

# 基于物联网的气象观测站电量在线检测方法

徐建鹏<sup>1</sup> 王东旭<sup>2</sup> 周鹿扬<sup>1</sup> 王杰<sup>1</sup>

(1 安徽省农村综合经济信息中心, 合肥 230061; 2 安徽斯玛特物联网有限公司, 合肥 230061)

**摘要** 针对目前气象观测设备中蓄电池电量的在线检测装置几乎空白的现象, 综合运用蓄电池的交流注入法检测、物联网等技术, 电池两端注入交流横流信号, 通过蓄电池的相位角和内阻计算蓄电池电量, 在实际应用中对检测流程进行了实验和改进, 增加了 Kalman 滤波降低干扰, 实现了蓄电池电量的可靠直接在线测量。并根据此方法给出了硬件电路的具体实现, 在实际业务中进行了应用, 具有较高的可操作性、准确性、一致性。

**关键词** 电量在线检测; 注入法检测技术; 物联网电量检测

**中图分类号:** P412 **DOI:** 10.19517/j.1671-6345.20200276 **文献标识码:** A

## 引言

目前野外的气象自动观测站, 绝大部分采用太阳能供电, 受制于蓄电池容量, 在长时间光照不足的天气条件下, 蓄电池的续航能力严重不足, 需要采取人工巡查定期更换蓄电池, 极大增加了维护成本。本文提出了一种改进的交流注入法, 测量电池内阻, 并增加 Kalman 滤波降低干扰, 实现了蓄电池电量的在线实时监测, 维护人员能够实施掌握蓄电池电量情况, 为野外气象自动观测站的维护提供了技术支持<sup>[1]</sup>。

电池内阻是反应蓄电池容量的关键因子, 通常内阻是随着电池使用时间的增加而增大<sup>[2]</sup>。测量电池内阻的方法较多, 常用的有直流放电法和交流注入法<sup>[3]</sup>。直流放电法需人工干预, 让电池处在大电流放电状态, 进行离线测试, 不适用于野外气象自动观测站。交流注入法通常向蓄电池注入几 kHz 到几十 kHz 的恒流信号, 采集电池两端的电压降, 计算出电池内阻。

交流注入法因电流小、信号频率低, 容易受到外界干扰, 大部分方案采用 AD630 锁相放大方案, 成本较高。本文采用改进的交流注入法<sup>[4]</sup>, 通过 DDS 合成技术, 利用单片机产生正弦信号, 结合单片机的 ADC 模块采集数据, 经过傅里叶变换获取频域信息

变化, 获取蓄电池内阻, 最后通过增加 Kalman 滤波降低干扰, 提高了数据的准确性和一致性。

## 1 电量在线监测原理

蓄电池的内阻与电荷强度之间有较高的相关性, 通过测量电池内阻可较准确地预测剩余电量。蓄电池等效内阻如图 1 所示。

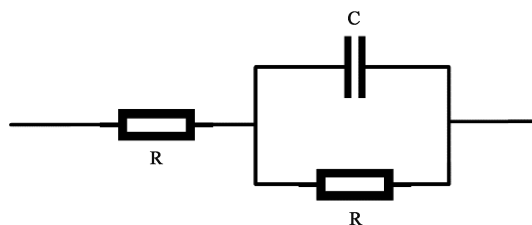


图 1 蓄电池内阻示意

等效内阻计算公式如下:

$$R_s = |Z_s| \cos\varphi \quad (1)$$

其中,  $R_s$  为蓄电池内阻,  $Z_s$  为交流阻抗,  $\varphi$  为注入蓄电池的交流电流和其两端响应电压信号的相位角<sup>[5]</sup>。

利用线性器件在工作电流频率较低时电阻为常数的特性, 将其作为标准电阻, 被测蓄电池串联, 组成测量电路, 使用交流恒流源向该电路注入定频电流, 电流信号响应如式(2), 标准电阻两端的电压响

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

安徽省重大科技专项(202003a06020016)、科技助力经济 2020 气象行业项目(KJZLJJ202002)资助

作者简介:徐建鹏,男,1977 年生,大学本科,高级工程师,主要研究方向为农业农村信息化、农业气象服务等,Email: greatroc@126.com

收稿日期:2020 年 8 月 10 日;定稿日期:2021 年 4 月 19 日

应为式(3),被测蓄电池两端的电压响应为式(4):

$$i_t = I \sin(\omega t) \quad (2)$$

$$u_R = U_R \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (3)$$

$$u_Z = U_Z \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (4)$$

其中,  $U_R$  为标准电阻电压响应的峰值,  $U_Z$  为被测蓄电池电压响应的峰值,  $\varphi_1$ 、 $\varphi_2$  为相位角。

同一时刻流经标准电阻与蓄电池的交流电流是相同的,通过检测原理(图 2),可得:

$$\frac{U_R \sin(\omega t + \varphi_1)}{R} = \frac{U_Z \sin(\omega t + \varphi_2)}{Z_s} \quad (5)$$

等式两边同时积分:

$$\frac{U_R}{R} \int_0^{2\pi} \sin(\omega t + \varphi_1) = \frac{U_Z}{Z_s} \int_0^{2\pi} \sin(\omega t + \varphi_2) \quad (6)$$

通过计算可得:

$$Z_s = \frac{U_Z R}{U_R} \quad (7)$$

由式(7)可见,被测蓄电池阻抗值与蓄电池和标准电阻的电压比成正比,连续采集蓄电池两端的电压信号,通过傅里叶变换,可得蓄电池两端响应电压的相位角<sup>[5-6]</sup>:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (8)$$

其中,  $a$  为傅里叶变换后实部,  $b$  为虚部。通过计算  $Z_s$  和  $\varphi$ , 由式(1)得到蓄电池内阻值。

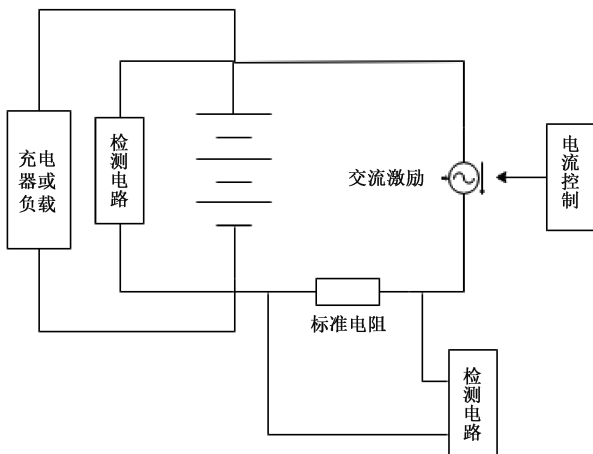


图 2 检测原理

## 2 监测方法与实现

试验系统(系统结构如图 3 所示)由主控制器、压控恒流源电路、调理电路等组成。主控制器采用 STM32F103RCT6 单片机,其最高运行频率 72 MHz,程序存储器 256 KB, RAM 容量 48 K, 12 通

道 DMA,支持 ADC、DAC、SPI 等功能,片内资源非常丰富。利用 STM32F103RCT6 内部 12 位 DAC,通过 DDS 产生 1 kHz 正弦波,将该正弦波作为压控恒流源(VCCS)的输入激励信号,通过调节 VCCS 的电阻,产生不同大小的电流,该横流信号经过标准电阻、被测蓄电池后产生电压响应。调理电路采用高精度仪表放大器 AD620 进行放大,带通滤波器本设计采用有源四阶巴特沃斯滤波器,设计频段响应为 1 kHz $\pm$ 100 Hz,尽可能衰减无关信号,提高信噪比 SNR。

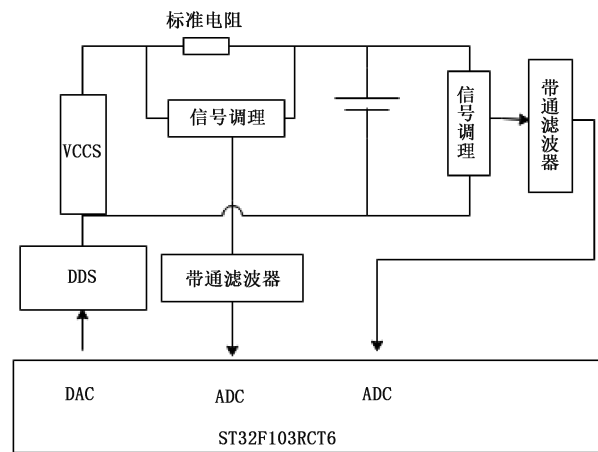


图 3 系统结构

### 2.1 正弦信号发生器

由于电池内阻较小,一般是  $m\Omega$  级别,输入激励电流宜采用低频率小电流,因此本设计采用 1 kHz、100 mA 恒流源为激励信号。正弦信号可以通过 SPWM、专用芯片(如 ICL8038)、DDS 等多种方式产生,为了充分利用单片机资源、降低成本,本方案采用 DDS 方式,通过离散化处理,将一个周期的正弦波量化为 3600 点,即产生的正弦波的精确度为  $0.1^\circ$ 。设定定时器时间为  $T$ ,则  $T = \frac{1}{3600}$  (s),定时器产生中断后,将量化的数据循环送入 DAC 寄存器,生成 1 kHz 的正弦波。

### 2.2 压控恒流源(VCCS)

压控恒流源电路主要由 LM1875T 与两片 OP07 组成,LM1875T 集成了功率放大块,外围电路简单,且有完善的过载保护和较强的功率输出。其产生的电流  $I_s$  大小仅与反馈电阻  $R_s$ 、输入电压  $U_i$  有关,数学表达式如下:

$$I_s = \frac{U_i}{R_s} \sin(\omega t) \quad (9)$$

由于单片机工作电压为 3.3 V,当  $R_s = 33 \Omega$  时,可获得频率为 1 kHz、电流为 100 mA 的恒流信

号,通过电容耦合到标准电阻和被测蓄电池两端,电路如图 4 所示。

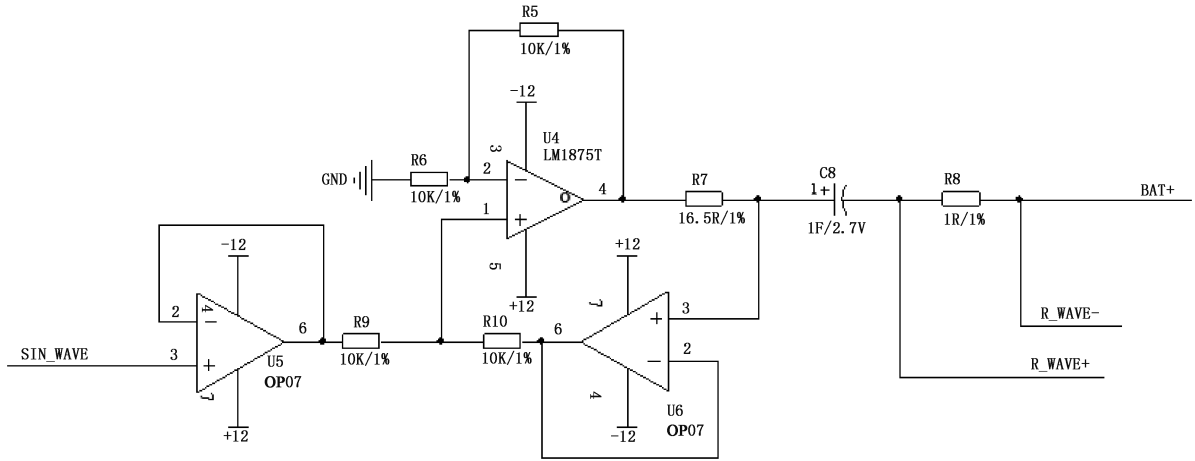


图 4 压控恒流源产生电路

### 2.3 信号调理

由于电池内阻较小,注入电流信号产生的电压响应很容易淹没在噪声中,因此需要对信号进行放大。系统放大芯片使用高精度仪表放大器 AD620,该芯片外部仅需要一颗电阻  $R_g$ ,增益  $G$  即可在 1~10000 k $\Omega$  范围内调节,其增益计算公式<sup>[7]</sup>为:

$$G = \frac{49.4}{R_g} + 1 \quad (10)$$

通过公式变换,得出  $R_g$  的取值公式:

$$R_g = \frac{49.4}{G - 1} \quad (11)$$

其中,49.4(k $\Omega$ )为 AD620 使用手册中给出固定值。

信号调理电路如图 5 所示,在放大信号的同时,噪声也相应放大,需要引入滤波器(图 6)对其他频

率噪声进行衰减,其输入信号为 AD620 的输出。本设计采用 4 阶带通巴特沃斯滤波器,衰减率每倍频 24 dB,带通频率为 1 kHz $\pm$ 100 Hz<sup>[8]</sup>。

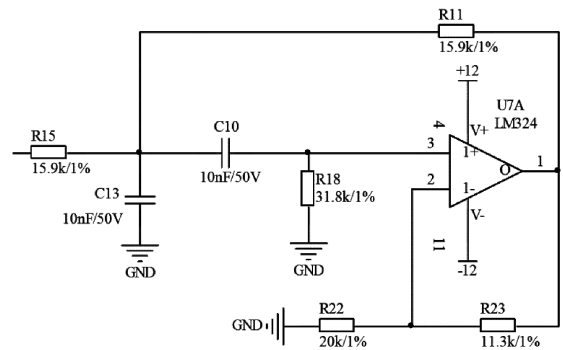


图 6 滤波器电路

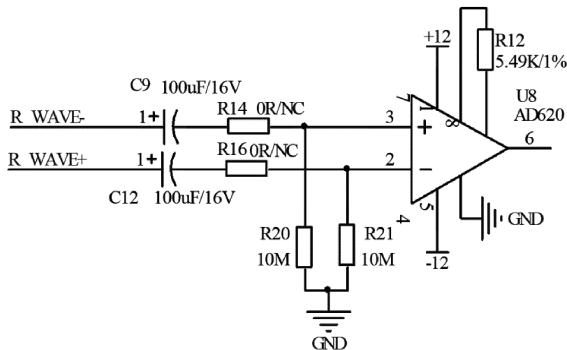


图 5 信号放大电路

### 2.4 模数转换及数值计算

采用 DMA 方式同时对进入单片机 ADC 两路信号进行采样(图 7),经过快速傅里叶变换(FFT),得出被测蓄电池阻抗  $Z_s$ ,通过式(8)可得出电池内阻  $R_s$ <sup>[9]</sup>。FFT 是离散傅立叶变换的快速算法,将一个时域信号变换到频域,是常用的数学分析工具。假设采样频率为  $F_s$ 、信号频率  $F$ 、采样点数为  $N$ ,经过 FFT 的结果为一个有  $N$  个点的复数,每个点对应着一个频率点,这个点的模值,就是该频率值下的幅度特性。

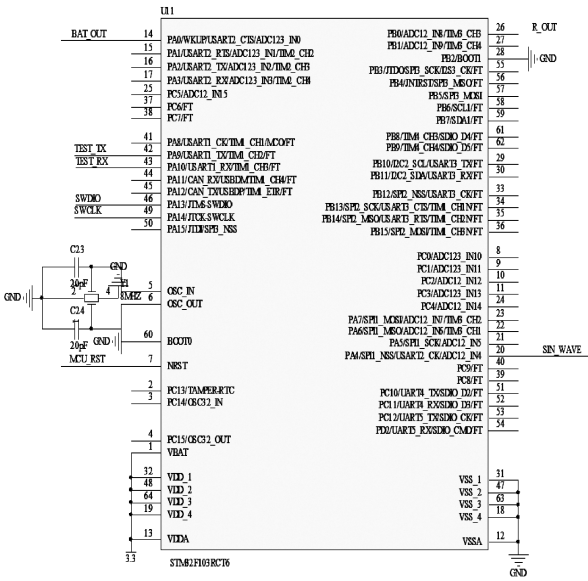


图 7 单片机 ADC 采样

### 3 试验结果与优化

直流放电法是较为准确的蓄电池内阻测量方法<sup>[10]</sup>,但需要将电池移除工作模式,通过大电流放电测量内阻,为离线测量方式。为了验证本文方法的准确性,取 6 块使用时间各不相同的蓄电池,容量为 12 V/200 Ah,以直流放电法试验数据为标准值,进行了 6 组对比试验,试验结果如表 1 所示。

表 1 对比试验测量结果 mΩ

	测量次数					
	1	2	3	4	5	6
直流放电法 (离线)	5.21	16.56	29.36	37.28	59.21	87.39
本设备 (在线)	10.34	25.93	29.14	36.9	59.41	88.24
误差	5.13	9.37	0.22	0.38	0.2	0.85

由表 1 结果可知,本文方法的测量结果与直流放电法测量结果误差不大,基本控制在 1% 以内,但内阻较小时误差较大,经过分析发现是信号较小时,噪声、AD 精度等测量误差相对较大导致,可通过采用更高精度的滤波器或者使用软件滤波器进行优化,为了控制硬件成本,本文使用软件滤波器进行优化,通过对比不同的软件滤波算法,选定 Kalman 滤波算法进行优化。

由于测量的内阻值是一维变量,引入状态方程:

$$X(k) = X(k - 1) + W(k - 1) \quad (12)$$

其中,状态  $X(k)$  为  $k$  时刻的内阻值,  $W(k)$  为过程噪声。

同时引入测量噪声  $V(k)$ , 方差  $R$ , 测量方程为:

$$Z(k) = X(k) + V(k) \quad (13)$$

$W(k)$  与  $V(k)$  的方差为  $Q$ 、 $R$  (均为器件表明的已知量),  $k - 1$  时刻的协方差为  $P(k - 1)$ , 使用  $k - 1$  时刻的测量值估计出偏差为:

$$P(k | k - 1) = P(k) + Q \quad (14)$$

卡尔曼增益  $K$  为:

$$K = \frac{P(k | k - 1)}{P(k | k - 1) + R} \quad (15)$$

$k$  时刻的测量值为:

$$P(k) = (1 - K) \quad (16)$$

这样不断的方差递归,从而估算出内阻最优值。重复上述与直流放电法测量的对比试验,试验结果如表 2 所示,使用 Kalman 滤波算法优化效果明显,测量误差显著减小。

表 2 改进后测试对比结果 mΩ

	测试次数					
	1	2	3	4	5	6
直流放电法 (离线)	5.32	16.44	29.28	37.46	59.3	87.66
本设备(在线)	6.63	18.15	28.97	37.83	59.56	87.2
误差	1.31	1.71	0.21	0.37	0.26	0.46

### 4 系统建设与应用

为了在线实时监控建设在野外的农业气象物联网观测站点的电池使用情况,通过本方法监测观测站点蓄电池的电量,利用物联网技术将观测站内所有电池信息进行传输到农业气象物联网平台<sup>[11]</sup>。

#### 4.1 本地数据传输

在物联网系统中常用通信技术有蓝牙、WIFI、LoRa、NB-IoT 等,对比如表 3 所示。使用 NB-IOT 构建的通信网络,传输距离远,配套产品成熟,开发成本、使用资费低<sup>[11]</sup>。本系统选用了上海移远通信技术股份有限公司的 BC20 通信模组。

表 3 常用通信方式对比表

通信技术	传输距离/m	功耗	使用难易性
蓝牙	10~30	低	容易
WIFI	10~50	高	稍难
LoRa	1000~10000	稍高	较难
NB-IOT	几乎不受限制	低	非常容易

### 4.2 通信协议

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) 消息队列遥测传输,采用发布/订阅模式,所有的物联网终端都通过 TCP 连接到云端,云端通过主题的方式管理各个设备关注的通讯内容,负责将设备与设备之间消息的转发<sup>[12]</sup>。该协议简单可靠,尤其适合轻量级的窄带物联网数据传输,本系统采用了 MQTT 作为终端与平台通信的协议。

### 4.3 平台搭建

利用现有安徽省气象局农村综合信息中心农业气象物联网平台接收处理数据,系统结构如图 8 所示,通过设置预警阈值,通过短信、微信等方式推送消息到管理员手机及其他移动通信端,及时维护农业气象野外观测站点的蓄电池,经过 6 个月的使用,由原来的电池故障率 6%降到了 1.5%,达到了预期目的。

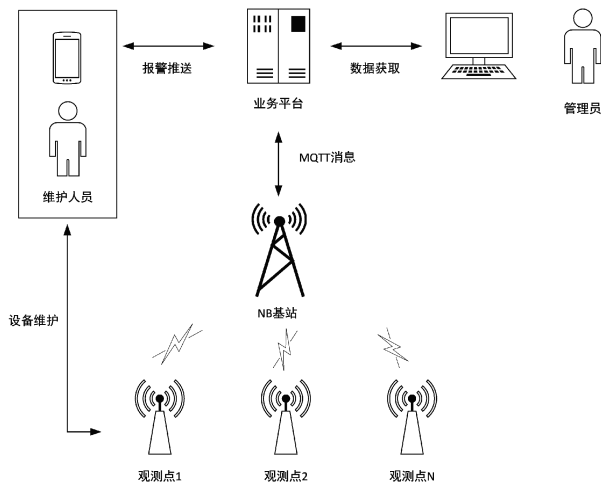


图 8 物联网平台系统结构

## 5 结论

本文通过采用在电池两端注入交流横流信号,利用单片机进行 DAC、ADC 变换、傅里叶变换分析得出被测蓄电池内阻值,提出了改进的交流注入法。同时发现在内阻较小时,该测量办法容易受到噪声干扰,采用 Kalman 滤波进行了优化,试验效果明显,实现了蓄电池电量的可靠直接在线测量。同时利用 NB-IOT 通信技术,结合 MQTT 协议,将农业气象野外观测站点的蓄电池电量信息推送到已有的观测系统,实现了蓄电池电量的实时监测。但是由于在真实的使用环境中,还有很多不确定因素影响测量结果,比如温度、湿度、电磁环境等,还需要进一步增加相应的补偿、保护电路,优化算法进行改进。

## 参考文献

- [1] 高萌萌,孙志刚,李硕,等.基于 NB-IoT 的区域空气质量监测系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2020,28(10):55-59.
- [2] 姚丽丽.基于 MQTT 协议的数据断点续传方案研究[J].物联网技术,2020,10(10):30-32.
- [3] 王鹏程,朱长青.铅酸蓄电池监测系统发展综述[J].电源技术,2020,44(4):636-639.
- [4] 于子敏,常奋华,杜言霞,等.国家级自动气象站蓄电池智能控制检测系统设计[J].气象科技,2018,46(4):651-658.
- [5] 蒋朝阳.蓄电池内阻在线监测系统关键技术探究[J].通讯世界,2017(23):104-105.
- [6] 张华.基于内阻变化特征的动力锂电池模块故障在线诊断研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2017.
- [7] 高海涛,黄世回.蓄电池内阻测试信号小波去噪[J].安徽科技学院学报,2015,29(5):38-44.
- [8] 李磊明,张鹰,周小彦.FIR 数字滤波器在蓄电池内阻检测中的应用[J].河南科学,2015,33(7):1100-1104.
- [9] 陈传彪,王丽梅.电池内阻检测解决方案[J].科技风,2015(10):16.
- [10] 王浩,袁田,杜法刚.一种远程蓄电池内阻在线测试装置的探讨[J].科技风,2012(20):22.
- [11] 王宗省,孟秀芝.一种新型配电网电容测量系统的设计[J].电子测量与仪器学报,2012,26(1):78-83.
- [12] 楼平.电池内阻在线测量仪的研制[J].浙江师范大学学报(自然科学版),2009,32(1):74-77.

## On-Line Detection Method of Electricity Quantity of Meteorological Observation Station Based on Internet of Things

XU Jianpeng<sup>1</sup> WANG Dongxu<sup>2</sup> ZHOU Luyang<sup>1</sup> WANG Jie<sup>1</sup>

(1 Anhui Rural Comprehensive Economic Information Center, Hefei 230061;

2 Anhui Smart Internet of Things Co., Ltd, Hefei 230061)

**Abstract:** Aiming at the phenomenon that the on-line detection device for battery power in meteorological observation equipment is almost blank, the battery AC injection method detection, Internet of Things (IoT) and other technologies are comprehensively used to inject AC cross-current signals at both ends of the battery, and the battery power is calculated by the phase angle and internal resistance of the battery. Experiments and improvements are made of the detection process in practical applications; the Kalman filtering is added to reduce interference; and the reliable direct online measurement of battery power is achieved. According to this method, the specific realization of the hardware circuit is given, which has been applied in actual operation and has high operability, accuracy and consistency.

**Keywords:** electricity online detection; injection detection technology; IoT electricity detection