

基于相关检测的蓄电池内阻检测仿真研究

冯长江, 高明宇

引用本文:

冯长江, 高明宇. 基于相关检测的蓄电池内阻检测仿真研究[J]. [兵器装备工程学报](#), 2020, 41(6): 140–143.

您可能感兴趣的其他文章

1. [铅酸蓄电池等效电路模型参数辨识及仿真验证](#)

引用本文: 李匡成, 刘政, 刘岩. 铅酸蓄电池等效电路模型参数辨识及仿真验证[J]. [兵器装备工程学报](#), 2015, 36(7): 83–85.

2. [脉冲型负载用混合储能系统功率自分配控制](#)

引用本文: 张衡, 孙世宇, 谷志锋, 等. 脉冲型负载用混合储能系统功率自分配控制[J]. [兵器装备工程学报](#), 2020, 41(3): 111–115+177.

3. [基于涡流检测的轨道炮沉积层厚度测试仿真](#)

引用本文: 向红军, 王俊晓, 郝雁军, 等. 基于涡流检测的轨道炮沉积层厚度测试仿真[J]. [兵器装备工程学报](#), 2019, 40(4): 18–21,49.

4. [非协作BOC信号检测与捕获跟踪技术研究](#)

引用本文: 熊兴雨, 倪淑燕, 程乃平. 非协作BOC信号检测与捕获跟踪技术研究[J]. [兵器装备工程学报](#), 2020, 41(4): 156–161.

5. [基于IQGA的混合动力车辆传动系参数优化](#)

引用本文: 李沛, 严骏, 涂群章, 等. 基于IQGA的混合动力车辆传动系参数优化[J]. [兵器装备工程学报](#), 2019, 40(9): 213–219.

基于相关检测的蓄电池内阻检测仿真研究

冯长江,高明宇

(陆军工程大学石家庄校区 车辆与电气工程系, 石家庄 050000)

摘要:由于其内阻值较小,在检测过程中容易受到噪声和干扰的影响,难以满足较高的精度要求。为达到消除干扰,提高测量精度的目的,采用相关检测原理的方法,利用信号自身的周期性和规律性,选择相同频率的参考信号进行乘法积分运算,去除噪声和干扰,同步提取内阻相位信息。在 Multisim 中设计测量电路进行了分析和仿真,验证了该方法的正确性和有效性。

关键词:蓄电池内阻;相关检测原理;抗干扰;仿真

本文引用格式:冯长江,高明宇.基于相关检测的蓄电池内阻检测仿真研究[J].兵器装备工程学报,2020,41(06):140-143.

Citation format:FENG Changjiang, GAO Mingyu. Simulation of Internal Resistance of Storage Battery Based on Correlation Detection Method[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(06): 140-143.

中图分类号:TN98

文献标识码:A

文章编号:2096-2304(2020)06-0140-04

Simulation of Internal Resistance of Storage Battery Based on Correlation Detection Method

FENG Changjiang, GAO Mingyu

(Department of Electrical Engineering, Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang 050000, China)

Abstract: Because of the minuteness of the battery internal resistance, the detection process is easy to be affected by noise and interference, and it is difficult to meet the higher accuracy requirement. In this paper, in order to eliminate interference and improve measurement accuracy, the method of correlation detection principle was used. By using the periodicity and regularity of the signal itself, the reference signal of the same frequency was selected for multiplication and integration, so as to achieve the goal of removing noise and interference, and extracting phase information of internal resistance was measured at the same time. The correctness and validity of the method were verified by analyzing and simulating the measurement circuit designed in Multisim.

Key words: battery internal resistance; related detection principle; anti-interference; simulation

铅酸蓄电池作为一种化学能源,已在各电源系统中得到了广泛的应用。蓄电池的诸多参数中,内阻作为一个重要参数,与蓄电池容量、健康状态等有着密切的关系,因而内阻的

测量是当前研究的重要内容之一^[1-4]。在采用交流注入法测量内阻时,由于施加在蓄电池两端的交流电流信号幅值较小,且被测蓄电池的内阻一般为毫欧级,如何在蓄电池两端

收稿日期:2019-07-17; **修回日期:**2019-08-12

基金项目:国家自然科学基金项目(51307184)

作者简介:冯长江(1963—),男,硕士,教授,主要从事自动测试系统设计和故障诊断等方面的研究, E-mail:lgdzh08016@163.com。

通讯作者:高明宇(1991—),男,主要从事装备智能检测与仿真研究, E-mail:gaomygmy@163.com。

精确检测相同输出频率的交流(电压)信号,以及如何通过检测到的信号准确提取内阻信息成为蓄电池内阻测量的研究重点^[5-8]。目前,常用的方法主要有二线制内阻信号提取、四线制内阻信号提取和基于相关检测原理的信号提取方式,其中二线制方式即直接通过响应和激励信号的比值得到结果,适合测量精度不高的应用场合;四线制的测量精度较高,但是在噪声环境下会降低精度^[9-10]。而基于相关检测原理的检测方法,通过三角函数运算,可把有效信息保留在直流分量中,交流分量均可滤除掉,因此广泛应用于消除交流噪声和干扰等领域^[11-12],但内阻测量领域尚未有相关研究。同时通过相应的计算公式不仅能提取内阻幅值,还能获得相位信息,弥补四线制方法只能提取内阻信号幅值的不足。

1 相关检测原理

相关检测原理是利用信号具有周期性和规律性,而噪声没有的特性,选择与目标信号有相同频率的参考信号进行乘法积分运算,从而达到去除噪声的效果^[13-14]。根据这一特性,相关检测原理在硬件实现方面取得显著成果,现已广泛应用于通信、光学、声学、自动控制和振动分析等领域^[15-17]。

采用相关检测原理的蓄电池内阻信号提取算法,首先让响应信号与同频参考信号进行乘法积分运算,然后进行内阻信号的三角函数计算,从而得到内阻的幅值和相角信息。设同频参考信号 $x(n)$ 、 $y(n)$ 为激励电流信号,如式(1)所示:

$$\begin{cases} x(n) = \cos(\omega n) \\ y(n) = \sin(\omega n) \end{cases} \quad (1)$$

由于蓄电池为非线性系统,将 $y(n)$ 注入电池后,响应电压信号 $z(n)$ 满足式(2),受到蓄电池内阻非线性影响,改变了原式的幅值和相位。

$$z(n) = A \sin(\omega n + \theta) + N(n) \quad (2)$$

然后与参考信号进行相关算法,可得:

$$\begin{cases} R_{xz} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(n)z(n) \\ R_{yz} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y(n)z(n) \end{cases} \quad (3)$$

蓄电池内阻信息隐藏在式(3)中,进行三角函数运算可得内阻的幅值和相位,如式(4)所示。

$$\begin{cases} A = 2 \times \sqrt{R_{xz}^2 + R_{yz}^2} \\ \theta = \text{tg}^{-1} \frac{R_{yz}}{R_{xz}} \end{cases} \quad (4)$$

式(4)的结果表明,运算后的幅值和相位信息,均为直流分量,为解决交流噪声和干扰提供了可能。下面通过仿真来验证其正确性和可行性。

2 相关检测原理仿真电路

Multisim 为 EDA 设计环境,可对模拟、数字电路进行仿真,其模型为 SPICE 模型^[18]。接下来的仿真在 Multisim 12.0

中进行。

仿真电路如图 1 所示,其中 V1 为正弦激励信号源, V2 为余弦激励信号源, V3 为被测信号; A1 和 A2 是两个乘法器,分别完成被测信号与正余弦信号的乘法运算; U1 和 U2 分别组成两个低通滤波器,其截止频率为 5 Hz,实现信号的积分运算^[19]; A3、A4 为两个乘法器实现平方运算, A5 实现求和运算, A6 实现除法运算。

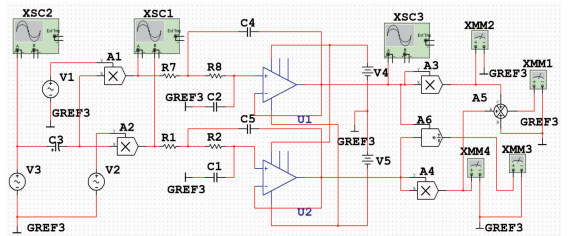


图 1 仿真电路图

3 干扰和噪声环境下的仿真

3.1 无干扰和噪声的仿真

设定被测信号的电压有效值为 300 mV,相位为 10° ,频率分别为:20 Hz、100 Hz、500 Hz、1 kHz。当采用 100 Hz 测量时,其结果如图 2 所示,其中第 1 个示波器显示的是被测信号波形,第 2 个示波器显示的是滤波后的波形。

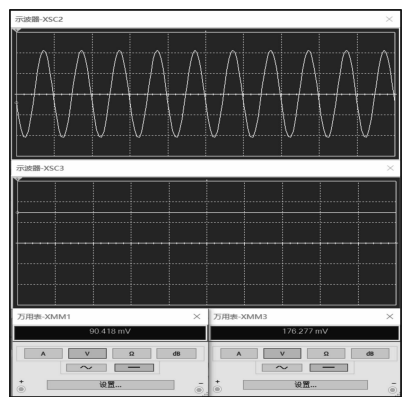


图 2 100 Hz 的测量结果

图 2 中, XMM1 多用表显示的是 A5 求和后的值,为 90.418 (因为是用多用表测量的,因此单位为 mV,实际应是 $(\text{mV})^2$)。XMM3 多用表显示的是 A6 除法运算后的值,为 176.277 m (因采用多用表测量,因此单位为 mV,实际是没有单位的)。

再分别对两个测量值进行开平方和反正切函数运算,最终得到被测信号电压有效值和初始相位。

$$\begin{aligned} U_{\text{RMS}} &= \sqrt{90.418 \times 10^{-3}} = 300.70 \text{ mV} \\ \phi &= \arctan(0.176277) = 9.996^\circ \end{aligned}$$

同理,其他各个频率点的测量值和结果如表 1 所示。表 1 的结果可反映出幅值和相位与被测信号设置的值

是非常一致,因此,可证实相关检测方法原理可行,实验电路设计正确。下面在干扰和噪声环境下进行仿真。

表1 各频率点的仿真结果

信号频率/Hz	电压测量值/mV	URMS 结果/mV	相位测量值/mV	相位/(°)
20	91.107	301.84	176.48	10.008
100	89.986	299.97	176.29	9.998
500	89.984	299.97	176.34	10.001
1 000	89.989	299.98	176.29	9.998

3.2 加干扰和噪声的仿真

3.2.1 加工频干扰和工频干扰

在被测信号上加入电压有效值为 100 mV,工频频率 50 Hz、相位 30°和工频频率 2 kHz、相位 15°的干扰信号,如图 3 所示。

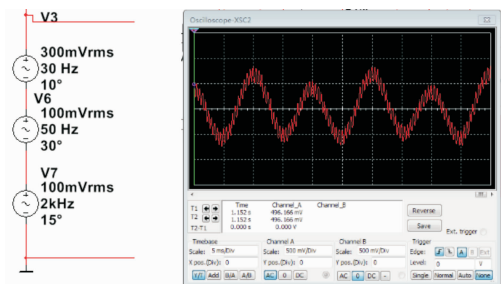


图3 加工频和工频干扰的电路及波形

选择同样的 4 个频率点进行仿真,结果见表 2 所示。

表2 加干扰后的仿真结果

信号频率/Hz	电压测量值/mV	URMS 结果/mV	相位测量值/mV	相位/(°)
20	90.062	300.10	176.32	9.999
100	89.990	299.98	176.28	9.998
500	89.991	299.98	176.32	9.999
1 000	89.988	299.97	176.28	9.998

比较图 1 和图 2,得到的结果基本相同,说明交流信号只要不是与被测信号同频(或非常接近),对测量结果的影响很小,即该测试方法有较强的抗干扰能力。

3.2.2 加噪声干扰

在 Multisim 中,自带非理想电池模型,如图 4 所示,它可以设置电池参数。

众所周知,噪声信号就是许多不同频率成分信号的组合,频带很宽,信号幅度随机分布。就像在被测信号上叠加了许多不同频率、不同幅度、不同相位的交流信号,从原理上来讲,对被测信号不会产生很大的干扰。在进一步的仿真中,将被测对象换成非理想电池,并加入为电池提供激励信

号的恒流源电路,电流有效值为 2.76 A。在进行无噪声干扰的仿真时,设置电池参数为 6 V、4.5 VA。此类电池内阻大致为 27 mΩ,在参数设置界面进行设置。

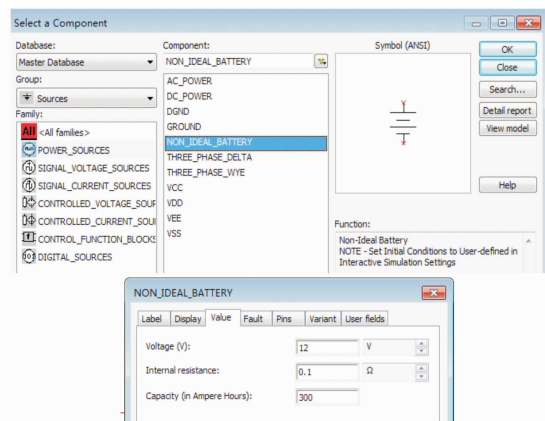


图4 Multisim 中的非理想电池模型

选择了 4 个频率点:50 Hz、100 Hz、500 Hz、1 kHz 进行仿真,结果见表 3 所示。

表3 无噪声下的仿真结果

信号频率/Hz	电压测量值/mV	电池内阻/mΩ	相位测量值/mV	相位/(°)
50	5.672	27.3	-144.99	-8.25
100	5.565	27.2	-72.88	-4.17
500	5.531	26.9	-15.86	-0.91
1 000	5.530	26.9	-9.699	-0.56

以 100 Hz 为例进行电池内阻值的计算:

$$R_0 = \frac{\sqrt{0.005565}}{2.76} = 27.2 \text{ m}\Omega$$

在加入噪声干扰条件下进行仿真,为检验噪声信号的影响,在被测电池支路加入噪声干扰源,信噪比大约在 10 dB,如图 5 所示。仿真结果如表 4 所示。

对比表 3、表 4,无论是内阻测量值还是相位测量值均基本一致,且与设定值相符,说明一是基于相关检测原理设计的电路是正确的,二是采用这种方法测量电池的参数具有强抗干扰性。

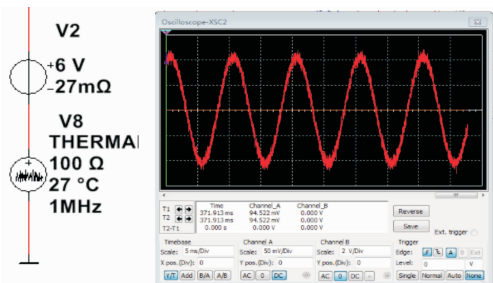


图5 含噪声的测量结果

表4 信噪比为 10 dB 时仿真结果

信号频率/Hz	电压测量值/mV	电池内阻/ mΩ	相位测量值/mV	相位/ (°)
50	5.680	27.3	-146.77	-8.35
100	5.570	27.0	-72.50	-4.15
500	5.532	26.9	-16.01	-0.92
1 000	5.526	26.9	-9.446	-0.54

4 结论

本文采用相关检测原理对蓄电池内阻信息进行测量,在加入噪声和干扰的实验中均能够有效减少不利因素的影响,还能提取信号相位,并从仿真层面验证该方法在内阻信号幅值和相位提取过程中的准确性,为进一步通过内阻幅值相位获取蓄电池的更多信息提供了有力支撑。

参考文献:

- [1] 李芳培,毛建国,沈岷,等.基于交流阻抗法的蓄电池内阻测量[J].重庆工学院学报(自然科学版),2009,23(09):93-98.
- [2] 张媛.基于广义合成阻抗的蓄电池内阻测量方法[D].上海:上海工程技术大学,2017.
- [3] 冯真得.变电站用 VRLA 蓄电池 SOC 及 SOH 估计算法研究[D].合肥:合肥工业大学,2016.
- [4] 成江.变电站蓄电池内阻实时监测方法的研究[D].济南:山东大学,2016.
- [5] 李杨锋,葛俊锋,叶林,等.微欧级蓄电池内阻测量方法[J].仪表技术与传感器,2015(01):101-103.
- [6] CUGNET M,SABATIER J,LARUELLE S,et al. Fractional order model validation for the lead-acid battery resistance

estimation; application to cranking capability[J]. IFAC Proceedings Volumes,2009,42(8):558-563.

- [7] 唐俊宇,冯长江.基于特征分解谱估计的蓄电池内阻检测方法[J].计算机测量与控制,2016,24(06):37-41.
- [8] 丁聪,黄赞,王天翔,等.蓄电池在线检测技术原理分析[J].上海节能,2018(05):332-336.
- [9] 魏宁,李刚,刘宏祥,等.装甲车辆铅酸蓄电池状态监测系统的设计[J].电源技术,2017(09):1346-1349.
- [10] 李艳,李焱,倪敏娜.铅酸蓄电池内阻检测仪设计[J].仪表技术与传感器,2015(08):50-53.
- [11] 夏开华,何彩霞,王巍,等.基于自相关检测的参数测量[J].数字技术与应用,2018(05):92-94.
- [12] 蔡翠翠,王本有,常志强,等.噪声背景下微弱信号检测系统的设计[J].皖西学院学报,2017,33(02):54-57.
- [13] 周敏.基于相关原理的弱信号检测系统的研究与应用[D].武汉:武汉工程大学,2016.
- [14] 韦宏.一种强噪声背景下微弱信号检测系统的设计与实现[J].中国计量,2017(12):92-95,106.
- [15] 南瑞亭.基于自相关检测法的微弱信号分析与仿真[J].物联网技术,2016(10):23-26.
- [16] 陆秋平.基于相关原理的信号检测方法及其应用研究[D].杭州:浙江大学,2011.
- [17] 王月新,王清亮,任恒峰,等.微弱信号检测的实验研究[J].山西大同大学学报,2016,32(02):34-38.
- [18] 程建峰.基于 Multisim 信号产生电路的仿真分析[J].自动化与仪器仪表,2015(04):205-206.
- [19] 刘昕,马虎山,刘健,等.基于 Multisim 的运算放大器及滤波电路仿真[J].电子世界,2016(08):52-59.

科学编辑 李建军(塔里木大学副教授、硕导)
责任编辑 唐定国