压采样数据进行与采样时间相关的组合,并按约定的通信协议以数据帧的形式连续发送至以太网。由于 MU 的使用,电站上任何一台互感器的采样值都可获得广域共享^[4]。

如图 1 所示是 MU 的典型连接示意图,一台 MU 的典型满配置可连接 12 台互感器的采集器,包括 3 台(相)ECT 测量输出;3 台(相)ECT 保护输出;3 台(相)EVT 测量输出;1 台零序 ECT 输出(ECT_n);1 台零序 EVT 输出(EVT_n)和 1 台母线 EVT 输出(EVT_m)。

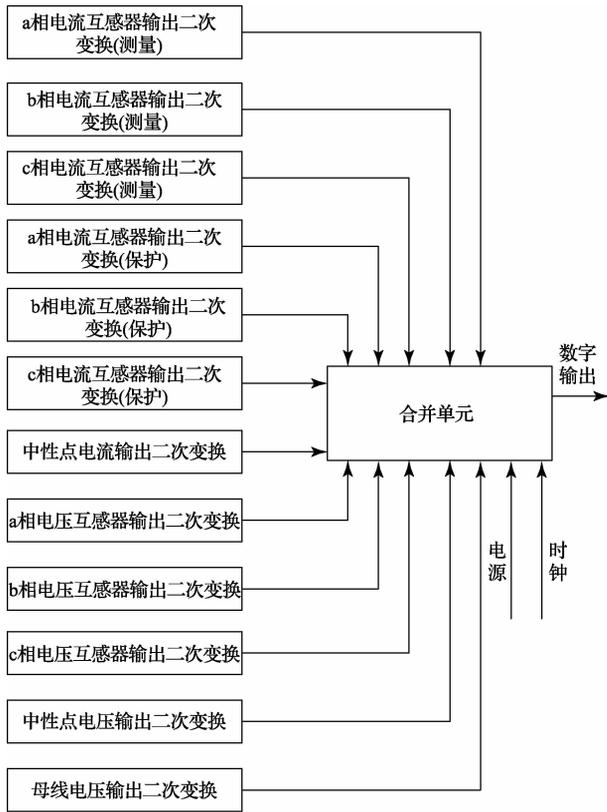


图 1 合并单元结构示意图

合并单元与 ECT/EVT 的数字量输出接口通信的主要特征如下: 1)同时处理的任务多; 2)高可靠性和强实时性; 3)通信信息流量大; 4)通信速度较高^[5-6]。

合并单元分为三个功能模块,如图 2 所示。

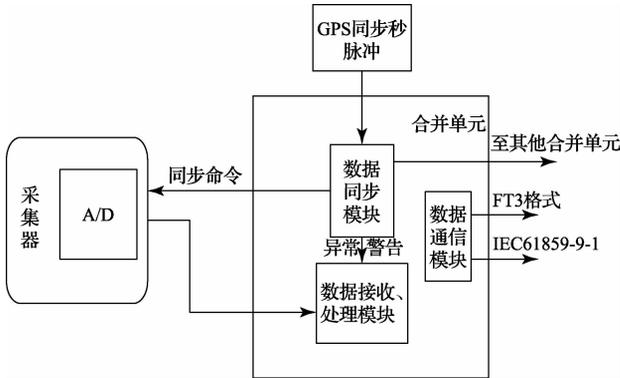


图 2 合并单元的功能模型

2.2 FT3 简介

FT3 是 IEC60044-8 电子式互感器标准里使用的帧格式,要求 MU 以这样的帧格式将数据流向数字变电站的间隔层,用来对电压、电流的数字量信息进行传输,它也是一种链路层的传输帧格式。此种数据格式在 IEC 60870-5-1 中有过明确的定义。

以这种格式传输的数据准确率比较高,因为不仅采用了 CRC 校验模块,而且是以电平跳变的形式来进行数据的传送,其具有较好的完整性,适合在高速数据处理中进行多点同步数据的链接。

链路层协议需要解决的问题是 MU 以何种方式组织生成可以发送的数据帧,并与接收方建立可靠的链路连接关系,建议采用 IEC 60870-5-1 的 FT3 格式,但也预留了未来的 IEC 61850-9-1/2 的扩展余地,FT3 格式具有良好的数据完整性,帧格式比较简短,适合点对点的高速传输。在 MU 与互感器的连接中,也有采用 FT3 帧格式的一个小段作为传输链路协议的。图 3 所示为 FT3 通信帧格式的框架,它所承载的数据及各种参数定义在应用层说明。FT3 格式组成要点说明如图 3:

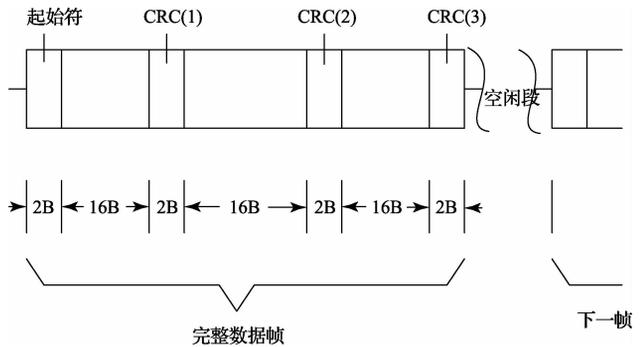


图 3 FT3 数据帧格式

1)数据帧总是以 05H,64H 这两个字节作为起始符。

2)紧随其后的是 3 个有效数据段,每段 16 字节,16 位数据的高位字节在前,低位字节在后,每字节的高位在前。

3)数据段后加 2 字节 CRC 校验码,对该段数据做 CRC 循环冗余校验,CRC 校验码生成多项式如下:

$$X_{16} + X_{13} + X_{12} + X_{11} + X_{10} + X_8 + X_6 + X_5 + X_2 + 1$$

4)一个完整数据通信帧共包含 56 字节(含起始符和校验码),除去有效数据外,其他字节可填入空字节,帧与帧之间的空闲段可填充数据“1”。

5)不指定目标地址的 FT3 帧可以发送到任意一个或多个接收点。在接收端将检验信号品质、起始符、校验序列和帧长度,如果正确,则提供采用,任一项有误,该帧将被废弃。

3 实验装置总体框图

图 4 是整个实验装置的总图框图,基于 IEC60044-8 标准,用 MATLAB 软件模拟现场的多路故障信号,然后将信号按照 FT3 帧格式传送给合并单元,合并单元对于采集的信号进行数据处理,包括曼彻斯特编解码以及校验等,再将处理好的数据通过以太网发送至

PC机显示来模拟数字变电站中的二次侧设备接收数据。

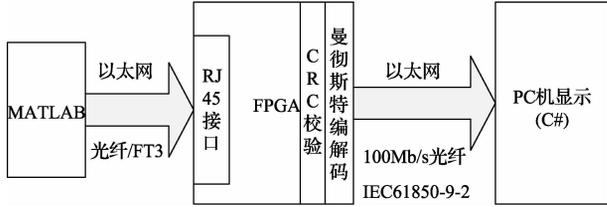


图4 实验装置框图

3.1 曼彻斯特编解码模块

在曼码中,采用二进制数0或1来表示电平的变化,由低电平向高电平跳变用二进制数“1”来表示,而从高电平向低电平跳变用二进制数“0”来表示,且每一位中间都会有一个跳变既可作为时钟信号,又可作为数据信号。曼码具备二进制码所不具备的特点,如下:1)含有大量的定时信息,便于接收端提取定时信号;2)在传输过程中不存在直流分量,同时在很大程度上降低了系统的功能损耗;3)在多路数据的快速切换中,曼码的传输方式非常适用。

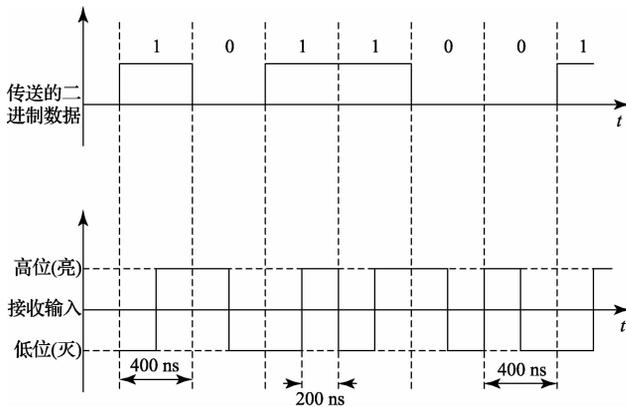


图5 曼彻斯特编码示意图

MU的网络输出采用的是曼彻斯特编码规则。对照图5,曼码的规则表述如下:

由低电位转为高电位(对应光纤中由“灭”变“亮”)表示二进制“1”;

由高电位转为低电位(对应光纤中由“亮”变“灭”)表示二进制“0”。

如果采用RS485总线传输,则高、低电位的转换实际是正、负电压的转换,由图5所示的波形变化可以看出,无论交替送“0”或“1”或连续送“0”或“1”,接收端输出电平

都会在正负电位间至少跳变一次。这就是曼彻斯特编码与通常的基带传输的二进制位码最大的不同。曼码传输具有以下优点:1)提高线路传输速率;2)降低传输误差;3)抗干扰能力强。

图5所示为曼彻斯特编码规则,上部表示一个二进制数序列“1011001”,采用位码传输时波形;下部表示对应的曼彻斯特码的传输波形。

在数据通信领域,开发一个数据通信系统,选择一种好的数据编码方式是非常重要的,关系到整个系统的可行性、稳定性、通信质量以及以后系统的工作效率等方面。

3.2 光纤收发模块

3.2.1 光纤选择

标准并未限定光纤传输系统选用光纤的种类,但鉴于电站通信的高可靠性以及便于在设备之间多次中转插接和装配要求,目前的惯例作法是采用玻璃材料的多模光纤,其他类型的光纤将在特殊条件下使用,以下是多模光纤的主要性能参数:

1)纤芯及包层直径:62.5/125 μm ,也可以采用50/125 μm 光纤,但传输光功率稍弱。

2)纤芯折射率:采用渐变折射率和较大的数值孔径,利于减小插接损耗,对光源波长的小差异兼容性较好。

3)典型传输距离:1 000 m;更长的距离应考虑加大输出功率或采用中继方式。

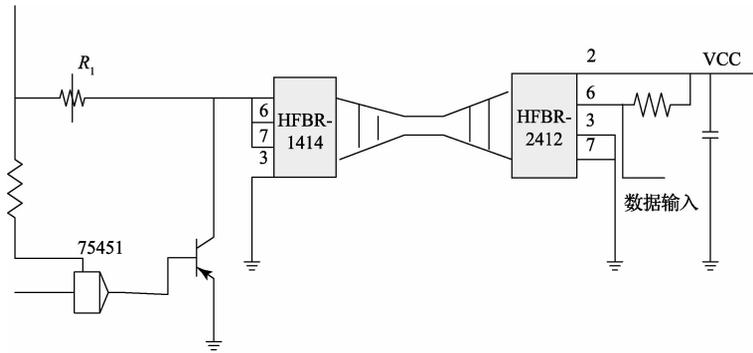
4)波长820~860 nm,可与最常用的850 nm LED光发送和接收器件配套使用。

5)光纤最大传输功率-15 dBm,最小传输功率-20 dBm(距发射头10 m处测量,定义光功率0 dBm=1 mw)。

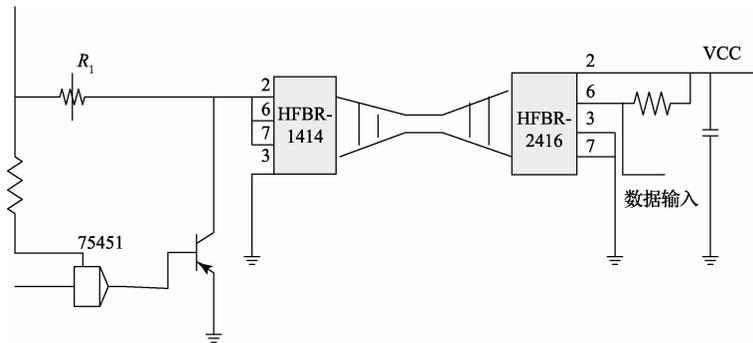
6)接收功率的范围在-30~15 dBm,系统储备光率+3 dBm以上。

3.2.2 收发插接件

如图6所示为由HFBR1414光发送头和HFBR2412或HFBR2416光接收头以及多模光纤组成的两种典型的光路传输系统实例。其中,图6(a)所示为速率不高于5 MHz的传输光路系统,其特点是接收头采用HFBR2412,直接输出数字脉冲方波信号,常被用于MU与互感器的连接;图6(b)所示为速率高达100 MHz的传输光路系统,采用HFBR2416作为接收头,接收高频光信号,经差动放大以及比较器整形,复原数字方波信号,常被用于MU与网络配置的高速通信连接^[7]。



(a)速率不高于5 MHz的传输光路系统



(b)速率高达100 MHz的传输光路系统

图 6 典型光纤传输系统示例

3.3 CRC 校验模块

经光纤传送的数据,经过光电转换器 HEBR-2412 转换后需经过 CRC 校验,检验数据传输过程中是否出错。在接收方进行校验时,对接收序列所对应的多项式 $M'(x)$ 作如下处理:计算 $M'(x)/G(x)$,若 $M'(x)/G(x) = Q(x)$,余数为零,则 $M'(x) = M(x)$,认为传输正确。若 $M'(x)/G(x)$ 余数非零,则传输有误。将接收到的 32 位数据除以生成多项式的生成码,若余数为 0 则数据接收正确,信息码送解码单元输出端;若余数不为 0 则接收错误,数据丢弃。CRC 校验模块如图 7 所示。

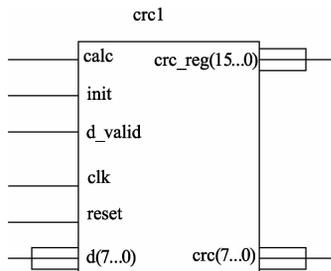


图 7 CRC 校验模块

3.4 合并单元实验平台的功能及意义

基于 IEC60044-8 协议的合并单元主要包括 3 个功能:

1)同步功能;2)多路数据采集处理功能;3)串口发送功能。通过这个实验平台,我们为电子式互感器提供了数字通信接口,它接收并整理从电子式互感器传送的数据,并将整理成组的数据按照一定的规则送出,供继电保护、测量等 IED 装置使用。

由于电力系统的快速发展,数字化变电站也越来越智能化、网络化,如实现变电站内的设备间的互操作性以及信息之间的共享性等。因此此实验平台的搭建可以满足数字化变电站中日益增长的需求^[8-9]。

4 系统性能测试

从最近几年来看,电力系统故障的发生非常普遍,能引发大停电灾难,无论是给生活还是给企业都带来了巨大的经济损失以及不必要的麻烦,从而加快了人们对于电力故障诊断研究的步伐。因为很难实现在电力系统设备上的研究与试验,所以借助于软硬件来实现模拟平台的搭建是很有必要的,也是切实可行的途径。本文中就是基于此目的,搭建了一个学习平台—IEC 61850 学习平台。基于 MATLAB 这款强大的软件,利用一个环形电网作为输电线路故障行波的仿真平台,此环形电网由 3 个电源和 4 段分布参数输电线构成,其对应的 Simulink 仿真模型如图 8 所示^[10-11]。

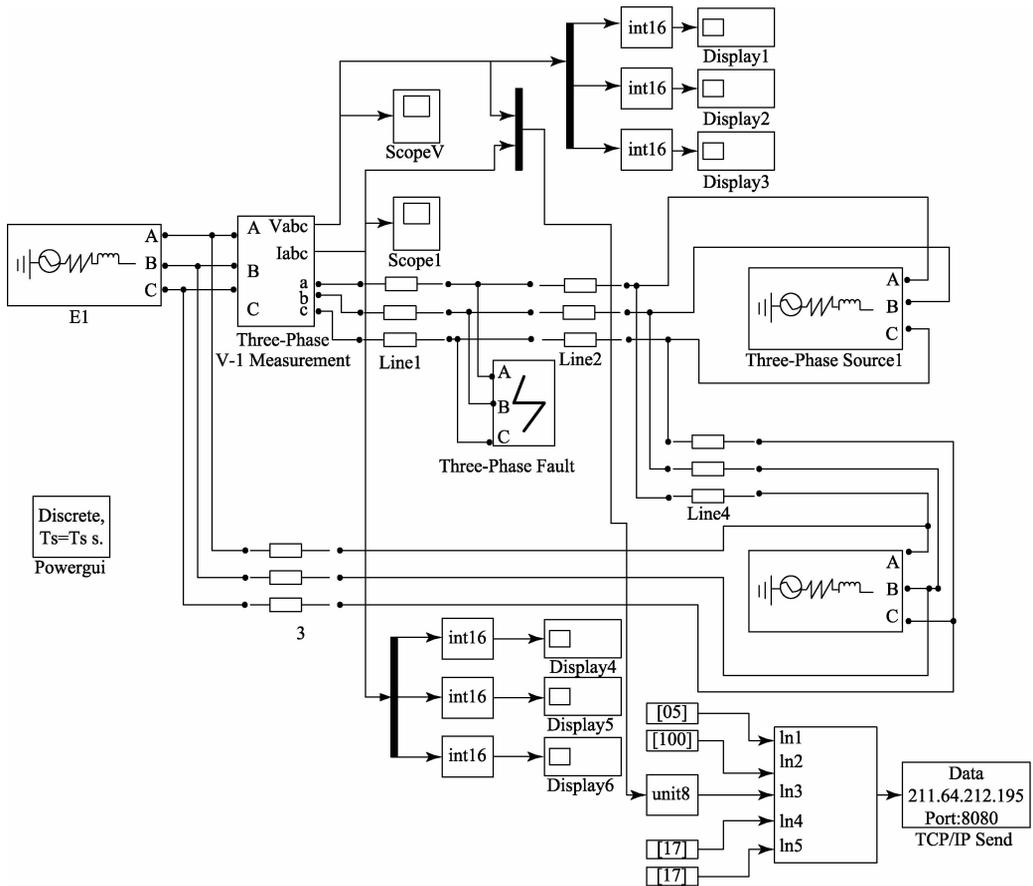


图 8 无穷大功率电源供电系统的 simulink 仿真

通过仿真将会产生三相电压和三相电流等 6 路信号，并通过 TCP/IP 发送模块将 6 路信号通过局域网发送到 FPGA 中。在仿真中设置的起始时间为 0.0 s，停止时间为 0.1 s，采用变步长 ode23tb 算法。通过三相线路故障模块

设为 A 相接地短路，在 0.035 s 出现故障，在 0.100 s 故障结束。其他参数设置如表 1。仿真结束后，在示波器中对检测点的三相电压、电流进行波形显示，如图 9 和图 10 所示。

表 1 四段分布参数输电线的参数设置

	正序电阻 $/\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	零序电阻 $/\Omega \cdot \text{km}^{-1}$	正序电感 $/\text{H} \cdot \text{km}^{-1}$	零序电感 $/\text{H} \cdot \text{km}^{-1}$	正序电容 $/\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	零序电容 $/\text{F} \cdot \text{km}^{-1}$	线路长度 $/\text{km}$
Line1	0.020 83	0.114 8	898.4	2 288.6	12.94e-9	5.23e-9	100
Line2	0.020 83	0.114 8	898.4	2 288.6	12.94e-9	5.23e-9	100
Line3	0.020 83	0.114 8	898.4	2 288.6	12.94e-9	5.23e-9	150
Line4	0.020 83	0.114 8	898.4	2 288.6	12.94e-9	5.23e-9	260

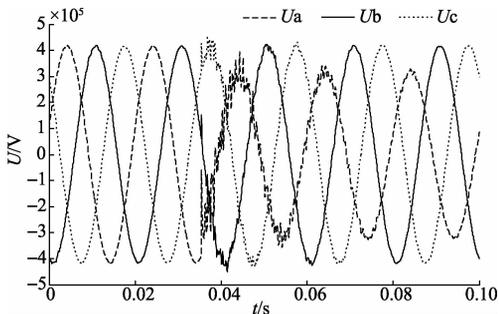


图 9 检测点的三相电压波形

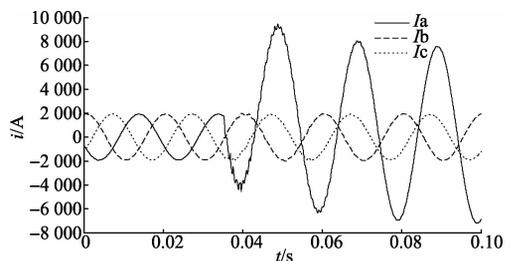


图 10 检测点的三相电流波形

在 ISE 中编写 testbench 测试文件得到曼彻斯特码的编码与解码波形如图 11 和图 12 所示:

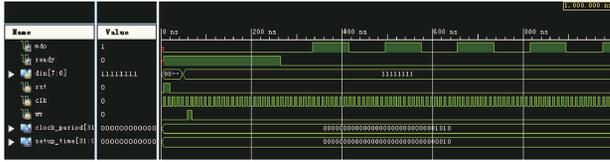


图 11 曼彻斯特解码仿真波形

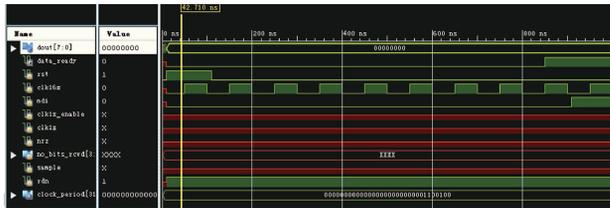


图 12 曼彻斯特解码仿真波形

FPGA 接收到 MATLAB 模拟的 6 路模拟量转为数字量后的数据如图 13。



图 13 网络接收到的数据

5 结 论

本文详细介绍了合并单元的组成及各模块的功能。本文应用 MATLAB 仿真三相电流电压故障信号来模拟电子式互感器的测量信号,使得合并单元实验装置的可操作

性更强。对实验装置各模块进行模型搭建与仿真,给出了 ISE 仿真结果及网口接收到的数据,结果证明实验装置达到了预期的效果。

参考文献

- [1] 张振洋. 35kV 智能变电站合并单元的硬件开发研究[D]. 东北: 东北电力大学, 2013.
- [2] GÜNGÖR V C, SAHIN D, KOCAK T, et al. Smart grid technologies: communication technologies and standards [J]. IEEE transactions on Industrial informatics, 2011, 7(4): 529-539.
- [3] 王亚庆. 数字化变电站合并单元硬件设计与实现[D]. 成都: 西南交通大学, 2013.
- [4] 周毅然. 35kV 智能变电站合并单元的研究与软硬件实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [5] 王跃飞, 侯亮, 刘菲. 基于 FPGA 的汽车 CAN 网络实时管理系统设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(8): 721-724.
- [6] 李辰. 电子式互感器合并单元的研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [7] 刘忠战, 任稳柱. 电子式互感器原理与应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014: 69-78.
- [8] 王伟明. 基于 FPGA 的电子式互感器合并单元研制[D]. 大连: 大连理工大学, 2011.
- [9] CUI J, LI J Q, QING G, et al. Research of time synchronization in ECT/EVT of intelligent substation IEEE1588-based[C]//Power Engineering and Automation Conference (PEAM), 2011 IEEE. IEEE, 2011, 2: 417-420.
- [10] 于群, 曹娜. MATLAB/Simulink 电力系统建模与仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [11] 田成凤. 智能变电站相关技术研究及应用[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [12] 彭宇, 姜红兰, 杨智明. 基于 DSP 和 FPGA 的通用数字信号处理系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(1): 17-19.

作者简介

刘喜梅, 1961 年出生, 博士, 博士生导师, 研究方向为电力电子智能控制, 复杂系统的建模及优化控制。

迟青青, 1989 年出生, 硕士研究生, 研究方向为故障诊断与智能系统。

E-mail: qingteng9523@163.com

张海龙, 1988 年出生, 硕士研究生, 研究方向为控制科学与工程。