

DOI: 10.7667/PSPC161734

基于 IEC61850 的电子式互感器在线监测与校验系统设计

蒋愈勇¹, 习伟¹, 刘立斌², 刘洋², 刘伟²

(1. 南方电网科学研究院有限责任公司, 广东 广州 510800; 2. 四方继保(武汉)软件有限公司, 湖北 武汉 430223)

摘要: 为保证电子式互感器在实际长期运行中的可靠性和准确性, 提出了一种基于 IEC61850 的电子式互感器在线监测与校验系统方案。该方案将电子式互感器集成了在线监测功能, 实现电子式互感器状态的实时采集与传输。同时设计出电子式互感器在线校验装置, 搭建电子式互感器在线校验系统架构, 实现对电子式互感器准确度的实时校验。并将监测系统与校验系统融合一体, 通过 IEC61850 标准协议与监控后台通信, 形成对电子式互感器的全面实时检测。试验已验证该系统满足 0.05 级准确度要求, 且该系统已投入实际应用, 运行效果良好。

关键词: 电子式互感器; 在线监测; 在线校验; IEC61850; 间隔层 IED

Design of online monitoring and calibration system for electronic transformer based on IEC61850

JIANG Yuyong¹, XI Wei¹, LIU Libin², LIU Yang², LIU Wei²

(1. Electric Power Research Institute of CSG, Guangzhou 510800, China;
2. Sifang Automation Software (Wuhan) Co., Ltd., Wuhan 430223, China)

Abstract: In order to ensure the reliability and accuracy of electronic transformer in actual long running period, this paper proposes an online monitoring and calibration system for electronic transformer based on IEC61850. The program integrates the function of online monitoring into the acquisition device of electronic transformer, and realizes the real-time states collection and transmission of electronic transformer. Meanwhile, it designs electronic transformer online calibration device, sets up electronic transformer online calibration system architecture, and realizes the real-time accuracy calibration of electronic transformer. The monitoring system and calibration system are combined into a compositive system, which communicates with substation monitoring system based on IEC61850 standard protocol. The whole system reaches a comprehensive real-time detection of electronic transformer. Experiment shows that the system satisfies the requirement of accuracy of 0.05 class, and practical application of this system has achieved good results.

Key words: electronic transformer; online monitoring; online calibration; IEC61850; bay level IED

0 引言

随着智能电网及智能变电站的迅速推广与发展, 电子式互感器得到越来越多的应用。作为智能变电站的重要数字化信息源头, 电子式互感器的性能得到广泛的关注及大量的验证^[1-3]。电子式互感器的主要性能关注点包括两大类: 1) 电子式互感器的可靠性, 包括实际应用中的天气环境、电磁环境和运行环境等恶劣环境下的承受能力, 以及长期运行时表现的稳定性; 2) 电子式互感器的准确性, 包括环境温度变化或元部件老化等因素导致的互感器精度漂移等^[4-7]。

目前针对电子式互感器的考核主要依据 GB/T 20840-7/8 标准要求的试验项目以及部分附加的模

拟实际工况的测试项目^[8-10]。但是在实际应用过程中, 虽然运行的电子式互感器通过了标准要求及附加的试验, 应用现场仍然暴露出较多问题, 包括绝缘问题、工艺缺陷、器件失效和精度超差等, 体现出电子式互感器相关技术及工艺尚未完全成熟。

对电子式互感器应用现场的检测一般包括对精度的离线校验或带电短时校验^[11-12], 以及对电子式互感器关键性能的巡检或停电检查。而对电子式互感器长期运行进行在线监测及校验的研究较少, 且部分在线校验功能以虚拟仪器(VI)作为检测界面^[13], 仅适用于本地观测, 无法进行远程监控。

本文提出一种基于 IEC61850 的电子式互感器在线监测与校验系统的设计, 一方面设计了集成状态在线监测功能的电子式互感器; 另一方面提出在

线校验系统框架，并设计出作为间隔层设备的在线校验装置。根据 IEC61850 标准进行建模，将监测与校验信息以 IEC61850-MMS 标准协议发送至站控层监控系统^[14-15]。该系统实现了真正意义上的在线监测与校验。

1 电子式互感器在线监测系统设计

智能变电站的重要特征之一是一次设备智能化，电子式互感器作为智能变电站关键一次设备，其智能化主要体现在实现自身状态的在线监测，将设备检修策略从“定期检修”变成“状态检修”^[16]。

1.1 电子式互感器构成

电子式互感器主要构成如图 1 所示，主要包括一次传感部件、采集装置及合并单元。其中一次传感部件包括传感电流的低功率线圈(LPCT)、罗氏线圈及传感电压的电容分压器；采集装置接收一次传感器输出的模拟小信号，转换为电流电压的数字信号，并将数据打包，通过光纤发送至合并单元；合并单元进行二次转换，进行数字化输出。

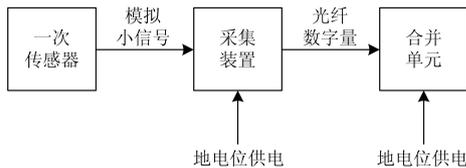


图 1 电子式互感器构成

Fig. 1 Structure of electronic transformer

采集装置一般置于电子式互感器一次本体上，离一次传感器距离较近，在不涉及绝缘问题的时候一般采用地电位供电，保证采集装置供能可靠；合并单元一般接收多台电子式互感器发送的光信号。

1.2 在线监测状态收集

电子式互感器在线监测需要收集的状态主要包括两个部分：其一，对设备自身各状态的监测，包括绝缘气体压强、温度和湿度等，用于判断设备运行状态；其二，对采集装置的电气运行情况进行监测，包括采集装置的环境温度、湿度和板上电压等。对电子式互感器的信息监测越完整，对其运行状态的判断越准确。

对设备自身的状态监测，如绝缘气体的压强、温度和湿度等，一般采用专用的在线监测传感头，传感头接口包括供电电源、24 V 开出和 RS485 接口等。对于其他一次设备的在线监测，传感头输出信号一般连接到专门的过程层或间隔层状态监测 IED 中^[17]。对于电子式互感器，由于采集装置的就近放置，可直接将传感头与采集装置连接，采集装置为传感头供电并与其通信，接收传感头采集的状态信

息。因此，仅需在采集装置中增加一块多功能插件，即可节省一台状态监测 IED。采集装置的结构如图 2 所示。

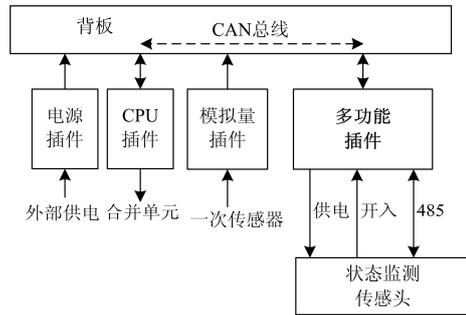


图 2 采集装置硬件架构

Fig. 2 Hardware architecture of sampling device

1.3 在线监测状态信息上传

采集装置与在线监测传感头通信并获得设备各种状态信息，在主 CPU 中，将状态信息与采集到的电流电压数字信号共同组成数据包，发送至合并单元。由于发送周期及传输速率的限制^[18]，对采集装置与合并单元之间的通信报文做了固定长度的限制。故对于状态信息并非在每个报文中全部发送，而是采用状态量序号加状态量的形式，对各状态量轮流循环发送。典型的通信报文格式如表 1 所示。

合并单元接收到采集装置的报文后，对电流电压信号及状态量信号分别处理。依据 IEC61850-9-2 标准生成电流电压信号的 SV 信息，依据 IEC61850-8 标准生成状态量信号的 GOOSE 信息，SV 及 GOOSE 信息通过点对点或者组网的方式发送到相应的间隔层装置。

2 电子式互感器在线校验系统设计

目前电子式互感器校验方法一般为离线校验和带电校验。离线校验需要一次停电，操作较复杂，且校验周期较长；带电校验虽较便捷，但仍需一定周期，且每次校验需要搭建校验平台。在电子式互感器应用初期，可考虑电子式互感器的长期在线校验，实时监测电子式互感器的精度变化趋势，便于及时发现问题或在出现问题前发出预警。

同一智能变电站应用电子式互感器的数量较多，对每台互感器都进行实时在线校验的代价较大。但同一变电站电子式互感器一般为同一厂家同一批次，性能具有相似性，故可采用在线校验与带电校验相结合的方式，对关键间隔或随机几台电子式互感器增加在线校验平台，对其精度进行长期实时校验，当出现问题或预警时，则采用带电校验方式，对其他电子式互感器进行校验。

表 1 采集装置通信报文协议

Table 1 Communication protocol of sampling device

bit 位	2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		
起始符	0x05									
	0x64									
用户数据 (16 字节)	msb	报文类型*						lsb		
	msb	额定延时时间(t_{dr})						lsb		
	msb	DataChannel #1 保护用电流数据 1						lsb		
	msb	DataChannel #2 保护用电流数据 2						lsb		
	msb	DataChannel #3 测量用电流数据						lsb		
	msb	DataChannel #4 本相电压 1						lsb		
	msb	DataChannel #5 本相电压 2						lsb		
	msb	状态字 1						lsb		
	CRC	msb	用户数据 CRC 校验						lsb	
	用户数据 (8 字节)	msb	状态字 2						lsb	
		msb	SmpCnt						lsb	
		msb	状态量序号						lsb	
msb		状态量						lsb		
CRC	msb	用户数据 CRC 校验						lsb		

2.1 电子式互感器在线校验系统架构

电子式互感器在线校验原理与离线校验相似, 区别在于无需进行一次升流, 直接通过母线流过的实际电流进行校验。在线校验系统架构如图 3 所示, 主要包括: 标准电流电压互感器、被检电流电压互感器、合并单元、在线校验装置和时钟同步系统等。

根据校验规程^[19], 标准电流电压互感器准确度等级需要比被检互感器准确度等级至少高两级。标准互感器可采用高精度传统互感器, 也可以采用经过准确级验证的高精度电子式互感器。

由上述系统架构可知, 高精度电子式互感器及在线校验装置为关键环节。

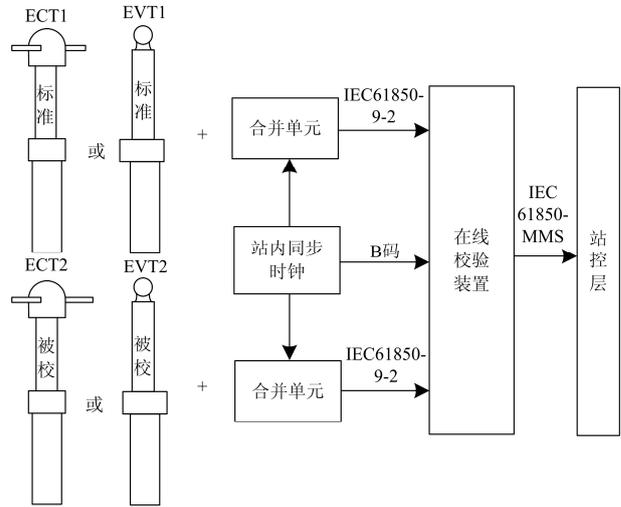


图 3 在线校验系统架构

Fig. 3 Architecture of online calibration system

2.2 高精度电子式互感器设计

以电子式电流互感器校验为例, 一般智能变电站使用的电子式电流互感器准确度等级为 0.2 级, 为了保证校验的准确性, 作为标准的高精度电子式电流互感器需要达到 0.05 级准确度。

为了保证 0.05 级测量精度等级, 采用纳米晶铁芯配合高精度绕制工艺, 保证线圈自身精度在 0.01 级以内; 采集装置采用微弱信号处理技术, 通过超高精度超低温漂模拟器件及 AD 转换器, 将母线电流信号转换为光纤数字信号, 达到整体精度优于 0.05 级。

作为标准电子式互感器, 为保证其高可靠性及稳定性, 采取以下措施: 一次本体内部采用 SF6 绝缘, 性能稳定; 采集装置置于地电位侧, 便于供电且避免高压侧电磁干扰; 增加在线监测功能, 实时监测标准互感器自身运行状态。

2.3 电子式互感器在线校验装置设计及 IEC61850 建模

标准电子式互感器和被检电子式互感器都为标准 IEC61850-9-2 报文, 在线校验装置需对报文进行解析, 同时根据时钟同步信号及报文序号对被检信号及标准信号进行采样对齐, 根据特定的校验算法对数据进行处理, 输出比差、角差和复合误差等实时校验结果, 并通过可视界面实时显示。

由于实时校验算法及可视界面集成于在线校验装置内部, 而校验装置安装于屏柜中, 不便于实时观测, 因此将在线校验装置作为一个间隔层 IED 进行建模, 通过 IEC61850-MMS 协议接入站控层网络, 与变电站监控后台进行通信, 并通过智能运动

机与主站通信，上送实时信息。

在线校验装置通过 MMS 报文上送所有校验参数及结果，信息内容包括：时钟同步类型、SV 报文质量、标准值、被检值、比差、角差、复合误差和误差超差告警等。考虑到上述电子式互感器在线监测系统，电子式互感器集成在线监测功能，将监测的状态量传输至合并单元后通过 GOOSE 报文发出。GOOSE 作为过程层网络需要通过间隔层设备将信息转发至站控层。因此，可将电子式互感器在线监测系统及在线校验系统相结合，通过在线校验装置向站控层网络传输电子式互感器的完整信息，在线校验装置功能如图 4 所示。

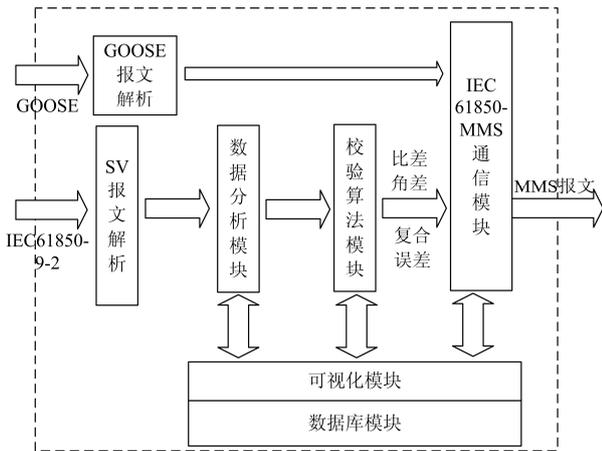


图 4 在线校验装置功能框图

Fig. 4 Block diagram of online calibration device

3 系统应用

基于本文提出的电子式互感器在线监测与校验系统设计方案，已研制出集成在线监测功能的高精度电子式互感器及基于 IEC61850 建模的在线校验装置。电子式互感器及在线校验装置均在国家高电压计量站进行了准确度校准试验，并取得了校准证书。

经过试点方案讨论与确认，该套在线监测与校验系统在广西电网 220 kV 排岭变投入应用，针对 220 kV 榄排 II 线 A 相电子式电流和电压互感器进行了在线监测与误差校验分析。现场安装如图 5 所示。

在电流校验过程中，现场实际负荷较小，一次电流大约为额定电流的5%，根据 GB/T20840.8-2007 标准中 0.2 级准确度误差限值要求，比差不超过 ±0.75%，角差不超过 ±30'。现场随机选取若干个比差和角差数据绘制曲线，如图6(a)和图6(b)所示，比差与角差的校验结果均满足 0.2 级标准要求，即所测误差具有一定的参考价值，能够作为评估被测缆坪 II 线 A 相电子式电流互感器准确度的数据依据。



(a) 高精度电子式互感器 (b) 在线校验装置

图 5 在线监测与校验系统现场应用

Fig. 5 Application of online monitoring and calibration system

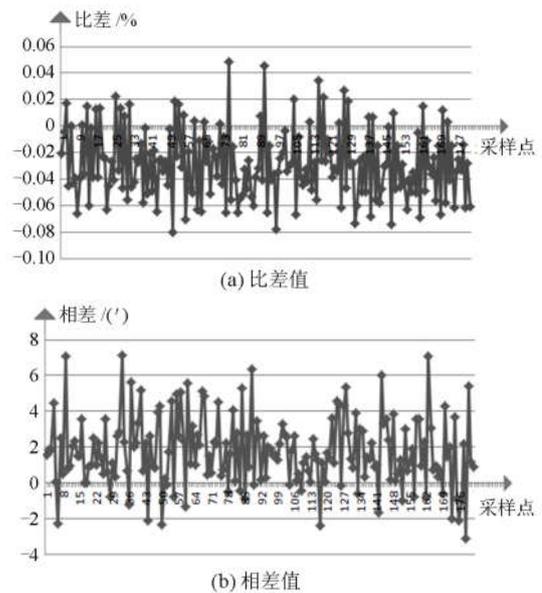


图 6 比差和相差曲线

Fig. 6 Curve of amplitude error and phase error

在线校验装置提供 ICD 模型文件后，根据变电站监控后台配置，将在线校验及在线监测的结果显示于后台界面，便于实时告警或实时观测，部分后台界面如图 7 所示。



(a) 在线校验界面



(b) 在线监测界面

图 7 监控后台界面

Fig. 7 Monitoring software interface

4 结语

智能变电站对一次设备要求的智能化部分表现在对自身状态的可监测性, 当前电子式互感器的在线监测实现较少; 电子式互感器运行时间较短, 对其长期精度稳定性尚未完全了解。基于此前提, 本文提出电子式互感器的在线监测系统及电子式互感器在线校验系统架构, 并将两个系统融合一体, 形成对电子式互感器的全面实时检测。该系统方案已完成开发并投入实际应用, 运行效果良好。

参考文献

- [1] 徐大可, 汤汉松, 孙志杰. 电子式互感器在数字化变电站中的应用[J]. 高电压技术, 2007, 50(1): 14-16.
XU Dake, TANG Hansong, SUN Zhijie. Application of electronic transformers in digital substation[J]. High Voltage Engineering, 2007, 50(1): 14-16.
- [2] 高翔, 张沛超. 数字化变电站的主要特征和关键技术[J]. 电网技术, 2006, 30(23): 67-71.
GAO Xiang, ZHANG Peichao. Main features and key technologies of digital substation[J]. Power System Technology, 2006, 30(23): 67-71.
- [3] 冯利民, 王晓波, 吴联梓, 等. 500 kV GIS 变电站 VFTO 对于电子式互感器的电磁骚扰研究[J]. 电工技术学报, 2016, 31(1): 85-90.
FENG Limin, WANG Xiaobo, WU Lianzi, et al. Study on the impact of VFTO electromagnetic interference on electronic transformers in 500 kV GIS substation[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(1): 85-90.
- [4] 王涛, 张宁, 刘琳, 等. 有源电子式互感器故障诊断技术的研究与应用[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(18): 74-79.
WANG Tao, ZHANG Ning, LIU Lin, et al. Research and application of electronic transformer fault diagnosis[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(18): 74-79.
- [5] 邓威, 毛娟. 智能变电站电子式互感器故障分析及建议[J]. 中国电力, 2016, 48(2): 180-184.
DENG Wei, MAO Juan. Analysis and proposition for malfunction of electronic transformer in intelligent substation[J]. Electric Power, 2016, 48(2): 180-184.
- [6] 吕东, 张弛, 康小宁, 等. 智能变电站异常数据识别及恢复方法[J]. 陕西电力, 2016, 44(7): 6-9.
LÜ Dong, ZHANG Chi, KANG Xiaoning, et al. Identification and restoration of abnormal data in smart substations[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(7): 6-9.
- [7] 欧朝龙, 徐先勇, 万全, 等. 智能变电站中电子式互感器运行可靠性分析及故障预防[J]. 湖南电力, 2014(1): 27-29.
OU Chaolong, XU Xianyong, WAN Quan, et al. Reliability analysis and fault prevention on electronic transformer in smart substation[J]. Hunan Electric Power, 2014(1): 27-29.
- [8] 中国国家标准化管理委员会. 互感器 第 7 部分: 电子式电压互感器: GB/T 20840.7—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Instrument transformer part 7: electronic voltage transformers: GB/T 20840.7—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [9] 中国国家标准化管理委员会. 互感器 第 8 部分: 电子式电流互感器: GB/T 20840.8—2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
Standardization Administration of the People's Republic of China. Instrument transformer part 8: electronic current transformers: GB/T 20840.8—2007[S]. Beijing: Standards Press of China, 2007.
- [10] 刘彬, 叶国雄, 郭克勤, 等. 电子式互感器性能检测及问题分析[J]. 高电压技术, 2012, 38(11): 2972-2980.
LIU Bin, YE Guoxiong, GUO Keqin, et al. Quality test and problem analysis of electronic transformer[J]. High Voltage Engineering, 2012, 38(11): 2972-2980.
- [11] 李振华, 李红斌, 张秋雁, 等. 一种高压电子式电流互感器在线校验系统[J]. 电工技术学报, 2014, 29(7): 229-236.

- LI Zhenhua, LI Hongbin, ZHANG Qiuyan, et al. An online calibration system for high voltage electronic current transformers[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2014, 29(7): 229-236.
- [12] 李深旺, 郭志忠, 张国庆, 等. 集磁环式光学电流互感器的自校正测量方法[J]. 电工技术学报, 2016, 31(9): 197-202.
- LI Shenwang, GUO Zhizhong, ZHANG Guoqing, et al. Self-calibration measurement method for optical current transducer with magnetic concentrator ring[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2016, 31(9): 197-202.
- [13] 章鹿华, 徐占河, 张贵新, 等. 基于虚拟仪器技术的电子式互感器校验装置的设计与实现[J]. 电测与仪表, 2012, 49(4): 31-33.
- ZHANG Luhua, XU Zhanhe, ZHANG Guixin, et al. The design and implementation of electronic transformer calibration device based on virtual instrument technology[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2012, 49(4): 31-33.
- [14] 李妍, 车勇, 单强, 等. 智能变电站二次系统在线监测评估的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(10): 66-70.
- LI Yan, CHE Yong, SHAN Qiang, et al. Research on secondary system on-line monitoring and evaluation in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(10): 66-70.
- [15] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 智能变电站继电保护二次回路在线监测与故障诊断技术[J]. 电力系统保护与控制, 2016, 44(20): 148-153.
- YE Yuanbo, SUN Yueqin, HUANG Taigui, et al. Online state detection and fault diagnosis technology of relay protection secondary circuits in smart substation[J]. Power System Protection and Control, 2016, 44(20): 148-153.
- [16] 鲁东海, 孙纯军, 王晓虎. 智能变电站中在线监测系统设计[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(1): 134-137.
- LU Donghai, SUN Chunjun, WANG Xiaohu. Online monitoring system for smart substation[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(1): 134-137.
- [17] 王湘涛, 党幼云, 韩明琦, 等. GIS 智能终端中智能控制单元的研制[J]. 陕西电力, 2016, 44(10): 6-10.
- WANG Xiangtao, DANG Youyun, HAN Mingqi, et al. Development of intelligent control unit in GIS intelligent terminal[J]. Shaanxi Electric Power, 2016, 44(10): 6-10.
- [18] 路光辉, 邓宇, 周钟, 等. 一种基于 FT3 光纤通信的新型避雷器监测方案[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(20): 119-124.
- LU Guanghui, DENG Yu, ZHOU Zhong, et al. A new solution of lightning arrester monitoring system based on FT3 optical fiber communications[J]. Power System Protection and Control, 2015, 43(20): 119-124.
- [19] 国家质量监督检验检疫总局. 测量用电流互感器: JIG 313—2010[S]. 北京: 中国计量出版社, 2011.
- General Administration of Quality Supervision. Current transformers of measuring service: JIG 313—2010[S]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2011.

收稿日期: 2016-10-19; 修回日期: 2016-12-28

作者简介:

蒋愈勇(1977—), 男, 本科, 工程师, 研究方向为智能电网; E-mail: jiangyy@csg.cn

习伟(1980—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 研究方向为电网自动化技术; E-mail: weiwx@csg.cn

刘立斌(1988—), 男, 通信作者, 本科, 工程师, 研究方向为电子式互感器。E-mail: liulibin@sf-auto.com

(编辑 魏小丽)