

一种便携式天气雷达数字中频测试系统

舒 毅¹ 梁钊扬² 杨苏勤¹ 杜言霞¹ 谢启杰¹

(1. 福建省泉州市气象局 泉州 362000; 2. 广东省肇庆市气象局 肇庆 526000)

摘 要: 雷达数字中频系统是雷达接收系统的核心部件,其性能直接影响到整个雷达系统的工作效率。介绍了一种可行的便携式数字中频测试系统的硬件测试平台和软件控制程序,通过对天气雷达数字中频的 A/D 信号数据采集测试和 I/Q 数据测试,分别实现了分析数字中频 A/D 信号和 I/Q 数据的 FFT 频域分析界面和 Time Data 时域分析界面的图形,能够快速地分析、处理和显示,可以准确、高效的完成对天气雷达数字中频的测试和维护;解决了雷达台站无法配置频谱仪等昂贵设备的条件限制,缩短了技术支援的时间和实效性,可提高对天气雷达的业务保障时效,为天气雷达的现场测试保障体系提供一种新的解决方案。

关键词: 天气雷达;数字中频系统;A/D 信号测试;I/Q 数据测试;便携式

中图分类号: TN95 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.70

Portable digital IF test system for weather radar

Shu Yi¹ Liang Zhaoyang² Yang Suqin¹ Du Yanxia¹ Xie Qijie¹

(1. Quanzhou Meteorological Bureau, Fujian, Quanzhou 362000, China; 2. Zhaoqing Meteorological Bureau, Guangdong, Zhaoqing 526000, China)

Abstract: Radar digital IF system is the core component of radar receiving system, its performance directly affects the efficiency of the whole radar system. The hardware test platform and software control program of a portable digital IF test system are introduced. Through the A/D signal data acquisition and I/Q data test of the weather radar digital intermediate frequency, the analysis of the digital IF A/D Signal and I/Q data FFT frequency domain analysis interface and Time Data time domain analysis interface graphics, can quickly analyze, process and display, can be accurate and efficient completion of the weather radar digital IF testing and maintenance; the system completely Which solves the condition that the radar station can not be equipped with expensive equipment such as spectrum analyzer, shortens the time and effectiveness of the technical support, and improves the service guarantee aging of the weather radar, thus providing a new solution to the on-the-spot test security system of the weather radar Program.

Keywords: weather radar; digital IF system; A/D signal test; I/Q data test; portable

1 引 言

全国布网运行的新一代天气雷达中的接收机系统已经由模拟中频改造升级为数字中频系统,数字中频系统已经成为雷达接收机数字信号处理的核心部件^[1]。目前,大量运行中的气象雷达数字中频系统,还没有一个便捷、完善的测试和维护设备可用于故障现场及时判断数字中频系统的性能好坏。由于数字中频部分是天气雷达接收机系统处理数据的关键环节,其运行性能好坏直接影响了整个雷达系统的探测能力,所以调试、维护好雷达数字中频部分是测试整个雷达接收机系统探测能力的重点^[2-3]。文献[4-9]对雷达故障和雷达维护都做了很多的研究工作,文献[10-12]也

积极探索了更加简洁、便携、高效的天气雷达故障测试和维护方法。本文开发的数字中频测试维护系统可直接应用于测试雷达数字中频系统性能的软、硬件,它由高速 ADC 采样测试部分和 IQ 数据测试部分,各部分又均由硬件数据接口、采集部分,和计算机上层软件分析部分组成,结构简单、便捷可行;此系统可直接用于测试雷达数字中频部分的 ADC 采样性能、IQ 数字解调性能,极大的方便了气象雷达接收机系统数字中频的现场调试、维修和维护,旨在探索一种新的便携式测试维护方案。

2 传统数字中频测试平台方法

传统的数字中频测试系统需要测试 A/D 转换的性能,

后端 I、Q 信号幅度的一致性误差、相位正交误差以及计算功率等相关参数时,需要专业性强、仪器庞大的逻辑分析仪和大量的测试电缆等工具相互配合,内容极其复杂,是相当繁琐的测量工作内容,如图 1 所示,传统数字中频电路测试平台。然而,对于正在业务使用中的台站气象雷达,一旦出

现故障停机就需要快速的故障处理和快速的故障恢复能力,以确保雷达的正常业务运行,提高雷达保障业务实效,而使用如此繁琐的传统测试链路、昂贵的测试仪器以及苛刻的测试条件,根本无法满足一线气象雷达台站对气象雷达保障业务要求的保障目标任务。

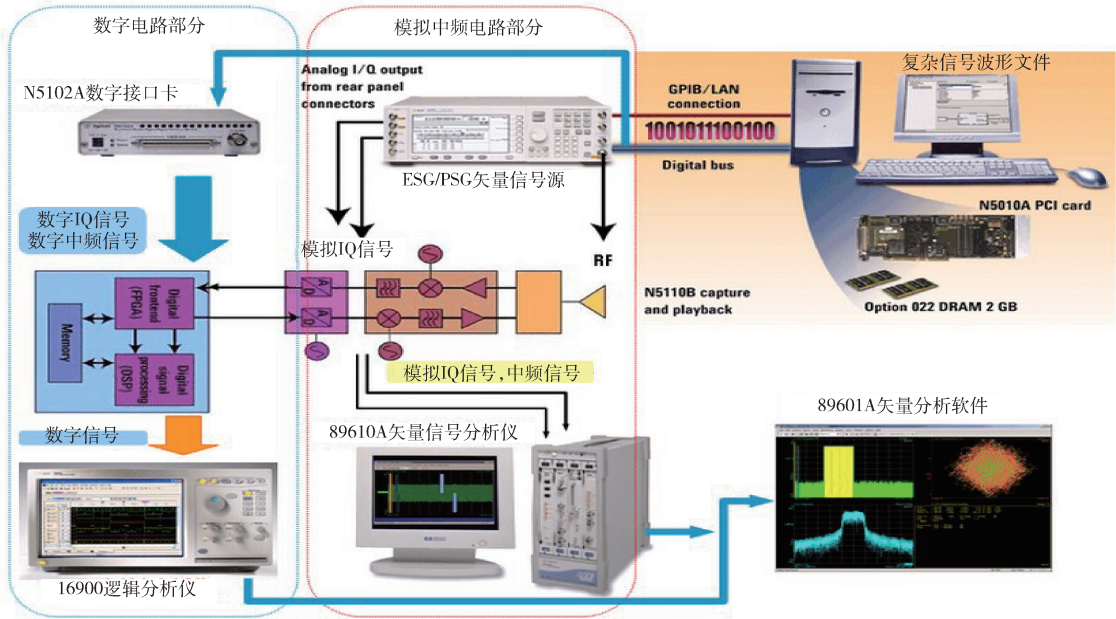


图 1 传统数字中频电路测试平台

3 便携式数字中频测试系统技术特点

便携式天气雷达数字中频测试系统可以完成新一代天气雷达数字中频测试故障现场采集数据,实时测量数据图形分析,方便调试、维护人员实现故障现场维护和检测,可以取代繁重的逻辑仪器测量方式,做到数字中频现场维护和测试的方便、快捷、高效。技术特点:可操作性强、实

用性好、性能可靠稳定。

便携式天气雷达数字中频系统性能测试的软硬件系统由两大部分组成:高速 ADC 采样测试部分和 I、Q 数据测试部分,各部分均由硬件数据接口、采集部分和计算机上层软件分析部分组成,测试系统整体构架框如图 2 所示。

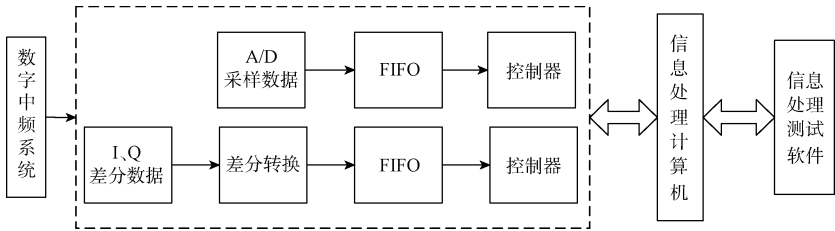


图 2 测试系统整体构架框

3.1 高速 ADC 采样测试部分

- 1) USB 接口:需用系统配置的 USB 接口线与计算机连接。
- 2) 电源适配器接口:用于因计算机 USB 接口供电不足而采用外部电源供电时的电源接口(一般情况下,AD 测试板无需外部供电)。
- 3) 数据接口:用于与被测系统的数据接口连接,其数

据宽度最多为 16 bit,兼容 COMS 及 TTL 电平,如图 3 ADC 测试板硬件接口。

3.2 I、Q 数据测试部分

- I、Q 测试板分为数据测试主板和数据接口板。
- 1) USB 接口:需用系统配置的 USB 接口线与计算机连接。
- 2) 电源适配器接口:用于因计算机 USB 接口供电不

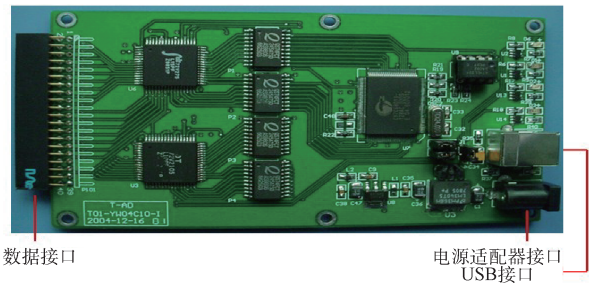


图3 ADC测试板硬件接口

足而采用外部电源供电时的电源接口(一般情况下无需外部供电)。

3) 数据接口:用于与被测系统的数据接口连接,其数据宽度最多为 24 bit,兼容 COMS 及 TTL 电平,如图 4 所示 I、Q 数据测试主板和图 5 所示数据接口板。

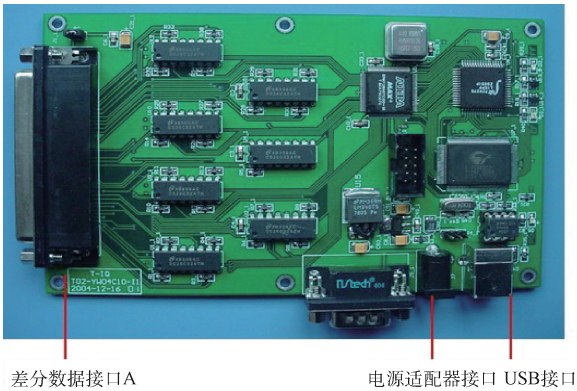


图4 I、Q数据测试主板

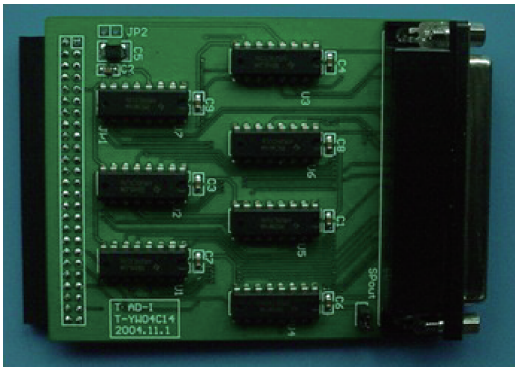


图5 数据接口板

3.3 计算机数据分析软件

数字中频测试系统软件控制策略:数据采集、数据存储由开发的固件程序和系统驱动程序共同完成;计算机终端测试软件由 Visual C++和 MATLAB 程序混合编程实现,它有很强的数据分析能力和实时的多图像显示功能来完成系统的测试波形绘制、频谱分析以及其他相关算法等功能,如图 6 数字中频测试系统软件结构。

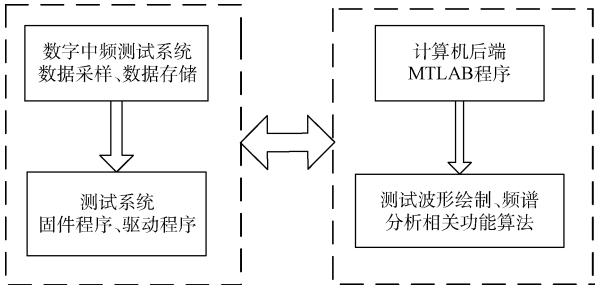


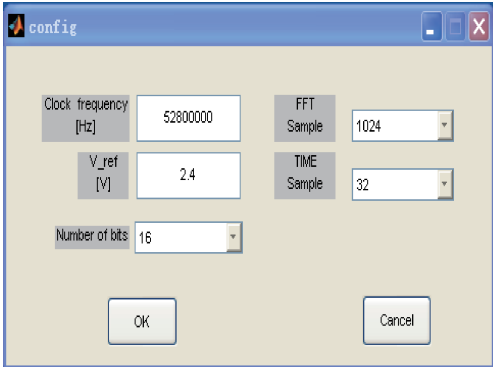
图6 数字中频测试系统软件结构

软件应用程序软件使用 Visual C++和 MATLAB 混合编程,软件混合编程负责实时地处理相关数据对并对数据进行分析以及显示处理结果等功能。在软件的测试程序中就可以完成对 ADC 的性能分析要求,包括相关的参数,比如:信噪比、总谐波失真、信号与噪声加失真比、无杂散动态范围等等。在数据的分析过程中,还采用了快速傅里叶变换(FFT),计算幅度谱,还可以自动动态的显示 ADC 的波形等功能。

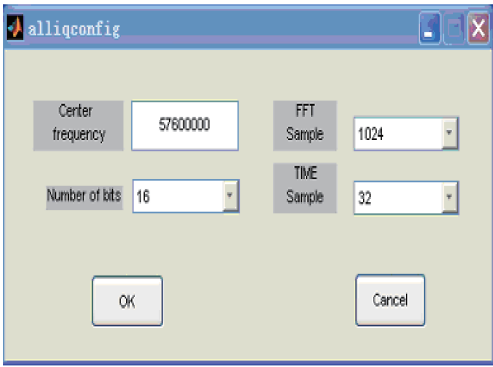
4 数字中频的性能参数测试

4.1 A/D 数据采样测试

用 MATLAB 打开配置文件 ADTEST.fig 并选择 A/D 数据分析,打开菜单中 Config/All, 参数配置如图 7 所示。



(a) A/D测试参数设置



(b) I/Q测试参数设置

图7 参数配置

其中,图 7(a)A/D 测试参数设置,界面中参数如下:
V-ref A/D 参考电压为 2.4 V;Number of bits A/D 实际位数为 16 bit;Clock frequency A/D 采样时钟为 52.8 MHz;
FFT Sample 频域分析的点数为 1 024;Time Sample 时域分析的点数为 32;点击 OK 按钮便完成了参数配置。

4.2 I/Q 数据测试

IQ 测试系统软件程序如图 7(b)参数配置 I/Q 测试参数设置。界面中各参数如下:Number of bits I/Q 数据量化位为 16 bit;Center frequency 中心频率为 57.6 MHz;
FFT Sample 频域分析的点数为 1 024;Time Sample 时域分析的点数为 32;点击 OK 按钮便完成了参数配置。

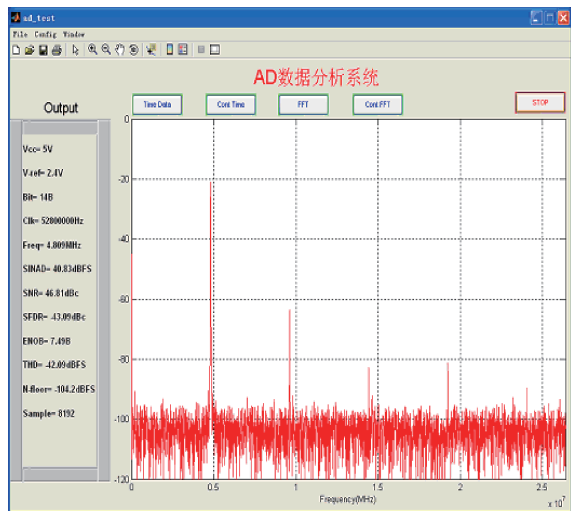
4.3 应用实例测试分析

这里记录某 S 波段的数字中频 A/D 数据采样测试和 I/Q数据测试实际应用案例和测试数据,见图 8A/D 信号测试分析,并分别画出了输出 A/D 信号的 FFT 频域分析界面和 Time Data 时域分析界面的图形。表 1 所示为 A/D 信号测试分析输出数据列出了相关实际案例的应用测试数据。

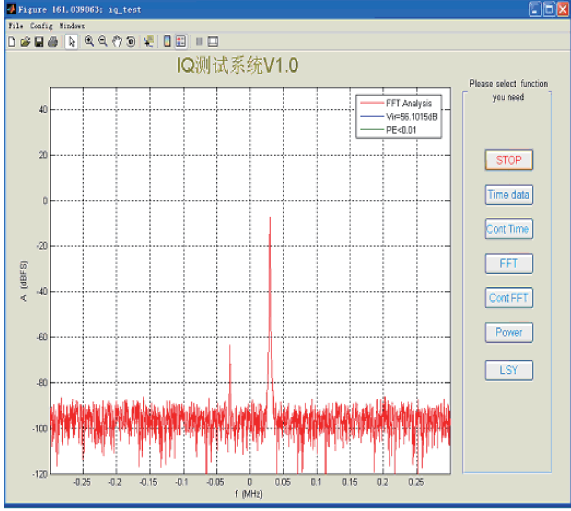
表 1 A/D 信号测试分析输出数据

输出	FFT 频 谱分析	Time Data 时域分析
V-ref:A/D 参考电压	2.4 V	2.4 V
Bit:实际位数	14 Bit	14 Bit
Clk:A/D 采样时钟	52.8 MHz	52.8 MHz
Frep:被测信号频率	4.809 MHz	1.006 MHz
SINAD:信号噪声比(含谐波)	40.83 dBFS	40.62 dBFS
SNR:信号噪声比(不含谐波)	46.81 dBc	46.08 dBc
SFDR:无杂散动态范围	43.09 dBc	43.06 dBc
ENOB:实际有效位	7.49 Bit	7.37 Bit
THD:总谐波失真	42.09 dBFS	42.06 dBFS
N_floor:基底噪声	-104.2 dBFS	-98 dBFS
Sample:分析点数	8 192	1 000

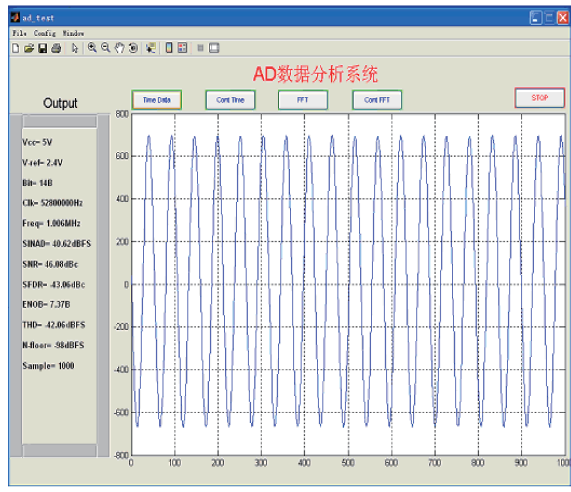
图 9 所示为 I/Q 信号测试分析分别画出了输出 I/Q 信号的 FFT 频域分析界面和 Time Data 时域分析界面的



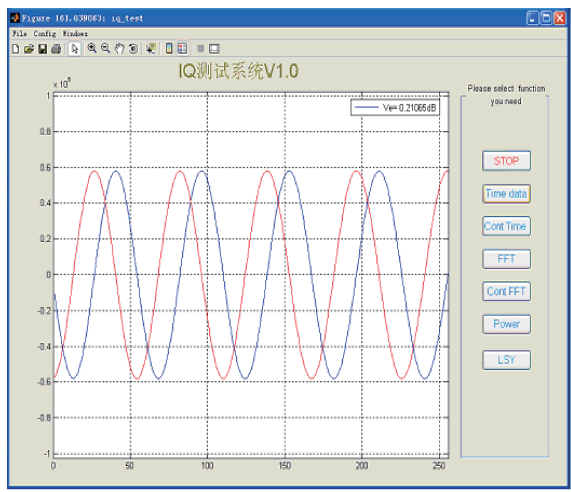
(a) FFT频域分析界面



(a) FFT频域分析界面



(b) Time Data时域分析界面



(b) Time Data时域分析界面

图 8 A/D 信号测试分析

图 9 I/Q 信号测试分析

图形。图 9(a)FFT 频域分析中 $V_{if} = 55.1015 \text{ dB}$; $PE < 0.01$ 。图 10 所示为 I/Q 能量分析界面和图 11 所示为 I/Q 李沙育图;两个信号相位差为 90° 时,合成的李沙育图形为正椭圆,I/Q 正交性好。

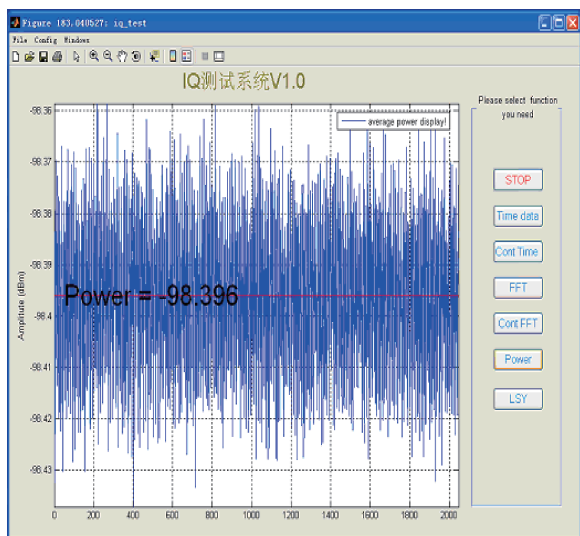


图 10 I/Q 能量分析界面

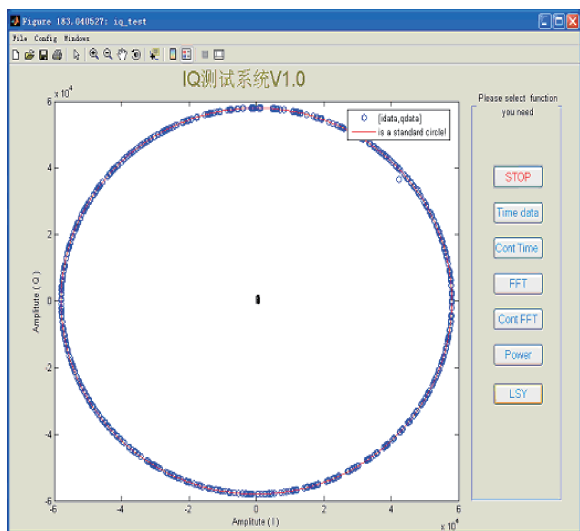


图 11 I/Q 李沙育图

从实际应用的测试案例可以看出,本系统的性能测试效果良好,符合其参数规范和要求,说明本系统具有很好的可靠性和可用性。本系统完全可以实现对数字中频的 A/D 信号采样性能和 IQ 数据测试,它可以分析前端 A/D 采样性能和后端 I/Q 性能,同时也是检验整个天气雷达数字中频系统的工作状态的有力工具,目前该系统已经成功应用于某 S 波段的数字中频测试工装系统中,应用效果良好。

5 结 论

天气雷达数字中频系统性能的测试都比较繁琐,仅仅依靠辅助仪器以及逻辑分析仪器等来实现,测试方式和分析技术手段都非常单一。本文结合实际设计并实现了一种便携式的数字中频测试系统,阐述了其关键软、硬件特点,整个测试系统体积小,连线少,便于携带,测试系统软件使用方法便捷,易于操作,可应用于各个雷达台站工作维护员等使用此系统对天气雷达的数字中频性能进行现场测试和维修、维护;降低了台站对价格昂贵、体积庞大、携带不便的设备的依赖性。由于使用便携式仪器硬件为基础与软件编程相结合,该系统便于台站人员携带,特别适用于雷达台站现场测试保障,目前该系统已经成功的应用到了天气雷达的数字中频测试、调试工作中并取得了良好的应用效果。使用便携式仪器硬件为基础与软件编程相结合,该系统便于台站人员携带,特别适用于雷达台站现场测试保障,可提高对天气雷达的台站业务保障时效,本套测试系统解决了雷达台站无法配置频谱仪等昂贵设备的条件限制,缩短了依靠省局技术支援的时间,提高了雷达技术保障的实效性。希望为台站天气雷达的现场测试保障体系提供一种新的解决方法,旨在探索适用于天气雷达的便携式测试设备和新的雷达故障测试维护方法。

参考文献

- [1] 舒毅,杨苏勤,舒童,等. CINRAD/SA 雷达控制序列超时故障分析[J]. 气象科技, 2012, 40(6): 896-901.
- [2] 舒毅,舒童,杨苏勤,等. CINRAD/SA 雷达灯丝电源调试与故障判定[J]. 气象科技, 2013, 41(4): 620-625.
- [3] 何建新. 新一代天气雷达原理与系统[M]. 西安:电子科技大学出版社, 2004.
- [4] 陈正宁,张金全. 一种雷达脉内特征仿真验证系统[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(7): 96-100.
- [5] 周钦山. 信号分析仪中矢量信号分析设计[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(5): 57-61.
- [6] 洪翠,杨华锋,卢国仪,等. 基于振动信号 SVM 分类的配变故障识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6): 1299-1308.
- [7] 翟厚曦,江泽林,张鹏飞,等. 一种合成孔径声呐图像目标分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(4): 887-894.
- [8] 李喆,邵楠,高玉春,等. 中美天气雷达回波强度标定性能分析[J]. 电子测量技术, 2016, 39(6): 35-38.
- [9] 袁玉勇,李开宇,刘文波. 光电雷达电子部件故障树分析[J]. 电子测量技术, 2016, 39(6): 149-152.

(下转第 119 页)