

基于物联网技术的智能电能监测系统设计

张慧颖¹, 黄南天²

(1 吉林化工学院 信息与控制工程学院, 吉林 吉林 132022;

2 东北电力大学 电气工程学院, 吉林 吉林 132022)

摘 要: 提出了基于物联网和 3G 技术相结合的智能电能监测系统. 采用电能检测专用芯片搭载 Zigbee 无线通信模块设计无线采集节点, 将采集到的电能信息通过 Zigbee 无线网络传输到集中器设备, 借助于 3G 技术实现远程监测. 实验表明该系统可以准确检测电能参数, 并可以进行电能参数的分析管理, 从而实现电能质量的测量. 系统具有实时性好, 智能性高等特点.

关键词: 电能检测; 物联网; 3G; Zigbee

中图分类号: TP273

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2015)10-0137-06

Design of Intelligent Power Monitoring System Based on IOT

ZHANG Hui-ying¹, HUANG Nan-tian²

(1 College of Information and Control Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China;

2 College of Electrical Engineering, Northeast Dianli University, Jilin 132022, China)

Abstract: This paper proposed an intelligent power quality monitoring system based on 3G technology. The system used ATT7758 and Zigbee wireless communication module to design wireless collection node, and making the collected energy information transmitted via Zigbee wireless network to a centralized device, using 3G technology enables remote monitoring. The results shows that the system can accurately detect power parameters and analysis, realizing the power quality measurement, and It is real-time, high intelligence.

Key words: energy detection; IOT; 3G; Zigbee

1 引言

物联网技术是近年兴起的一门技术, 将物联网技术引入电能监测系统中, 将解决传统有线布线带来的弊端. 本文以 Zigbee 为核心, 结合高效的电能检测技术、嵌入式处理技术和 3G 技术设计物联网技术下的电能参数监测系统. 该系统实时性强、稳定性好、易于布线, 为电能监测带来极大方便.

2 监控系统工作原理

智能电网监测系统主要由电能采集模块、Zigbee 无线网络模块、集中器、3G 和监控软件等部分构成. Zigbee 无线网络模块包括协调器节点和路由

节点. 协调器节点完成组网和信息的汇聚等作用, 在系统中, 协调器节点只有一个, 而路由节点的个数按照室内面积安装, 通常情况下, 每个 2530 模块的传输范围为 100 m 左右, 如果提高网络覆盖范围可在 2530 前端放置放大芯片 2591. 路由节点将来自于采集模块的信息传递给协调器, 协调器组建网络并汇聚信息通过串口与 ARM 平台下的集中器进行信息交互, 实现对电能质量的采集及处理. 设计中考虑系统的稳定性, 无线网络采用星型网络拓扑结构^[1].

通过网关模块接入 3G 网络, 可以将 Zigbee 网络收集的各节点采集信息通过 3G 网络发送给远程控制终端, 控制终端可以实时监测用电情况、电网的运行情况, 并可以实现存储、预警等功能. 当然, 控制终

收稿日期: 2014-12-29; 修回日期: 2015-01-20

基金项目: 国家自然科学基金(青年基金)资助项目(51307020)

端也可以发送指令,通过 3G 网络传递给协调器节点,实现对采集终端的控制,从而实现监控中心与监测模块双向通信.本系统可以完成以下三大功能:电能参数的实时计量,可以完成电能相关参数电压、电流、有功功率、无功功率等测量;实现电能质量参数的分析处理完成电能质量的监控;实现监测与计量数据的实时无线传输,并可以在上位机上实现数据的实时显示和分析功能.系统原理框图如图 1 所示.

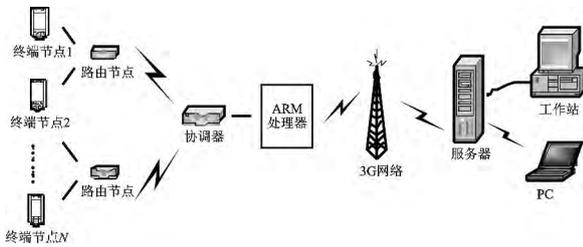


图 1 系统原理框图

3 系统硬件设计

系统的硬件电路主要包括四个部分:电能参数采集部分、Zigbee 无线网络收发部分、嵌入式网关部分和 3G 通信电路部分.电能参数经过由三相多

功能电能计量芯片构成的采集电路采集后,通过 Zigbee 路由节点传送至协调器节点,协调器与嵌入式网关相连,最终经过 3G 模块将采集数据送入监控中心,实现电能质量参数的监控.电源模块为系统各个部分提供能量.

3.1 电能采集电路设计

电能采集电路由多功能电能检测芯片 ADE7878 和 MSP430 单片机组成.由于电网中所涉及的干扰因素很多,对电网动态信息采集时,要求系统具有高的采集速率和准确的采集能力,采用美国 ADI 公司的高精度多功能三相电能计量芯片 ADE7878 进行采集电路设计,该芯片内置 7 路 24 位 2 阶 Σ - Δ ADC,利用 ADC 过采样并集成固定功能的数字信号处理器 DSP,可以实现各相电压、电流有效值、功率因数、频率及各相总有功/无功功率及视在功率的测量和有效值计算,并且提供谐波电能计算及电压畸变、短时低压或高压检测、短时高电流变化、线路电压周期测量以及相位电压与电流之间的角度等测量,该芯片满足系统电能质量检测与电能计量功能需求^[2-3].电能采集电路如图 2 所示.

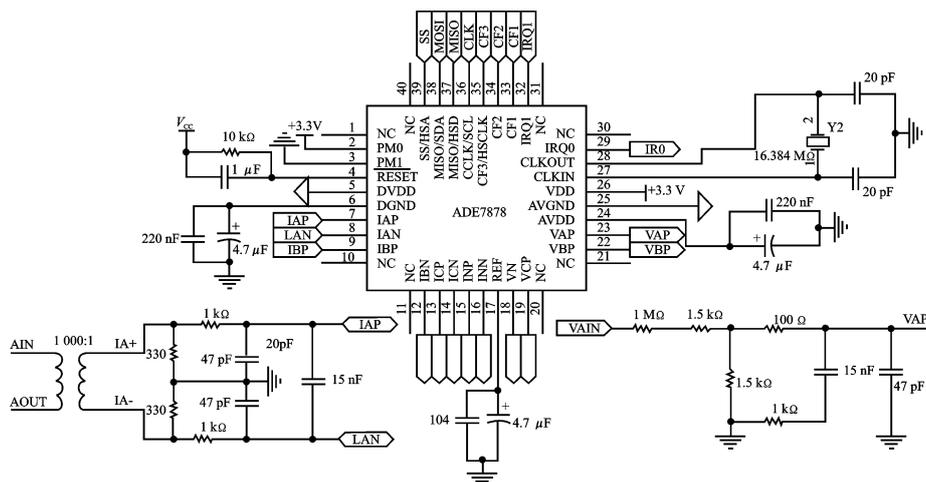


图 2 电能质量采集电路

由于 ADE7878 电压电流测量通道输入电压范围为 ± 0.5 V,因此要对来自于电网的高电压电流信号进行变换和调理,将其变换到合适的电压电流输入范围.设计中,采用变压比是 1 000:1 电流型互感器,将一次侧输入的 1 A 电流转换为 1 mA 电流信号在二次侧输出,在输出二次侧并联 330 Ω 采样电阻 R_2 和 R_3 ,将电流信号转换为电压信号,经过 RC 高频滤波器滤掉高频干扰波;因为 ADE7878 电压测量通道最大可测量峰值 ± 0.5 V 的输入信号,在设计时,采用电阻分压的方式

将电压降到合适的测量范围,不宜设计过大的电压采样信号,会对其他通道的采样信号.

MCU 采用 MSP430F149 单片机,它的处理器时钟可高达 25 MHz,可以快速执行复杂的算法(FFT 或 DFT),保证系统的实时性. ADE7878 提供三种串行通讯口,将 ADE7878 的 I²C 口与 MCU 相连,实现电压参数计量;电压电流实时波形信息获取和相应的谐波分析是通过 HSDC 接口与 MSP430F149 通信实现.为了提高系统的抗干扰能力, ADE7878 与 MSP430 相接时

要采取光耦进行隔离。

3.2 通信电路设计

Zigbee 无线通信电路的搭建是利用美国 TI 公司的 CC2530 模块完成,它是基于 2.4 GHz IEEE 802.15.4 的真正的 SoC 芯片,自带收发射频电路,能建立强大的网络节点;内置 8051 控制器,电路结

构简单通过串口即可实现数据收发。2530 是一款低功耗芯片,有多种工作模式,系统供电采用一颗纽扣电池,可持续 3~5 个月以上。通常情况下,为了增加网络的覆盖能力,在 2530 的射频前端放置 CC2591 信号放大芯片,提高无线网络的信号传输距离。CC2530 的无线通信电路如图 3 所示^[4]。

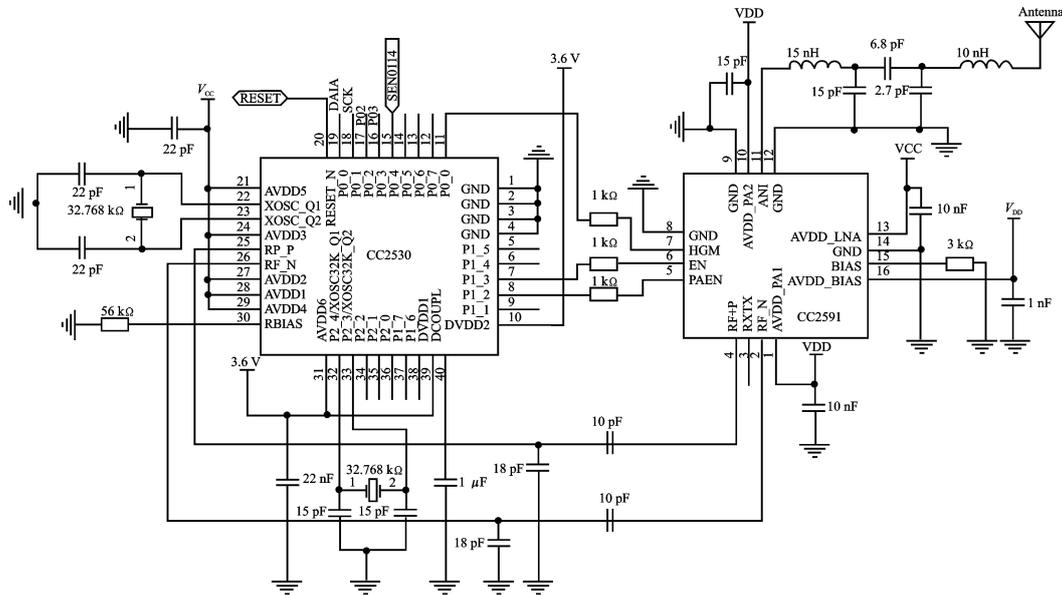


图3 CC2530 通信电路

3.3 ARM 网关电路设计

ARM 网关硬件由 Zigbee 协调器节点、3G 模块及 ARM 控制器组成。网关电路主要完成将来自协调器节点的数据的采集和传输,网关电路平台采取 ARM 处理器的 S3C2440 构建,可以高效地完成系统任务,将数据打包传递给 3G 模块,实现 Zigbee 无线网络和 3G 网络间的数据传输。网关电路设计上配有 GPRS 模块,利于方便通过 GPRS 网络传输数据。S3C2440 构成的网络平台主要负责 ZigBee 协调器与 GPRS 或 3G 网络的信息交互,外部配有存储器、以太网接口、SRAM 模块、LCD 显示等功能模块^[5]。

3.4 3G 电路设计

3G 技术是指支持高速数据传输的蜂窝移动通信技术。系统中,采用 3G 技术进行网络通信。在模块选取上,考虑低功耗、兼容性好等特点,选取华为公司的 EM770W 模块。该模块采用 WCDMA 标准,发射功率小,可以工作在 UMTS、HSUPA /HSD-PA、GSM/GPRS/EDGE 等频段,支持 UMTS 业务、EDGE/GPRS/GSM 业务,内置 TCP/IP 协议栈还支持标准 AT 指令集和华为扩展 AT 指令集。

EM770W 带有一路 USB2.0 接口,可以实现数据高速传输;具有两个 UART 接口, UART1 实现流控制功能,即可以通过 UART1 发送 PPP 拨号、拨打电话和发送短信等 AT 命令,进行数据业务操作^[6]。其硬件电路如图 4 所示。

EM770W 的 UART1 口具有 7 个主要信号,其中, TX 和 RX 是数据的发送与接收端, RI 是振铃提示, RFR 是模块接收准备就绪, DTR 是数据终端就绪标志, CTS 是清除发送端, DCD 是模块的载波检测。S3C2440 通过电平转换后与 3G 模块的 7 个端口相连; EM770W 预留 5 个端口外接 USIM 卡,将 USIM 卡作为账号构建 3G 网络。需要注意的是 USIM 卡越靠近模块通信效果越好。

3.5 其他电路设计

采集终端的数据通过 3G 网络传输到监控中心,系统中采用 485 总线实现中央处理器和 3G 模块之间的通信,通过 MAX485 实现通信接口电路设计。系统中,电源的好坏直接影响到系统的性能。根据系统需要,设计出 3.3 V、5 V 的直流稳压电源,而对 EM770W 供电时,则采用的是开关电源,因为 EM770 的最大瞬态电流可达到 1.6 A。

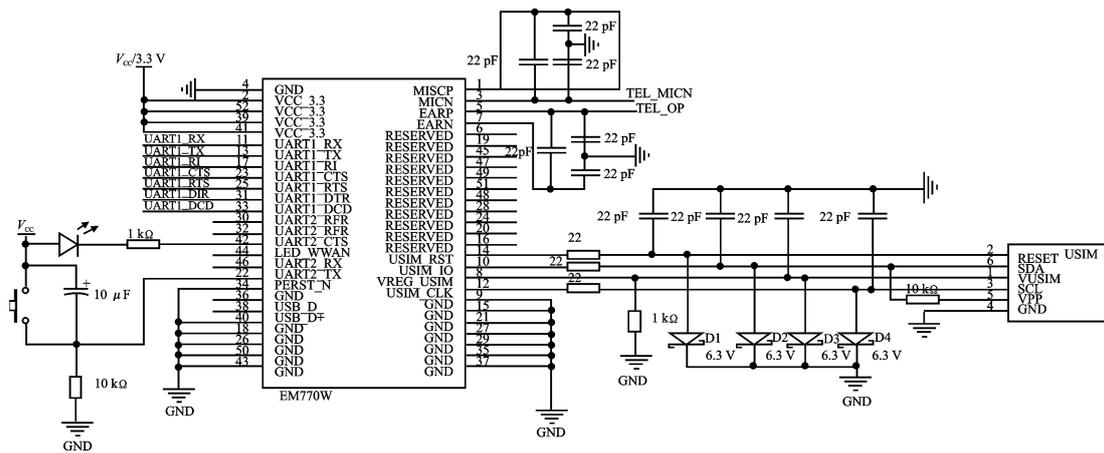


图 4 3G 电路图

4 软件设计

采用模块化思想基于嵌入式 Linux 平台下设计程序。设计时,注意各个模块间数据的传输方式。程序采用 C 语言进行编写;无线数据采集与传输软件采用 CC2530 配套免费的 Z-Stack 协议栈 2007 版本,该协议栈内部自带操作系统,采用唤醒模式进行工作,这样降低了系统的功耗。上位机程序设计采用美国 NI 公司的图形化语言 Labview8.5,该软件功能强大支持 RS232 和 RS485 协议通信,内置电力检测的库函数,而且可以做到监测界面友好简单。

4.1 电能检测流程设计

首先, ADE78788 初始化、初始化引脚配置,当检测到中断后, ADE7878 进入中断服务程序,以 8 kb/s 的速率采集有功、无功的基波电能和电压电流的实时波形数据,将 MCU 的 SPI 接口配置成从模式,与 ADE7878 的 HSDC 接口实现通信,用于获取电压电流的实时波形信息,并采用 DMA 方式将数据传输到缓存,做相应的谐波分析,得到电压电流的谐波含量、畸变率等信息。ADE7878 每 125 μ s 更新一次瞬时值寄存器,设计时对一个基波周期做 160 次采样,在读取完数据后对电压、电流序列进行 DFT 运算,得到近似计算总谐波含量 (THD):

$$\text{THD}_u = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^M U_h^2}}{U_1} \quad \text{和} \quad \text{THD}_i = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^M I_h^2}}{I_1}$$

式中, U_h 、 I_h 为 h 次谐波的均方根值; U_1 、 I_1 为基波的均方根值。

4.2 ZigBee 无线收发程序

ZigBee 无线收发软件部分由终端节点和协调节点软件设计两部分构成,程序在 Z-Stack 构架下

设计^[1]。系统上电,终端节点发送入网申请,当接收到父节点应答后,父节点将分配给它一个网络地址作为身份标识。当终端节点加入网络成功后,接收来自协调节点的采集命令,完成电能信息采集。程序流程图如图 5 所示^[8-9]。路由节点相当于网络集中器,既要完成网络的组建还要为每一帧数据寻找最佳的传输路径,完成数据的收发。考虑到系统的功耗问题,在设计时, ZigBee 无线程序设计采用中断唤醒方式,空闲时处于睡眠模式只进行低功耗信道扫描,为使 Zigbee 网络所找到的是最优路径,且不会因为底层节点转发的信息量过大导致节点过早死亡,本系统采用 Cluster-Tree 改进算法设计路由节点。设计时,引入邻居节点路径表来计算局部最优路径,减少传输数目来减小 Zigbee 网络消耗。改进算法流程是:设源节点 A 、目的节点 B 、源节点深度 D_a 、目的节点深度 D_b 、共同父节点深度 D_x ,通过计算跳数 $L_{\text{step}} = D_a + D_b$ 来寻找局部最优的下一个跳节点;但是需要每一次对邻近节点进行计算,会造成计算量的增加,因此设计算法时设计了排除无效邻居节点来减少节点的计算量。当中继节点在收到数据包后根据邻居表地址,通过贪婪策略计算邻居节点的 $M_{\text{hop}} = L_{\text{step}} + \text{LG}(\text{LG}; \text{Low Energy})$,减少低能量节点转发优先级平衡节点能耗,对最小的 M_{hop} 值的邻居节点转发数据。算法流程如图 6 所示。

4.3 3G 程序设计

EM770W 模块支持标准 AT 指令集,内置 TCP/IP 协议栈,可以通过 PPP 协议拨号上网并可以通过 TCP/IP 协议进行数据传输。在程序设计时,主要由初始化、拨号接入 3G 网络和进行数据无线传输。首先,单片机通过 AT 指令对 EM770W 进行初始化设置,配置好后首先登陆 GGSN 并进行握

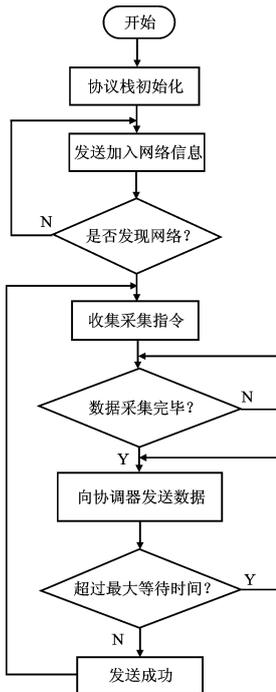


图5 终端软件设计

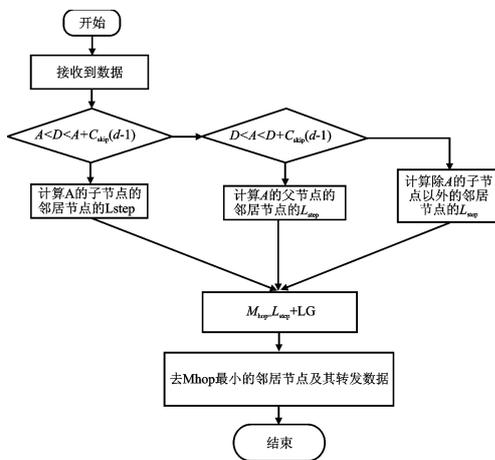


图6 节点软件设计

手、认证和协议配置,等待分配动态IP地址,EM770W接入Internet;当3G模块实现拨号连接后,采集到的数据依次通过打包、封装通过登陆GGSN发送至Internet网络,实现了监测终端和监控中心的数据传输,具体流程如图7所示^[10]。

4.4 监测中心软件设计

监测中心不仅要完成系统的总体功能,而且要做到界面简洁,便于管理人员实时监测。监测中心软件采用美国NI公司的图形化语言Labview8.5进行开发,对采集到的数据传输至监控中心进行处理和分析,并进行存储、修改、记录和查询、异常报警等功能,并可以实时显示监测结果。管理人员可以通过

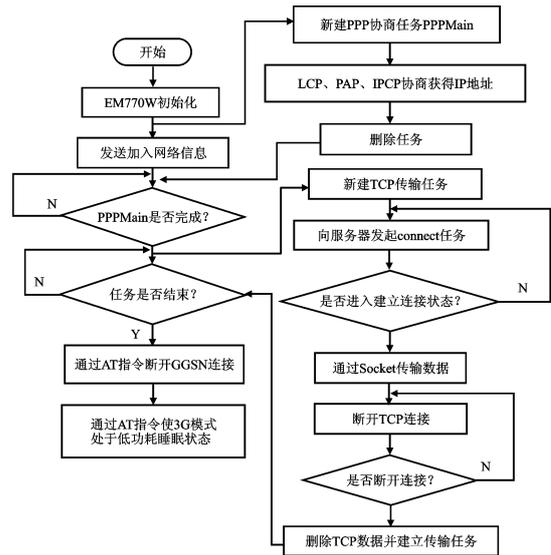


图7 3G流程图

登录监测中心平台查询历史数据和实时电能参数监测。

5 系统测试结果

为验证系统的正确性和可靠性,选取三相电实验设备作为监测对象,为每台设备配备监测终端,在实验室每隔100m的位置上放置路由节点,在路由交汇处放置一个协调节点,进行系统测试;同时,使用高精度功率分析仪作为系统的计量设备。实验中,对电流、电压、有功功率、无功功率等参数进行监测,并对Zigbee构成的无线网络和3G通信网络进行测试,以确保数据传输的正确性。测试数据如表1所示。

表1 电能质量检测表

时间		V/V	I/A	f/Hz	P/kW	Q/Var	S/VA
8:51	A相	225.2	10.10	50.00	2.82	605.7	2 274.5
	B相	239.6	10.50	50.01	2.67	594.8	2 515.8
	C相	228.9	11.35	50.03	2.43	500.2	2 598
11:35	A相	234.2	5.53	50.05	1.68	489.4	1 295.2
	B相	226.5	5.90	50.00	1.53	510.5	1 336.35
	C相	236.7	6.31	50.03	1.71	502.3	1 493.6
15:15	A相	235.1	11.43	50.02	2.57	529.6	2 801.5
	B相	237.6	11.25	50.01	2.85	494.6	2 673
	C相	229.5	11.30	50.01	2.55	457.8	2 593.4

将该系统的测量结果与计量设备测得的结果进行对比,根据误差的计算公式,可以计算出电能质量的误差。根据计算可得,该系统测得的电能参数误差

小于 2%, 监测准确; 对 Zigbee 组成的无线网络进行 1 小时、2 小时和 24 小时测试, 实验测得无线网络能实时接收正确数据包, 正确率高达 99.78%; 对 A 相基波电压的谐波电压畸变率进行 2 次、3 次、10 次测量, 得到电压总畸变率 95% 概率为 3.85; 对三相不平衡度进行测量得到, 最大值为 3.42%, 最小值为 0.52%, 95% 概率为 2.01; 分别对 A 相、B 相和 C 相进行短时闪变和长时闪变测量, 结果符合国际标准, 综合电能质量情况良好, 认定为合格。

6 结束语

本文设计了一种基于物联网技术的电网电能监测系统。该系统采用多功能电能计量芯片 ADE7878 为核心, 对电能参数进行计量并可实现电网质量参数的测量; 结合承载 ZigBee 技术的无线通信模块 CC2530 构建无线网络; 以 ARM 嵌入式单片机作为平台结合 3G 模块构成系统的网络层, 实现采集数据无线传输。实验结果表明, 该系统可以实现电能参数的计量与统计, 并可以完成电能质量参数的检测, 而且可以实时监测电网的运行情况。该系统具有稳定的数据传输功能, 并且传输准确、误码率低, 克服了传统有线布线的困难; 测量准确、精度高, 具有很好的应用价值。

参考文献:

- [1] 姚亚洲, 吴栋, 韩冰. 基于 ZigBee 技术的电能检测系统设计[J]. 南京师大学报: 自然科学版, 2013, 36(2):

39-42.

- [2] 马芸芸. 基于 ARM 和 ADE7878 的多功能电力监测装置[D]. 南京: 南京理工大学, 2012.
- [3] 胡志刚, 许凯, 崔永峰, 等. 电能计量芯片 ADE7878 在智能表中的应用[J]. 电测与仪表, 2010, 47(7A): 128-131.
- [4] 马丽萍, 张卫国. 基于 ZigBee 的电能质量监测系统的研究与设计[J]. 电源技术, 2012, 36(8): 1192-1195.
- [5] 赵琳, 杨利, 杨乃权. 基于虚拟仪器的电能质量检测系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2013(4): 55-57.
- [6] 朱伟立, 田曙光, 张伟, 等. 3G 通信电能质量监测系统的应用[J]. 浙江电力, 2013(3): 69-73.
- [7] 张宗华. 电能质量监测系统设计[J]. 工矿自动化, 2013, 39(2): 111-114.
- [8] 王建强, 许鹏, 谢正光, 等. 无线燃气表抄表系统的集中器设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(5): 1624-1629.
- [9] 司亚超, 于江利, 吕国. 基于 ZigBee 技术的智能电网监测系统的研究和分析[J]. 电源技术, 2014, 138(4): 783-784.
- [10] 杨攀, 曾成, 伍萍辉. 基于 3G 的智能电表网络接入方案[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(1): 212-214.

作者简介:

张慧颖 女, (1982-), 博士研究生. 研究方向为检测技术及自动化、物联网及无线通信技术等研究.

E-mail: yingzi1313@163.com.

黄南天 男, (1981-), 博士, 副教授. 研究方向为电能参数检测及畸变.

(上接第 136 页)

- [3] Chandra A, Chakrabarty K. System-on-a-chip test-data compression and decompression architectures based on Golomb codes[J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2001, 20(3): 355-368.
- [4] Chandra A, Chakrabarty K. Frequency-directed run-length(FDR) codes with application to system-on-a-chip test data compression[C]// Proceedings of 19th IEEE VLSI Test Symposium, Marina Del Rey, CA: IEEE, 2001: 42-47.
- [5] El maleh A H. Test data compression for system-on-chip using extended frequency-directed run-length code [J]. IET Computer Digital Technology, 2008, 2(3): 155-163.
- [6] Gonciari P T, Al-Hashimi B M. Variable-length input

Huffman coding for system-on-a-chip test[J]. IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 2003, 22(6): 783-796.

- [7] Hamzaoglu I, Patel J. Test set compaction algorithms for combinational circuits[C]// Proceedings of IEEE International Conference on Computer-Aided Design, San Jose CA USA: IEEE, 1998, 27(4): 283-289.
- [8] 马会, 邝继顺, 马伟. 基于一位标识的测试向量混合编码压缩方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013: 312-318.

作者简介:

颜学龙 男, (1962-), 博士, 教授. 研究方向为集成电路测试、可测性设计等. E-mail: xiongjiechaode@163.com.

熊杰超 男, (1987-), 硕士研究生. 研究方向为集成电路可测性设计研究.