

基于云服务器的地磁感应电流监测系统的设计^{*}

乔 珺, 刘 青, 高 兵, 李艾娣

(西安科技大学 电气与控制工程学院, 西安 710054)

摘 要: 地磁暴引起的地磁感应电流(GIC)可能引起变压器直流偏磁,对电网的安全稳定运行带来威胁,远程实时监测 GIC 对电网的 GIC 防御具有重要的指导意义。设计了一种基于云服务器的电网 GIC 远程监测系统,数据采集终端实时采集变压器中性点的 GIC,多监测点数据经 GPRS 分端口发送至云服务器的内网进行存储,用户可通过云服务器的公网 IP 远程访问并对数据进行绘图、下载等处理,实现了电网 GIC 数据的实时发布与共享。结合空间天气的预测数据,还可以初步实现 GIC 的预警。对系统的数据采集终端以及基于云服务器的监测软件平台两大模块进行了实验室及变电站现场测试,测试结果表明该系统实现了设计要求,满足功能需求。

关键词: 云服务器; GIC; 霍尔传感器; 实时监测; 预警

中图分类号: TP391

文献标志码: A **doi:**10.11884/HPLPB201931.190054

Design of geomagnetic induction current monitoring system based on cloud server

Qiao Jun, Liu Qing, Gao Bing, Li Aidi

(School of Electrical and Control Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: The geomagnetic induced current (GIC) caused by geomagnetic storm may result in DC bias of the transformer, which poses threats to the safe and stable operation of the power grid. Remote real-time monitoring of GIC can provide important reference for grid GIC defense. Based on cloud server, a GIC monitoring system is designed. The data acquisition terminal collects the transformer's neutral point GIC in real time. Using GPRS, the data from multiple monitoring points are sent by different ports to the internal network of the cloud server for storage. It is possible for users to access the data remotely through the public network IP of the cloud server and process data via drawing and downloading. The real-time release and sharing of GIC data has been realized via this system. Combined with the forecast data of space weather, the early warning of GIC is preliminarily realized. Tests of the data acquisition terminal of system and the monitoring software platform based on the cloud server in the laboratory and substation field show that the system has achieved the design requirement and meets the functional requirements.

Key words: cloud server; GIC; Hall sensor; real-time monitoring; early warning

PACS: 91.25.Qi; 93.85.Bc

剧烈的太阳活动会引起大地磁场的明显变化,由此感应出的地表电场会在输电线路、两端接地变压器与大地构成的回路产生地磁感应电流(Geomagnetically Induced Current,简称 GIC)。GIC 会引起变压器的直流偏磁,从而导致变压器过热、保护继电器误操作和电压不稳定等后果^[1-3]。随着我国电网的快速发展,GIC 对电网的影响引起人们普遍关注,在电网 GIC 的建模计算、防护措施等方面已取得了一定的成果^[4-5]。对电网的 GIC 进行实时监测,所获得的监测数据可以指导运行人员采取合适的措施进行 GIC 防御。另外,计算 GIC 时所需要的一些输入参数,如大地电导率结构等,是很难准确获得的,GIC 的监测数据也能用于对 GIC 计算模型的反演、验证。我国在江苏上河、广东岭澳等变电站均开展了 GIC 的监测工作,获得了几次磁暴下 GIC 的数据。但目前我国在电网 GIC 监测方面,仍存在监测点不足、监测数据不易共享等问题。针对上述问题,本文利用微处

^{*} 收稿日期:2019-02-28; 修订日期:2019-05-31

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFC0800100)

作者简介:乔珺(1992—),女,硕士研究生,研究方向为电网安全运行;qiao_xust17@163.com。

理器技术,无线网络传输技术与 TCP/IP 通信技术^[6-7],设计了基于云服务器的地磁感应电流监测系统,用于电网 GIC 信号的采集与监测;结合 Socket 套接字编程技术,将多监测点的电网 GIC 信号分端口实时传输至云服务器,采集到的数据进行实时共享发布,并采用云存储与本地存储相结合的存储方式,保证实现 GIC 高效监测、数据可靠存储传输和及时的 GIC 预测预警。

1 电网 GIC 监测系统设计

系统由变压器中性点数据采集终端、GPRS 数据传输模块、传输网络、MySQL 数据库、云服务器、用户端组成,其结构如图 1 所示。

霍尔电流传感器将采集到的数据经调理电路转化为数据采集终端可接受到模拟信号,再由无线通信技术将打包的数据经过 GPRS 网络和 INTER 网络传输至云服务器内网的数据库 MySQL 数据库进行存储,云服务器根据用户的命令去调用存储在数据库的采集数据,完成相应的用户请求。云服务器是一种简单高效、安全可靠的 TCP/IP 服务器,将监测系统部署在云服务器上,用户可通过其分配的公网 IP 地址访问。用户输入相应网址打开监测系统进行实时监控,当监测数据异常时,现场数据采集终端发生声光报警同时通过云服务器向在线监测人员发生报警信号。除监测之外,系统还能根据空间环境预报中心数据达到初步的 GIC 预测。

1.1 数据采集终端设计

数据采集终端包括数据采集模块、定位模块、GPRS 通信模块、本地存储模块、LCD 显示模块、声光报警模块和 SD 卡模块。整个数据采集终端工作过程为:传感器将采集的数据经调理电路处理,通过串口经 A/D 模块送入中央处理器(CPU),CPU 负责将采集到的数据、定位数据和时间数据进行统一打包。数据采集终端经 GPRS 无线传输技术与 INTER 网络将采集到数据的通过 UDP 协议传输至云端,用户通过固定的公网 IP 访问监测系统完成人机交互。SD 卡模块有助于实现本地存储与云端存储相结合的存储方式,当发生通信故障时可进行本地存储,保证数据的可靠性,便于进一步分析数据使用。

1.2 霍尔传感器的标定

电网 GIC 的典型频率在 0.000 1~0.01 Hz 之间,霍尔式电流传感器具有很宽的频率测量范围,可以准确测量线路中的直流、交流及脉冲等任意波形的信号。因此本文选开环式霍尔电流传感器,它以其固态、全封闭结构为特点,可实现非接触检测,提高测量可靠性^[10]。开环式霍尔电流传感器由磁芯、霍尔元件和放大电路构成,如图 2 所示。磁芯有一开口气隙,霍尔元件放置于气隙处。当原边导体流过电流 I_p 时,在导体周围产生磁场强度与电流 I_p 成正比的磁场,磁芯将磁力线集聚至气隙处,霍尔元件输出与气隙处磁感应强度成正比的电

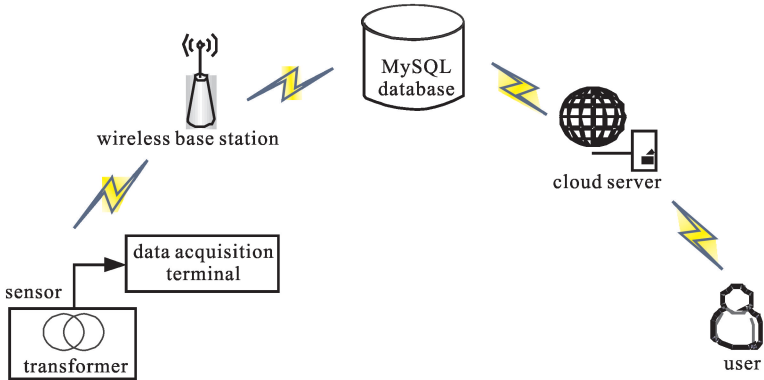


Fig. 1 General structure of the grid GIC monitoring system
图 1 电网 GIC 监测总结构图

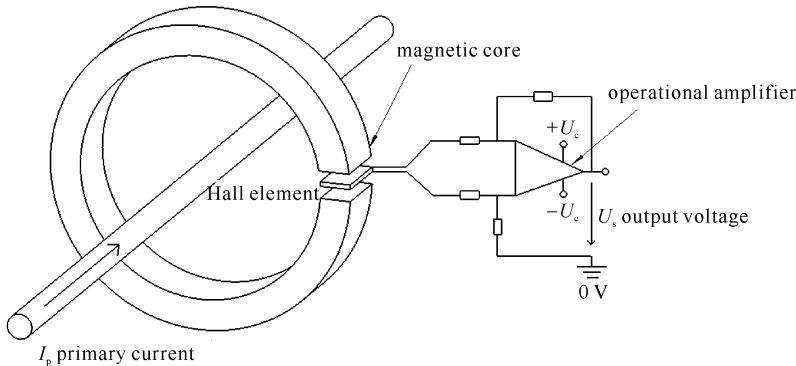


Fig. 2 Open loop Hall current sensor
图 2 开环式霍尔电流传感器

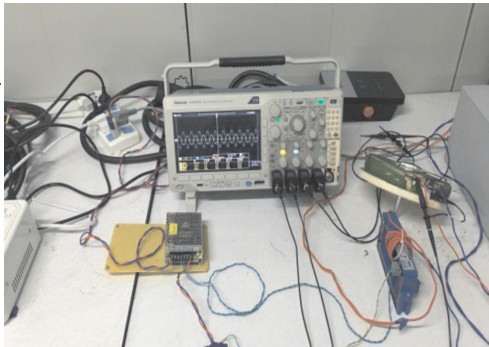


Fig. 3 Hall sensor performance test bench
图 3 霍尔传感器性能测试台

压信号,放大电路将该信号放大输出,该类传感器通常输出±10 V左右的电压信号 U_s ,也有部分传感器为了增强电磁兼容性,变换为电流信号输出^[11]。

为确保测量的准确性对选定的霍尔传感器进行了性能测试:用 APS-1102 可编程交流/直流电源作为信号源;MD03024 示波器(配套 IS-200W 隔离式安全变压器同时使用)作为输出量的监测端;用纯电阻(5 Ω/500 W)将电压信号转化为电流信号;用直流电源(5 V/12 V)为霍尔传感器供电;为了便于观察,将霍尔传感器(输入信号:0~100 A,输出信号:0~5 V,电流电压变比:20)缠绕 11 匝线圈用对测量值进行放大。测试内容为电流传感器在单电源供电、直/交流输入情况下,模拟量输出情况。测试台如图 3 所示,直流、交流输入情况下的测试结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 直流输入下霍尔传感器的测试数据
Table 1 Test data of Hall element on DC input

U/V	I/A	U'/V	$(I/U')/(A \cdot V^{-1})$
0	0	-0.055	0
2.2	0.49	0.246	1.992
4.7	1.00	0.488	2.049
7.1	1.50	0.760	1.974
9.5	2.00	1.013	1.974
11.8	2.50	1.248	2.003
14.2	3.00	1.524	1.984
16.5	3.50	1.762	1.986
18.7	4.00	2.041	1.960
21.0	4.50	2.300	1.957

表 2 交流输入下霍尔传感器的测试数据
Table 2 Test data of Hall element on AC input

U/V	I/A	U'/V	U''/V	$(I/U')/(A \cdot V^{-1})$
0	0	0	0	0
5.0	1.0	1.52	1.07	0.935
10.0	2.0	3.12	2.21	0.905
15.0	3.0	4.64	3.28	0.915
20.0	4.0	6.20	4.28	0.935
25.0	5.0	7.60	5.27	0.949
30.0	6.0	9.60	6.69	0.896
30.5	6.1	9.80	6.90	0.884
31.0	6.2	10.00	7.01	0.884
31.5	6.3	10.00	7.05	0.894
32.0	6.4	10.20	7.21	0.887
32.5	6.5	10.40	7.36	0.883

表 1 实验数据显示,在输入直流量时,输入输出量程比率(I/U')与霍尔传感器铭牌输入输出比率(I/U_{20})成比例,且比例关系为 1 : 1。

当输入为正弦交流电压时,霍尔传感器输入端和输出端的电压波形如图 4 所示,图(a)、图(b)分别是输入交流电压有效值为 7 V 和 25 V 时,输入、输出电压的波形图。

测试波形与测试数据显示:在输入交流量时,霍尔传感器的输出范围为-5 V 至 5 V,且输入输出波形相位相差 180°;输入输出量程比率(I/U'')与霍尔传感器名牌输入输出比率(I/U)成比例,比例关系为 1 : 2;当输入交流电压有效值为 7 V 和 25 V 时,霍尔传感器均可以有效地完成数据采集任务;当输入交流电压为 33 V 即输入电流为 72.6 A((33 V/5 Ω)×11=72.6 A)左右时,输出的波形开始出现削波现象。结合我国电网实际磁暴期间的 GIC 计算结果和已有监测结果,70 A 的量程能够满足测量需求。

1.3 调理电路设计

利用传感器采集的信号不能直接传输至微控器,必须通过调理电路处理为微控器所能承受识别的有效信号值。考虑到实际的现场供电可能,所用的集成运放器均使用单电源供电,因此调理电路采用正相运放电路。

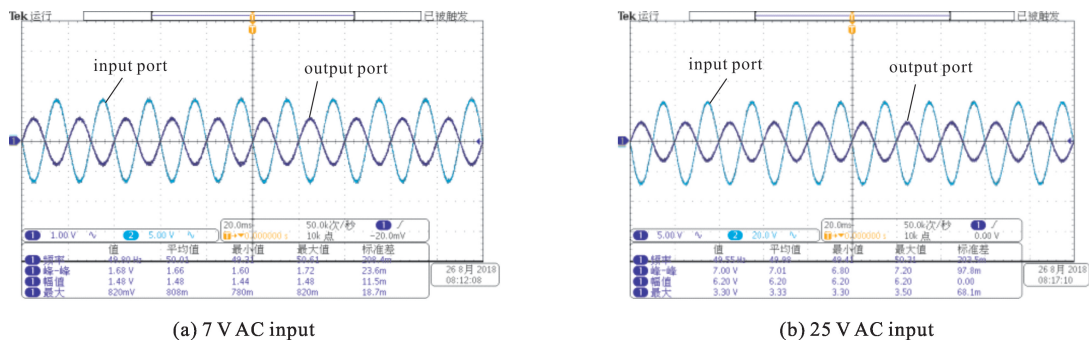


Fig. 4 Output waveform of Hall element upon AC input

图 4 交流输入下,霍尔传感器的测试数据

如图 5 所示,基准值由稳压芯片 U1 及外围分压电路构成并将其作为正相加法器的其中一个正相输入端,另一个正相输入端为测量值,利用正相加法器由运放器 U3B 与外围电路(R5,R6,R7,R8,R9)构成用于测量值的抬升。其中,运放器 U2A 与外围电路构成电压跟随器起到隔离作用。同时,考虑到同相比比例运放只能进行放大使用,本文利用跟随器构造成正相缩小比例的调理电路以达到将目标值进行缩小比例的目的。

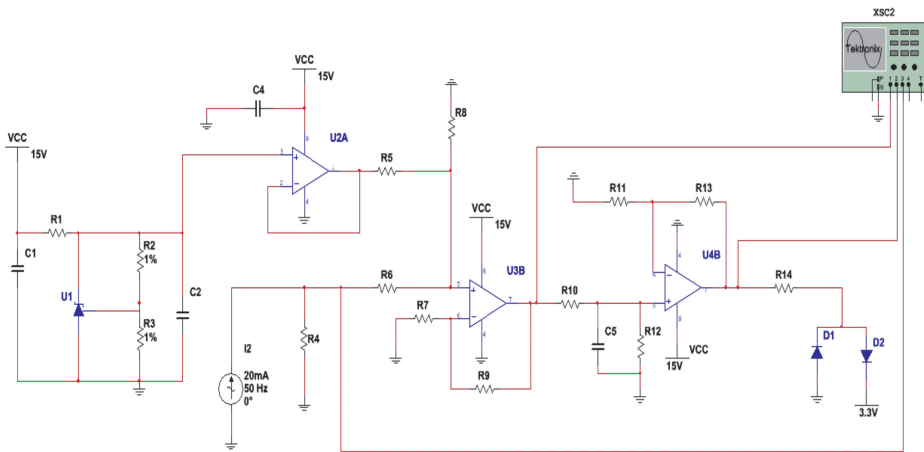


Fig. 5 Design of conditioning circuit

图 5 调理电路设计

利用 Multisim 对调理电路进行仿真,仿真结果如图 6 所示。图中,通道 3 是测量值的波形图,经过电压抬升之后得到加法器处理后通道 1 的波形图,通道 2 为缩小比例后的波形图。对比 3 个通道的波形图可知,设计的调理电路可以实现对测量值进行电压抬升且缩放的目的,达到了设计需求。

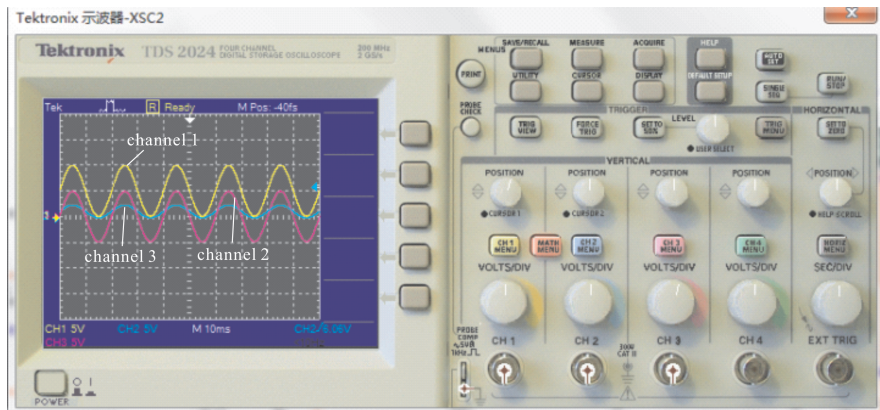


Fig. 6 Simulation result diagram of conditioning circuit

图 6 调理电路仿真结果图

2 电网 GIC 监测云端监测系统架构

本文基于电网 GIC 监测系统的需求分析,所设计的电网 GIC 监测系统软件部分主体采用 B/S 架构,使用

Tomcat 容器作为 Web 应用服务器,采用分离前端与后端架构模式,前端显示基于 Highcharts+Jquery 框架设计、后端接口基于 SSM 框架设计。利用数据采集终端进行现场数据的采集,凭借 GPRS 技术和 MYSQL 数据库完成数据传输以及数据持久性操作达到数据交互^[12-13]。系统软件部分主要从交互方式、功能模块、物理架构选择三大部分进行分析,并在此基础上完成系统设计。

2.1 电网 GIC 监测系统的交互方式

为高效的获取多监测点的 GIC 值,设计前先配置好相应的端口和数据口,当用户使用时选择相应的设备和端口号即可。监测点的数据通过串口将数据传输给数据采集终端,后者利用无线传输技术将其同步到服务器上的 MySQL 数据库中,并通过 Web 交互层完成用户与系统的交互。

Web 交互层中实现用户与系统的交互,主要包括实时 GIC 数据和历史 GIC 数据查询等;数据传递层中实现不同应用程序间的数据传递,主要包括数据同步和数据接收;业务逻辑层中主要实现业务逻辑包括各个模块的具体实现等。从访问协议层面而言,Web 交互层以 HTTP 协议进行访问,数据传递层主要以 UDP 协议进行访问,业务逻辑层中主要以对象传递方式进行访问。相比 TCP 协议,UDP 协议的数据传输开销较小,实时性好,但存在丢包现象。为此修改其协议并添加校验机能改善丢包情况以满足电网 GIC 监测系统的实时性需求;当发生通信故障时,还可结合监测终端的 SD 卡进行本地存储,保证系统的可靠性。

2.2 电网 GIC 监测系统的功能模块

搭建好的电网 GIC 监测系统实现了 4 大功能模块:实时数据模块、地磁数据接收模块、预测数据模块、预测预警模块。

四大功能模块分别担任着不同的功能职责:(1)实时数据模块实现实时时间显示、曲线显示及其维护功能;(2)地磁数据接收模块实现地磁数据查询、地磁数据曲线展示以及内部映射到国家地磁台中心获取并解析地磁数据功能;(3)预测数据模块实现从国家环境预报中心下载 SEPC 数据、实现 AP 数据和 F10.7 指标的显示功能;(4)预测预警模块首先建立 GIC 与地磁数据的数学模型,再利用空间环境预报中心提供的地磁监测数据,进而得到 GIC 与地磁扰动的计算关系。这样就可以结合空间环境研究预报中心提供地磁场扰动预测信息,给出 GIC 的预测值和预警信息,为电网的 GIC 防御提供有价值的参考。这些功能实现了用户层与服务器交互,使得用户层无需安装客户端程序,通过浏览器就可访问建在云服务器监测系统。

2.3 系统的物理架构选择

系统的物理架构选择时所用到的服务器主要由两类服务器构成:公网服务器和内网服务器。公网服务器用于接收 GIC 监测的数据和对外提供数据访问。内网服务器包括数据同步服务器,用于实现电网 GIC 相关数据的存储。云服务器兼备公网与内网服务器,并以其简单高效、安全可靠、处理能力可弹性伸缩著称,并具有动态调配计算资源、容灾性高、易操作、购买与维护成本低等特点^[8]。表 3 是云服务器与传统服务器的性能比较。

表 3 传统服务器与云服务器对比

Table 3 Comparison of traditional servers and cloud servers

traditional server		cloud server
safety	purchase of expensive black hole equipment	effective protection against DDoS attacks
operational	self-supply of your own operating system	built-in operating system
economic	one-time immense investment	on-demand purchase
maintenance	professional and expensive post-maintenance	little maintenance
disaster tolerance	self-repair when there is data corruption	fast and automatic fault recovery
expansibility	lack of flexibility in service environment	rapid business deployment and scale flexibility

本文采用“云+校园”1 核 2G1M 的腾讯云服务器作为载体,部署在云服务器的电网 GIC 监测系统,不仅实现了用户访问简洁,还实现了电网 GIC 监测数据的实时共享。

3 电网 GIC 监测系统的实验室测试

为了测试系统的的可靠性及稳定性,在实验室对监测系统的性能进行长时测试。主要测试内容:数据采集终端的性能测试、基于云服务器的软件平台测试和数据采集终端与服务器的通信测试。

3.1 数据采集终端的性能测试

数据采集终端的测试平台如图 7 所示,图中右下角的开关电源作为产生被采集电流信号的发生源,电源输

出一个 1.255 V 的电压信号送入调理电路,通过 ADC 模块进入微控器,微控器借助串口将采集到的信号通过串口调试助手在电脑显示器上显示。测试结果表明,通过串口传输至电脑上的电压信号与开关电源输出值一致,数据采集终端实现了设计要求。

3.2 基于云服务器的软件平台测试

借助 TCP/UDP 测试工具,完成数据包的发送、接收以及存储,如图 8 所示。服务器先把接收到来自测试工具的数据字节数组封装成 DatagramPacket 类型的数据包,然后把数据包转换成字符串,再对字符串进行符合数据库字段类型的格式化处理,封装成数据库实体,然后调用保存方法保存到数据库,根据用户请求在交互界面进行实时显示。

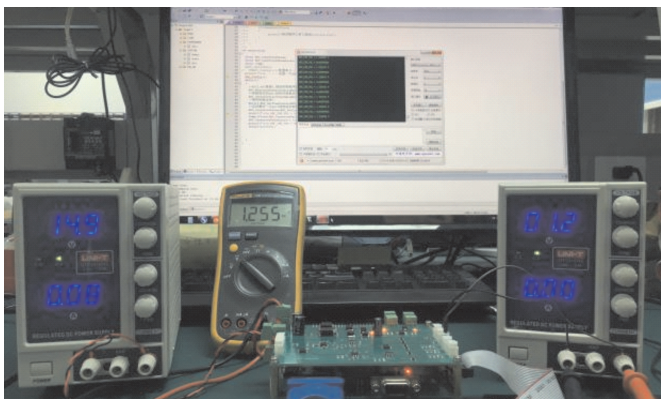


Fig. 7 Data acquisition terminal performance test
图 7 数据采集终端性能测试

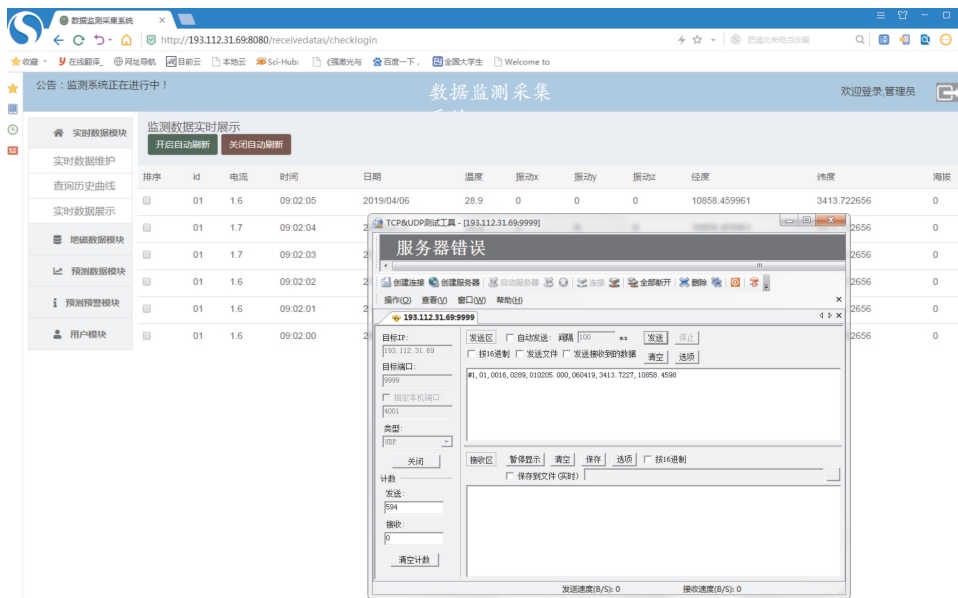


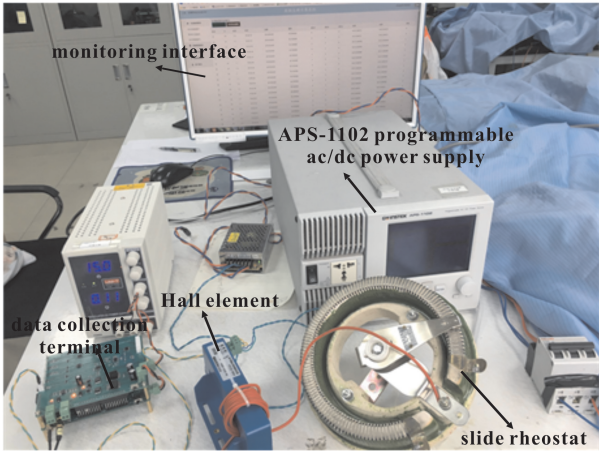
Fig. 8 Server real-time data receiving test
图 8 服务器实时数据接收测试

测试结果显示,通过 TCP/UDP 测试工具完成数据与服务器的传输,并利用前端技术实时显示传输来的数据。验证了服务器接收模块性能的完好性与实时性。

3.3 电网 GIC 监测系统的实验室测试

用 APS-1102 可编程交流/直流电源作为采集信号的给定,利用滑动变阻器将电源电压信号转变为电流信号,该信号经过线圈通过霍尔传感器,霍尔传感器的输出信号经调理电路处理,通过串口将数据交于微处理器,微处理器与云服务器遵循 IEC60870-5-104 规约完成数据交互。数据采集终端与服务器联合调试如图 9 所示。在不同时段测试了多组数据,截取测试结果中某时段的人机交互界面实时数据展示如图 9(b)所示,当电源输出 3.5 V(对应输入电流: $(3.5\text{ V}/5\text{ }\Omega)\times 11=7.7\text{ A}$)直流电压时,服务器远程显示测量值在 7.5 A 上下波动,后续将进一步提高测量精度。调试结果显示,整个系统能够完成实验数据的传输与发布,并通过互联网进行远程实时监测,系统的实时性与可靠性得以验证。

经长时间的实验室测试后,本系统在宁夏甜水河 330 kV 变电站进行了现场测试,图 10(a)为现场布置,霍尔传感器安装在变压器中性点引下线上。图 10(b)为测试结果手机端查询界面,数据采集终端成功地与云端监测平台进行通信并且用户端接收到实时数据。可见该系统实现了变压器中性点电流的监测功能,达到了设计目标。



(a) data acquisition terminal and server joint debugging test bed

id	electricity	time	...	longitude	latitude	altitude
...	...	...	...	...	...	...
01	7.6	10:02:48	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.2	10:02:47	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.7	10:02:46	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.5	10:02:45	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.6	10:02:44	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.7	10:02:43	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.6	10:02:42	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.9	10:02:41	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.6	10:02:40	...	10858.459961	3413.722656	0
01	7.7	10:02:39	...	10858.459961	3413.722656	0
...	...	...	...	...	...	...

(b) part of data display of remote server human-computer interaction interface

Fig. 9 Data acquisition terminal and server joint debugging

图 9 数据采集终端与服务器联合调试



(a) field installation drawing of data acquisition terminal



(b) mobile phone query display part of the data

Fig. 10 Field installation and client display of data acquisition terminal

图 10 数据采集终端现场安装图

4 结 论

本文开发了基于云服务器的地磁感应电流的监测系统,利用霍尔传感器采集变压器中性点的 GIC,采集的数据经前端采集装置的内置 SIM 卡经 GPRS 分端口上传至云服务器内网的数据库进行存储,并在本地的 SD 卡中存储备份保证在发生通讯故障时数据的可靠存储。用户通过云服务器的公网 IP 进行监测系统的访问,发送相应请求指令完成远程监测 GIC 的操作。对数据采集终端、搭建在云服务器的软件平台和两者间的通信进行实验室及现场的测试,验证了系统的完整性和可靠性。在后续工作中,希望将监测系统应用于实际的变电站,获取长期的测量值进行理论分析,并通过更合适的算法实现 GIC 的预测预警。

致 谢 感谢宁夏甜水河 330 kV 变电站的工作人员在测试过程中给予的指导和帮助。

参考文献：

[1] 马晓冰,Ferguson I J,孔祥儒,等.地磁感应电流(GIC)的作用与评估[J].地球物理学报,2005,48(6):1282-1287. (Ma Xiaobing, Ferguson I J, Kong Xiangru, et al. Effects and assessments of geomagnetically induced currents(GIC). Chinese Journal of Geophysics, 2005, 48(6): 1282-1287)

[2] 杨家全,刘瑾,黎联灵,等.中低纬电网 GIC 信号的识别方法[J].云南电网技术,2017,45(3):138-145. (Yang Jiaquan, Liu Jin, Li Lianling, et al. The identification method of the GIC signal in low latitude region. Yunnan Electric Power, 2017, 45(3):138-145)

[3] 刘连光,刘春明,张冰.磁暴对我国特高压电网的影响研究[J].电网技术,2009,33(11):1-5. (Liu Lianguang, Liu Chunming, Zhang Bing.

Effects of geomagnetic storm on UHV power grids in China. *Power System Technology*, 2009, 33(11):1-5)

- [4] 刘连光, 朱溪, 王泽忠, 等. 基于 K 值法的单相四柱式特高压主体变的 GIC-Q 损耗计算[J]. *高电压技术*, 2017, 43(7):2340-2348. (Liu Lian-guang, Zhu Xi, Wang Zezhong, et al. Calculation for reactive power loss of single-phase four limbs UHV main transformer due to geomagnetically induced currents with parameter K. *High Voltage Engineering*, 2017, 43(7):2340-2348)
- [5] 刘连光, 杨培宏, 马成廉, 等. 中性点串接小电阻均摊电网 GICs 的计算方法[J]. *中国电机工程学报*, 2017, 37(11):3108-3117. (Liu Lian-guang, Yang Peihong, Ma Chenglian, et al. Calculation method for allocating averagely GICs of power grid by placing small resistor in neutral-point. *Proceedings of the CSEE*, 2017, 37(11):3108-3117)
- [6] 张英, 饶章权. 基于 GPRS 的变压器直流偏磁电流在线监测系统研究[J]. *广东电力*, 2010, 23(8):54-56. (Zhang Ying, Rao Zhangquan. Study on online monitoring system for DC biasing of transformer based on GPRS. *Guangdong Electric Power*, 2010, 23(8):54-56)
- [7] 曾熙鸿, 李富年, 颜永逸. 基于物联网的地铁隧道断面监测系统的设计[J]. *现代电子技术*, 2018, 41(18):182-186. (Zeng Xihong, Li Funian, Yan Yongyi. Design of cross-section monitoring system based on IOT for subway tunnel. *Modern Electronics Technique*, 2018, 41(18):182-186)
- [8] 石硕. 基于云服务器的铁路测量外业原始数据管理系统[J]. *铁道勘察*, 2018, 3:22-30. (Shi Shuo. Original data management system of railway surveying based on cloud server. *Railway Investigation and Surveying*, 2018, 3:22-30)
- [9] 杜佳良, 丁亚东, 赵俊杰. 基于 STM32 的 AD 采集与 SD 卡数据存储[J]. *电脑知识与技术*, 2016, 12(12):235-237. (Du Jialiang, Ding Yandong, Zhao Junjie. AD acquisition and SD card data storage based on the STM32. *Computer Knowledge and Technology*, 2016, 12(12):235-237)
- [10] 王威, 魏晓娟. 霍尔传感器在地铁电力监控系统中的应用[J]. *通信电源技术*, 2018, 35(11):197-200. (Wang Wei, Wei Xiaojuan. Application of Holzer sensor in metro power monitoring system. *Telecom Power Technology*, 2018, 35(11):197-200)
- [11] 陈永亮. 常用直流电流检测技术研究[J]. *电器与能效管理技术*, 2018, (22):82-86. (Chen Yongliang. Research on common DC current detection technology. *Electrical & Energy Management Technology*, 2018, (22):82-86)
- [12] 刘昊, 李民. 基于 SSM 框架的客户管理系统设计与实现[J]. *软件导刊*, 2017, 16(7):87-89. (Liu Hao, Li Min. Design and implementation of customer management system based on SSM framework. *Software Guide*, 2017, 16(7):87-89)
- [13] 龚梦星, 刘波, 黄天天. 基于 SSM 框架与嵌入式系统的农村应急广播系统设计[J]. *软件*, 2017, 38(5):43-48. (Gong Mengxing, Liu Bo, Huang Tiantian. The design of rural emergency broadcasting system based on SSM framework and embedded system. *Computer Engineering & Software*, 2017, 38(5):43-48)