

一种多目标 RFID 电能标签采集终端的改进与实现

鲁 然¹, 徐永进¹, 黄小琼¹, 宋 磊¹, 江 岚¹, 武占河², 石金保²

(1. 国网浙江省电力有限公司营销服务中心, 杭州 311100;

2. 华立科技股份有限公司, 杭州 310023)

摘要: 针对当前电能采集终端 RFID(射频识别)标签数据的碰撞概率高、无法实现多个采集目标同时溯源, 导致获取的电力数据不准确全面、数据采集耗时长、效率低的问题, 提出一种基于 RFID 技术的多目标电能标签采集技术。通过构建分布式溯源相关标签, 形成稳定的逻辑关系, 采用两级放大结构优化射频收发电路, 使 RFID 读写器能够同时识别多个 RFID 标签, 实现多个采集目标同时溯源。采用分支标签数量自适应获取搜索叉数, 选用曼彻斯特编码规则读取全部碰撞位信息, 设计自适应多叉树算法, 实现多目标标签防碰撞功能。实验结果表明, 改进后的电路和方法, 对多标签电力数据采集成功率高、灵敏度优, 且采集速度快, 具有较好的应用性。

关键词: RFID 技术; 采集终端; 射频收发电路优化; 溯源技术

文章编号: 1007-1881(2020)08-0069-07

DOI: 10.19585/j.zjdl.202008011

中图分类号: TM933.4

文献标志码: B

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Improvement and Implementation of a Multi-target RFID Power Tag Acquisition Terminal

LU Ran¹, XU Yongjin¹, HUANG Xiaoqiong¹, SONG Lei¹, JIANG Lan¹, WU Zhanhe², SHI Jinbao²

(1. State Grid Zhejiang Electric Power Marketing Service Center, Hangzhou 311100, China;

2. Holley Technology Co., Ltd., Hangzhou 310023, China)

Abstract: Given high collision rate of RFID (radio frequency identification) tag data in current electric energy acquisition terminal and the failure of simultaneous traceability of multiple acquisition targets that lead to inaccuracy and incomprehensiveness of electric data, long time data collection process and inefficiency, a multi-target electric energy tag acquisition technology based on the improved RFID RF transceiver circuit is proposed. The distributed traceability tags are constructed to form a stable logical relationship, and the two-stage amplification structure is adopted to optimize the RF transceiver circuit so that the RFID reader can simultaneously identify multiple RFID tags and realize the traceability of multiple acquisition targets. The number of branch tags is used to adaptively obtain the number of search forks, the Manchester coding rules are used to read all the collision bit information, and the adaptive multi-tree algorithm is designed to realize the multi-target tag anti-collision function. The experimental results show that the improved circuit and method have a high success rate, excellent sensitivity and fast acquisition speed for multi-tag power data collection as well as high applicability.

Keywords: RFID technology; acquisition terminal; RF transceiver circuit optimization; traceability technology

0 引言

电力系统中的电能采集终端设备, 用于采集区域电能表信息, 采集终端正常运行是保障电力

用户信息顺利采集的前提, 因此准确掌握采集终端的技术指标、适应环境类型、机械性能等信息, 合理维护与使用采集终端设备是十分关键的^[1]。为解决数据采集成功率低、采集灵敏度差的问题, 电能终端数据采集方法成为相关学者当前的重点研究课题。

基金项目: 国网浙江省电力有限公司科技项目(5211DS170017)

目前, 已有学者对电能终端数据采集方法开

展研究。文献[2]提出基于RFID(射频识别)技术的智能电能表全寿命管理系统,引用RFID技术实现智能电能表检测、抄读等功能,并搭建云平台管理系统,完成电能终端的数据采集和数据管理。该方法能够轻松实现数据的采集、管理及分析等功能,但未考虑多电能终端存在的情况,难以实现多目标同时采集,且成功率较低。文献[3]提出基于RFID数据终端的电力设备巡检系统,采用RFID标签识读技术采集数据,完成了手持式电力设备运行巡检管理终端设计。该系统硬件部分轻便灵活、携带方便,采集信息准确可靠,便于管理,但该方法标签数据的碰撞概率较高,导致灵敏度较低。

根据上述分析,多电能终端数据的同时采集和避免标签数据碰撞是当前电能终端数据采集方法急需解决的问题,因此提出基于RFID射频收发电路优化的采集终端全寿命溯源技术。电能采集终端全寿命溯源技术是一种监管电能采集设备的科技化手段,是未来电能设备信息监督与管理的主流方向。RFID技术是一种自动识别对象信息的新型数据通信技术。优化射频收发电路,实现对多个采集目标的同时溯源^[4-5],为电能采集终端设置多个RFID标签,内容包括技术指标、机械性能、适应环境、功能要求、电气性能等,并将标签编码,是实现相关应用的关键。但是,避免标签碰撞是核心问题,只有避免多目标碰撞,才能保证用户通过溯源服务端即可查询电能采集终端的全寿命使用信息。

1 RFID射频多标签收发电路改进设计

1.1 多目标标签的逻辑关系设计

设计基于RFID射频收发电路优化中,多标签选取是核心问题,选取的标签以及各个标签的计算关系,如图1所示。

首先借鉴分布式系统的框架构成,构建分布式溯源数据库指标标签,包含服务器、数据模块以及网络硬件设施等;溯源数据库下设溯源数据交换服务单元、使用过程监管单元以及公众溯源服务单元等相关标签信息^[6];在溯源数据交换服务中设置SaaS(软件服务化)平台实现私有化系统接入功能。电能采集终端全寿命溯源技术后期可融合物联网技术,结合多标签的优势,整合电

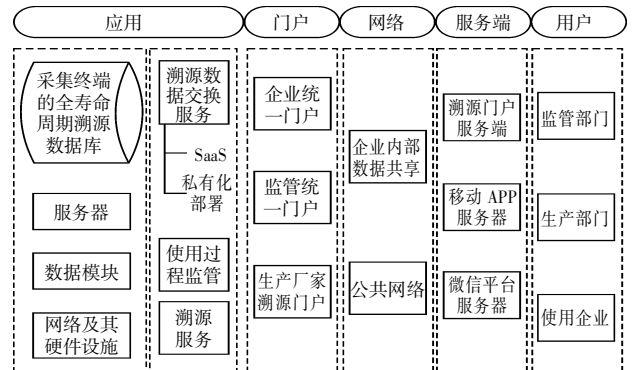


图1 多标签的逻辑关系

能采集终端使用的标签数据信息,支持溯源门户服务端、移动APP服务端等多类型终端服务^[7],向监管部门、生产部门以及使用企业提供全面、可靠的电能采集终端全寿命溯源信息,相关标签信息形成较为稳定的逻辑关系。

1.2 多标签RFID读写器射频收发电路优化设计

由上文可知,在多标签信息采集中,RFID读写器是溯源系统中的核心部分,其原理是通过无线射频识别信号获取溯源目标的相关数据,可实现高速运动物体的溯源识别。本文通过对射频收发电路的优化,使RFID读写器可以同时识别多个RFID标签,实现多个电能用户端的实时、自动溯源。

1.2.1 多标签读写器与电子标签的通信逻辑结构设计

多标签电子标签与读写器是RFID技术溯源电能采集终端信息的主要构成,二者通过网络连接实现数据通信,通信逻辑关系如图2所示。

读写器读取电子标签内容时,首先向电子标签发射一定频率的无线电波能量,电子标签接触发射天线生成感应电流激发能量^[8]。然后电子标签经内部发射天线将数据编码传输至外部,即向系统天线发射载波信号,读写器接收载波信号后解调,得到电能采集终端的信息数据^[9]。最后读写器将数据传递至RFID终端程序读取并处理。因此,从图2可以看出,如果要实现多标签读取,射频收发电路是关键。

1.2.2 多标签射频收发电路改进设计

为实现多个采集目标同时溯源,对RFID读

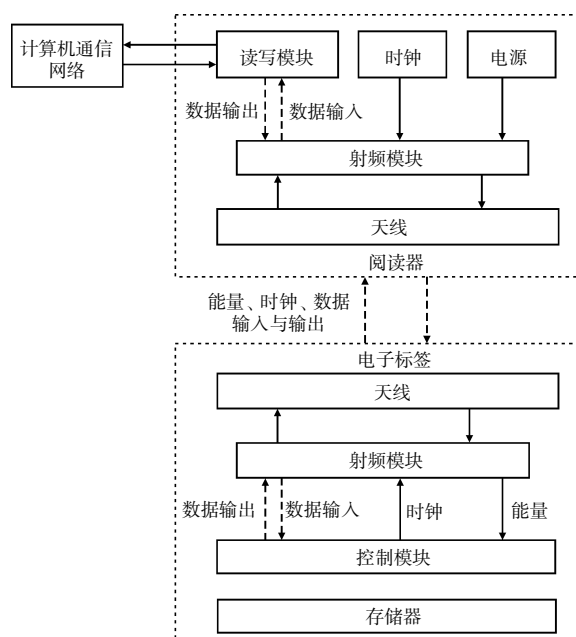


图2 RFID技术通信逻辑结构

写器的射频收发电路进行优化设计。读写器必须持续对电子标签供电才符合 EPC C1 Gen2 的协议要求,在设计读写器射频电路时,需要2片 CC1100 芯片,分别负责数据发送与接收^[10]。为持续向电子标签供电,接收数据与发送数据采用同一根天线。

滤波电路向两级放大电路输送信号,信号被放大后传输至天线。CC1100 芯片发射功率上限不符合协议标准,所以增设外部功放功能,实现方式为:为射频收发电路设置两级放大结构,前级功放采用放大倍数恒定、工作频率为 1 100 MHz~2.8 GHz 的线性放大器,型号为 AD8353,若要得到 20 dB 的增益,相应的运行频率需在 900 MHz 频段;后级功放通过 MAAP-007649-000100 功放器件实现最大线性输出功率为 2 W 的目标,器件增益达到 19 dB,器件的工作频率区间为 820 MHz~1 000 MHz。图3是工作频率为 915 MHz 时 CC1100 芯片射频收发电路图。

如图3所示,通过电路中的两级放大结构,能够使 RFID 读写器同时采集多个终端的电力数据,实现多个采集目标同时溯源。

1.3 多 RFID 标签防撞算法设计

1.3.1 电子射频标签编码编写

电能采集终端从投入使用时便安装 RFID 溯

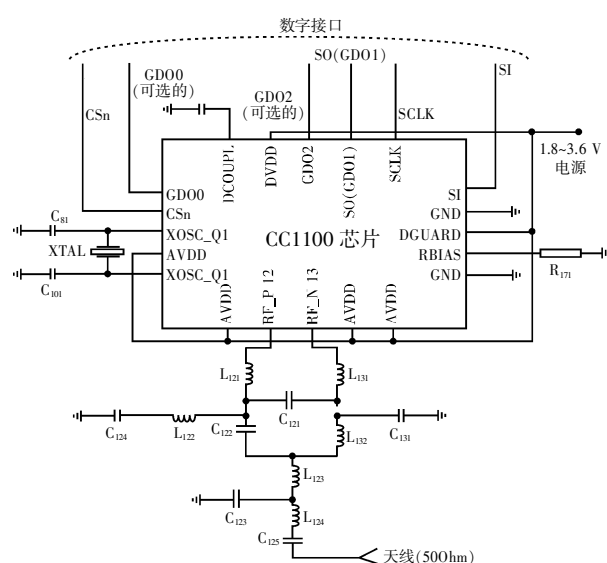


图3 CC1100 芯片射频收发电路图

源标签,在使用的各个阶段不断写入相关信息,可追溯采集终端的全寿命信息。采集终端的监管者以及相关管理人员可根据要求查询 RFID 标签信息,全面掌握采集终端的使用年限等信息^[11]。此次设计的专变采集终端、RFID 电子标签编码为 10 进制,共计 20 位,编码内容如下:采集终端的技术指标为标签编码的 1-6 位,功能要求、电气性能分别体现在编码的 7-8 位、9-10 位;11-14 位、15-18 位编码分别表示采集终端的机械性能与质量管理,采集终端的产品则采用编码的后两位表示。

1.3.2 RFID 碰撞成因分析

RFID 多标签信号识别与处理可通过防撞技术实现,是 RFID 技术的重要功能。标签识别具有全球信息唯一性,读取和识别标签的唯一信息是 RFID 技术完成电能采集终端溯源的最终目标,由此分析附带标签的采集终端的信息与身份,对应处理其数据^[12]。射频区存在单个标签与多个标签的读写处理方式有所差异,直接读写只适用于射频区存在一个标签的情况;当射频区存在多个标签时容易发生数据碰撞,即多个标签均会应答读写器发出的信号,彼此干扰,导致读写器读写失败。

1.3.3 防撞算法设计

采集终端使用寿命较长、包含信息类型广、数据规模大,所以采集终端的全寿命溯源应采用

多个电子标签,并具备防碰撞功能^[13]。为此设计自适应多叉树防碰撞算法实现电能采集终端的防碰撞。算法高效率运行的前提是可基于分支标签数量自适应获取搜索叉数。采集终端的RFID系统应用曼彻斯特编码便于读取全部碰撞位信息^[14-21]。多叉树算法实现数据防碰撞过程中并不是全部碰撞信息都被利用,如:二叉树搜索算法只使用第一位碰撞位信息,四叉树算法只使用前两位碰撞位信息。碰撞位数与标签数量成正比,碰撞位占全部比特位概率随标签数量的增加而增大。基于上述分析定义碰撞因子,最大化利用碰撞位信息。

碰撞因子如式(1)所示,即碰撞比特与标签响应比特位的比值:

$$\lambda = \frac{n_c}{n}, \quad (1)$$

式中: λ 为碰撞因子; n_c 为时隙内碰撞比特; n 为标签响应比特位。

待识别标签数据即为碰撞因子内容。定义传统中符合查询标准的待识别标签数量为 N ,标签响应长度为 n 比特,随机比特有 $\left(\frac{1}{2}\right)^{N-1}$ 可能不产生碰撞,所以得到:

$$\lambda = \frac{n \left[1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{N-1} \right]}{n} = 1 - \left(\frac{1}{2} \right)^{N-1}. \quad (2)$$

由公式(2)可知,标签数量与碰撞因子成正比,标签数量增加或减少时,碰撞因子随之升高或降低,证明带识别标签数量信息包含在碰撞因子内。

若存在 N 个待识别标签,标签识别概率 $v(1) = (1-1/B)^{N-1}$ 时的系统叉数是 B 、搜索深度是 1 ;识别概率为 $v(k) = [1-v(1)]^{k-1}$ 时的搜索深度是 k 。此时需搜索的平均深度为:

$$E(k) = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot v(k) = \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot v(1) [1-v(1)]^{k-1}. \quad (3)$$

为上述公式两侧添加乘数 $1-v(1)$,得到:

$$[1-v(1)]E(k) = v(1) \sum_{k=1}^{\infty} k [1-v(1)]^{k-1}. \quad (4)$$

公式(3)与公式(4)的差为:

$$R = \frac{k}{1-v(1)}. \quad (5)$$

由于 $1-v(1) < 1$,基于等比数列得到求和方法

为:

$$P(k) = \frac{1}{v} = \frac{1}{\left(1 - \frac{1}{B}\right)^{R-1}}. \quad (6)$$

所需时隙数均值为:

$$T = P(k)B = \frac{B}{\left(1 - \frac{1}{B}\right)^{N-1}}. \quad (7)$$

二叉树、四叉树、八叉树搜索所需的时隙数均值,分别用 T_2, T_4, T_8 表示:

$$T_2 = 2 / \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{N-1}, \quad (8)$$

$$T_4 = 4 / \left(1 - \frac{1}{4}\right)^{N-1}, \quad (9)$$

$$T_8 = 8 / \left(1 - \frac{1}{8}\right)^{N-1}. \quad (10)$$

由式(8)~(10)可知:仅对比二叉树与四叉树,若 $N > 3$,四叉树优于二叉树;仅对比四叉树与八叉树,若 $N \geq 5$,八叉树优于四叉树,结合式(2)选取碰撞因子为:

$$\lambda_1 = 1 - \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{3-1} = 0.75, \quad (11)$$

$$\lambda_2 = 1 - \left(1 - \frac{1}{2}\right)^{5-1} = 0.9375. \quad (12)$$

2 技术测试

2.1 测试平台构建

测试在某电力公司展开,选取该电力公司的20个电能采集终端及其电子射频标签作为测试对象,采集标签样本待使用。电能采集终端溯源测试平台的数据库服务器为Microsoft SQL Server 2016,采用C#编程语言研发本文提出的溯源技术。电能标签采集终端测试流程如图4所示。

在PC机中运行溯源后台服务程序,测试采用的PC机以及相关硬件设施信息如表1所示。

2.2 RFID标签的防碰撞技术测试

测试本文设计RFID标签的防碰撞功能,基于20个电能采集终端RFID标签样本测试防碰撞算法的运行性能。采用文献[2]、文献[3]方法作为对比,对比3个方法的碰撞概率、时隙数情况,验证电力数据采集灵敏度,结果如表2与表3所示。

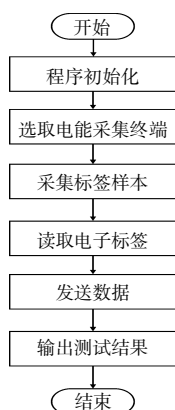


图4 电能标签采集终端测试流程

表1 测试硬件设施配置

硬件设施	信息
RFID 读写器	基于 CC1100 的射频读写器
Java 虚拟机	Sun JDK 1.5.09
Web 服务器	Tomcat 6.0
操作系统	Windows XP
内存	1.5 GB
CPU	2.2 GHz

表2 碰撞概率对比

标签数量/个	文献[3]方法	文献[2]方法	本文算法
4	0.25	0.26	0.18
8	0.29	0.25	0.19
12	0.35	0.31	0.21
16	0.39	0.36	0.25
20	0.44	0.37	0.28

表3 时隙数对比

标签数量/个	文献[3]方法	文献[2]方法	本文算法
4	1 254	1 321	1 020
8	1 687	1 784	1 524
12	2 014	2 154	1 863
16	2 598	2 659	2 216
20	3 067	3 215	2 468

表2与表3数据显示,采集终端的标签数量不断提升,防碰撞算法的碰撞概率与时隙数也随之增加,文献[3]方法的平均碰撞概率为34.4%,文献[2]方法的平均碰撞概率为31%,而本文方法的平均碰撞概率为22.2%。由此可知,文献[3]方法的碰撞概率最高,文献[2]方法的碰撞概率次之,而本文设计的防碰撞算法的碰撞概率最低,说明算法增加自适应环节后显著减少了多个标签数据

的碰撞,降低了标签数据读取与写入的干扰,提高了电力数据采集的灵敏度,用户可获取准确、全面的电能采集终端全寿命信息。同时,随着采集终端的标签数量不断增加,文献[3]方法的平均时隙数为2 124,文献[2]方法的平均时隙数为2 227,而本文方法的平均时隙数为1 818。由此可知,文献[2]方法时隙数最高,文献[3]方法时隙数次之,而本文设计算法的时隙数最低,说明算法采用两级放大结构优化射频收发电路,使RFID读写器同时识别多个RFID标签,实现多个采集目标同时溯源。本文采用的自适应多叉树防碰撞算法提升了时隙利用率,改善了RFID射频标签数据防碰撞效果。

2.3 采集速度分析

设置1 000个电能采集终端,分别采用文献[2]方法、文献[3]方法和本文方法测试采集速度。读取过程中RFID读写器的载波信号如图5所示。

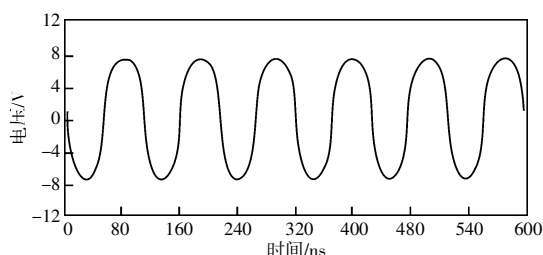


图5 RFID读写器的载波信号

测试3种方法同时采集1 000个电能采集终端数据的速度,结果见图6。

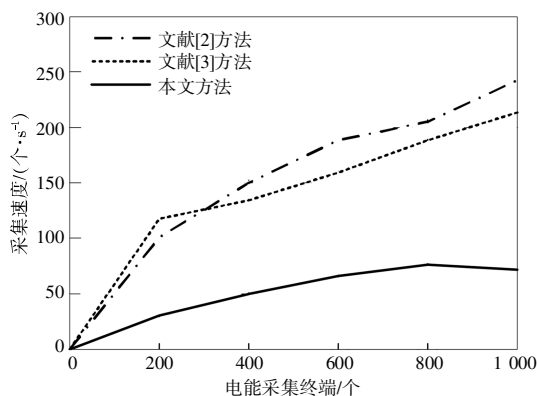


图6 3种方法的采集速度对比

通过图6能够看出,文献[2]和文献[3]方法的采集速度随着电能采集终端个数的增加而大幅增

加,当采集终端个数达到1 000个时,文献[2]和文献[3]方法的采集速度分别为240个/s和215个/s。而本文方法的采集速度较为平稳,不会随着采集终端个数的增加而产生明显的波动,采集终端为1 000个/s时,本文方法的采集速度为75个/s。

2.4 电力数据采集成功率分析

在此基础上,分别采用文献[2]方法、文献[3]方法和本文方法测试1 000个电能采集终端数据的成功率,其对比结果如图7所示。

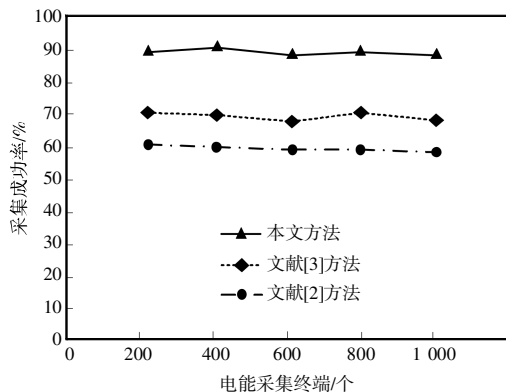


图7 3种方法的采集成功率对比

分析图7可知,当电能采集终端数据由200个增加到1 000个时,文献[2]方法的平均采集成功率为59%,文献[3]方法的平均采集成功率为69%,而本文方法的平均采集成功率为90%。由此可知,本文方法能够对多个电能用户端自动溯源,有效提高多标签电能采集终端数据的成功率。

根据上述实验结果能够得出,采用本文方法的电能采集终端数据采集成功率较高、碰撞概率较低,能够有效提高电力数据采集的灵敏度,且采集速度较快,应用本文方法能够获取准确全面的电力数据,且数据采集耗时较短,效率较高。

3 结语

本文将RFID射频收发电路优化技术应用在电能采集终端全寿命溯源中,向用户提供一种可查询、可追溯采集终端使用信息的有效方式。本文构建的电能采集终端主要包括读写器、电子射频标签、溯源服务端三部分,通过优化读写器射频收发电路完成多目标溯源,向电子标签发射特殊信号,标签响应后输出采集终端的相关信息传递至溯源服务端。用户读取电能采集终端的技术

指标、机械性能、功能要求等信息,便于实时掌握电能采集终端全寿命使用情况,为电能采集终端日常维护工作提供依据。实验结果表明该方法能够同时采集多终端数据,且碰撞概率较低,具有一定的实际应用性。

目前,本文研究的电能采集终端溯源技术仍存在一些不足之处,在射频标签数据处理、服务端构建等方面仍需完善。以RFID技术为指导的电能采集终端溯源技术正在构建一个集跟踪、查询、维修等功能为一体的完整技术体系,最终可实现电能采集设备溯源的制度化与规范化。

参考文献:

- [1] 吴琼,杜博,苏全志,等.基于超高频RFID的手持抄表终端的设计[J].电测与仪表,2018,55(9):108-112.
- [2] 陈福胜,杨茂涛,刘谋海,等.基于RFID技术的智能电能表全寿命管理系统[J].湖南电力,2019,39(1):26-30.
- [3] 洪文鹏,刘霞.基于RFID数据终端的电力设备巡检系统[J].东北电力技术,2005,26(1):36-37.
- [4] 邢美,金国良,张国伟,等.基于Web的农产品质量检测与溯源系统的设计[J].安徽农业大学学报,2016,43(3):499-502.
- [5] GNONI M G, LETTERA G, ROLLO A. A feasibility study of a RFID traceability system in municipal solid waste management[J]. International Journal of Information Technology & Management, 2017, 12(13):27-38.
- [6] 张松,洪涛,盛泉根.基于PCB RFID抗金属标签的互感器制造追溯系统[J].电子技术应用,2017,43(5):82-85.
- [7] 刘芳,薛莲.农产品产业链安全溯源体系设计与实现[J].江苏农业科学,2017,45(8):206-209.
- [8] 郭凤鸣,李兵,邓芳明.适用无源射频识别标签的集成压力传感器设计[J].电子器件,2016,39(4):796-800.
- [9] 杨亚,石春琦,张润曦.一种符合多种协议要求的UHF RFID阅读器发射机[J].微电子学,2018,48(1):76-81.
- [10] 宋岚,薛锦云,胡启敏,等.无线射频RFID识别协议自动验证方法研究[J].计算机科学,2017,44(9):99-104.
- [11] 南敬昌,包晓伟,郭映言.基于低频触发的高精度RFID定位系统的设计与实现[J].工程设计学报,2017,24(2):225-231.
- [12] 王峰,杨金禄,赵振昊,等.一种避免网络间数据碰撞的新型RFID阅读器设计[J].航天器工程,2017,26(5):57-64.
- [13] 郭振军,孙应飞.基于标签分组的RFID系统防碰撞算法[J].电子与信息学报,2017,39(1):250-254.
- [14] 刘奎,张玉,唐波.基于曼彻斯特编码特性的二次雷达混扰信号分选[J].探测与控制学报,2017,39(1):20-25.

- [15] 舒平平,王小军,赵噶,等.基于 FPGA 的曼彻斯特编码 DSG 的设计与实现[J].实验科学与技术,2012,10(4):6-8.
- [16] 刘兴奇.电能计量现场作业交互设备设计[J].电器与能效管理技术,2019(23):34-38.
- [17] 张可心.物联网技术在电网资产全寿命业务融合与信息贯通中的应用与实践[J].电网与清洁能源,2018,34(7):45-50.
- [18] 吴元君.高校智能 RFID 集成系统的应用研究[J].浙江水利水电学院学报,2018,30(3):76-79.
- [19] 汪兴.面向智能电网建设的电力物联网架构研究[J].电力大数据,2018,21(10):28-31.
- [20] 张秋雁,岑远洪,安静,等.基于用电大数据的用电异常状态辨识方法[J].电力大数据,2019,22(5):41-48.
- [21] 刘军,陈实.面向电网智能管控的电力信息系统研究[J].电力大数据,2018,21(9):67-70.

收稿日期: 2020-04-29

作者简介: 鲁 然(1989),男,工程师,从事计量检测技术研究。

(本文编辑: 童 凯)