

ICS 17.080

M50/59

中关村空间信息产业技术联盟团体标准

T/ZKJXX 00003-2018

全球导航卫星系统 (GNSS) 信号模拟器要求

Global Navigation Satellite System signal simulators

2018-11-09 发布

2018-12-01 实施

中关村空间信息产业技术联盟 发布

目次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义、缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	1
4 分类及标识	2
5 系统组成	2
6 一般要求	2
6.1 通用要求	2
6.2 功能要求	3
6.3 性能要求	4
6.4 环境要求	5
6.5 接口要求	6
7 安全要求	6
7.1 机械安全	6
7.2 信息安全要求	6
8 试验方法	6
8.1 环境条件	6
8.2 外观及工作正常性检查	6
8.3 射频信号载波频率偏差	6
8.4 功率控制	7
8.5 动态特性	7
8.6 误差控制	8
8.7 频谱纯度	8
8.8 内部时基频率准确度和 1s 频率稳定度	9
8.9 误差矢量幅度	10
9 验收	10
9.1 环境条件	10
9.2 检验规则	10
9.3 外观及工作正常性检查	10
9.4 功能检查	11
9.5 性能检查	11
9.6 检验合格证	11
9.7 包装	11
附录 A（资料性附录） 部分频点信号中心频率、码速率、带宽及调制方式	12

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中关村空间信息产业技术联盟提出。

本标准由中关村空间信息产业技术联盟归口。

本标准起草单位：北京市计量检测科学研究院、北京华力创通科技股份有限公司、北京理工雷科电子信息技术有限公司等。

本标准主要起草人：梁炜、许原、仲崇霞、何岩、孙东、谢小刚。

本标准 2018 年 11 月 09 日首次发布

全球导航卫星系统(GNSS)信号模拟器要求

1 范围

本标准规定了全球导航卫星系统（GNSS）卫星信号的模拟器的系统构成、功能要求、性能要求、安全要求、试验方法和验收方法。

本标准适用于全球导航卫星系统信号模拟器。

本标准不承担识别专利的责任。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 19391-2003 全球定位系统（GPS）术语及定义

JJF 1180-2007 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1188-2008 无线电计量名词术语及定义

JJF 1471-2014 全球导航卫星系统（GNSS）信号模拟器校准规范

BD 420012-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）信号模拟器性能要求及测试方法

3 术语和定义、缩略语

3.1 术语和定义

3.1.1 全球导航卫星系统(GNSS)信号模拟器 GNSS signal simulator

能够按照卫星信号和用户定义仿真参数模拟产生于卫星导航信号原理特性一致的信号的一种设备。

3.1.2 仿真场景 Simulation Scenario

GNSS 信号模拟器在进行仿真设置时定义的一组数据，用于表征卫星导航接收机观测到的卫星信号特征和信号环境特征。

3.1.3 内部通道延迟 Internal channel delay

模拟器内部通道的信道特性引入的信号时间延迟。

3.1.4 误差矢量幅度 Error vector magnitude, EVM

误差矢量信号平均功率的均方根值与理想信号平均功率的均方根值之比，以百分比的形式表示。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本标准。

GNSS ——Global Navigation Satellite System, 全球导航卫星系统;

BPSK ——Binary Phase Shift Keying, 两相移键控调制;

QPSK ——Quadrature Phase Shift Keying, 四相移键控调制;

FDMA ——Frequency Division Multiple Acces, 频分多址;

ECEF ——Earth-Centered, Eateh-Fixed, 地心地固坐标系;

PPS ——Pulse Per Second, 秒脉冲;

- RMS ——Root Mean Square, 均方根值;
- UTC ——Universal Time Coordinated, 协调世界时;
- RDSS ——Radio Determination Satellite Service, 无线电测定业务;
- RNSS ——Radio Navigation Satellite Service, 无线电导航业务;
- RPS ——Record and Playback System, 信号采集回放系统;
- ICD ——Interface Control Document. 接口控制文件。

4 分类及标识

- RNSS 信号模拟器, 可输出 RNSS 信号的模拟器。
- RDSS 信号模拟器, 可输出 RDSS 信号的模拟器。
- RNSS 和 RDSS 集成模拟器, 可输出 RNSS 和 RDSS 两种类型信号的模拟系统。
- RNSS 与 RPS 集成的模拟器, 可使用数学仿真平台生成模拟 RNSS 信号, 也可将采集存储的实景卫星导航信号回放输出的模拟器。

5 系统组成

全球导航卫星系统(GNSS)信号模拟器是一种半实物仿真测试系统,它可根据不同 GNSS 系统的信号体制、传输链路模型、载体运动模型等相关信息,采用 DSP/FPGA 技术在数字域进行直接信号合成,产生 GNSS 多星座多颗卫星的数字信号,并合成在一个射频通道输出,形成接收机可捕获的导航信号。

系统主要由数学仿真模块、信号生成模块、信号功率控制模块、时频基准模块、仿真控制模块、校准接口模块等组成,其基本结构和工作原理如图 1 所示。

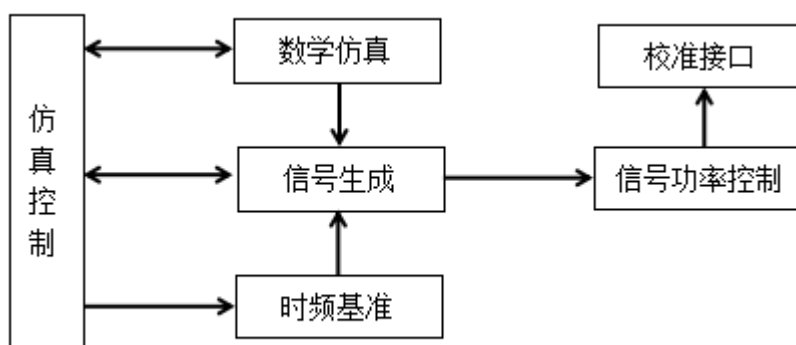


图 1 GNSS 信号模拟器基本结构和工作原理图

6 一般要求

6.1 通用要求

6.1.1 外观

GNSS 信号模拟器的外观应无锈蚀、锈斑、裂纹、褪色、污迹、变形、镀涂层脱落,亦无明显划痕、毛刺;塑料件应无起泡、开裂、变形;灌注物应无溢出等现象;结构件与控制组件应完整,无机械损伤。

6.1.2 铭牌

铭牌应有清晰持久的铭牌标志。铭牌应安装在主机外表面的醒目位置，铭牌尺寸应与主机结构尺寸相适宜。

铭牌应包括下列内容：

- GNSS 信号模拟器名称、型号及规格；
- GNSS 信号模拟器制造厂名及商标；
- GNSS 信号模拟器出厂年月及编号；
- GNSS 信号模拟器执行标准代号。

6.1.3 材质

应符合无毒害、无放射性的要求。

6.2 功能要求

6.2.1 自检要求

GNSS 信号模拟器应具备自检功能。通过信号灯或显示屏明确表示 GNSS 信号模拟器当前主要状态。若出现故障，则通过信号灯或显示屏等显示方式显示故障类型等信息。

6.2.2 支持的卫星导航系统频点和信号种类

GNSS 信号模拟器应能模拟目前在轨运行的 BDS/GPS/GLONASS/Galileo 四大导航系统中的一个或多个频点的公开导航信号。各频点信号中心频率、码速率、带宽及调制方式见附录 A。

6.2.3 数学仿真功能

GNSS 信号模拟器数学仿真模块应具备星座仿真、大气传播建模、用户轨迹仿真、天线建模仿真、多径仿真、外部星历注入、特殊事件仿真等功能，同时能够根据用户测试需求对仿真参数进行配置。具体包括：

- a) 星座仿真：应能完成 BDS、GPS、GLONASS、Galileo 导航卫星星座及其混合星座的仿真。
- b) 大气传播仿真：应能针对载体完成电离层延迟仿真和对流层延迟仿真。
- c) 用户轨迹仿真：应能模拟静态、动态载体的运动特性，仿真生成用户运动轨迹，支持外部轨迹注入仿真。
- d) 天线建模仿真：应具备用户终端天线方向图的建模仿真功能。
- e) 多径仿真：应具备多径仿真功能，多径信号的时延和衰减可设置
- f) 外部星历注入：可支持按外部输入的星历进行数学仿真。
- g) 特殊事件仿真：可支持包括闰秒调整、卫星故障、卫星伪距跳变、信号功率跳变等异常仿真。

6.2.4 评测软件功能

GNSS 信号模拟器应具备终端性能测试评估软件，可对被测接收机的定位、速度、灵敏度、首次定位时间、位置更新率等指标进行实时评估或后处理评估。

6.2.5 仿真控制软件功能

GNSS 信号模拟器应具备控制软件，可对模拟器输出进行信号中断、信号恢复、开关每一个可见星信号、调制方式选择和功率控制等。支持接收机；可仿真载体旋转；可仿真某颗卫星出现异常伪距，以测试接收机的自主完好性功能；支持外部轨迹注入；可输出高动态场景下接收机所需的惯导辅助信息。

6.2.6 显示功能

GNSS 信号模拟器应具备液晶显示屏，可显示卫星号、通道号、仿真时间、多普勒、伪距、卫星功率、载体位置、载体速度等信息。

6.2.7 断电保护功能

GNSS 信号模拟器应有断电保护功能，当 GNSS 信号模拟器断电，应自动进入保护状态。

6.3 性能要求

6.3.1 射频信号载波频率偏差

射频信号载波频率偏差： $\leq 10\text{Hz}$ 。

6.3.2 功率控制

6.3.2.1 功率范围

大信号功率范围： $(-60\sim-20)\text{dBm}$ ；小信号功率范围： $(-170\sim-70)\text{dBm}$ 。

6.3.2.2 功率分辨力

功率分辨力： $\leq 0.5\text{dB}$ 。

6.3.2.3 功率偏差

功率偏差： $\pm(0.1\sim 1)\text{dB}$ 。

6.3.3 动态范围

6.3.3.1 速度动态范围

速度动态范围： $(0\sim 36000)\text{m/s}$ 。

6.3.3.2 加速度动态范围

加速度动态范围： $(0\sim 1500)\text{m/s}^2$ 。

6.3.3.3 加加速度动态范围

加加速度动态范围： $(0\sim 3000)\text{m/s}^3$ 。

6.3.4 误差控制

6.3.4.1

伪距分辨力： $\leq 0.05\text{m}$ 。

6.3.4.2 伪距率分辨力

伪距率分辨力： $\leq 0.005\text{m/s}$ 。

6.3.4.3 内部通道延迟

内部通道延迟： $\leq 15\text{ns}$ 。

6.3.5 频谱纯度

6.3.5.1 谐波抑制

谐波抑制： $(-60\sim-20)\text{dBc}$

6.3.5.2 非谐波抑制

非谐波抑制： $(-60\sim-30)\text{dBc}$

6.3.5.3 相位噪声

不同频偏的相位噪声如下：

- $(-90\sim-60)\text{dBc/Hz}$ (频偏 10Hz)；
- $(-100\sim-65)\text{dBc/Hz}$ (频偏 100Hz)；
- $(-110\sim-70)\text{dBc/Hz}$ (频偏 1kHz)；
- $(-120\sim-80)\text{dBc/Hz}$ (频偏 10kHz)；
- $(-130\sim-85)\text{dBc/Hz}$ (频偏 100kHz)。

6.3.6 内部时基频率准确度和 1s 频率稳定度

频率准确度： $5 \times 10^{-8} \sim 5 \times 10^{-11}$ ；

1s 频率稳定度： $(1 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-12}) / s$ 。

6.3.7 误差矢量幅度

误差矢量幅度：2%~20%。

6.3.8 电气性能

GNSS 信号模拟器应能承受 1min 的极性反接试验和 1min 的电源过电压试验；电源特性：交流 220V，50Hz。

6.3.9 电磁兼容性要求

6.3.9.1 电磁骚扰特性

设备工作时的电磁骚扰发射测试应符合 GB 4824-2013《工业、科学和医学（ISM）射频设备电磁骚扰特性的测量方法和限值》中 1 组 A 类设备电磁骚扰限值得要求。限值见下表：

表 1 在试验场测量时，电源端子传导骚扰电压限值

频率范围 (MHz)	准峰值限值 (dB μ V)	平均值限值 (dB μ V)
0.15~0.50	79	66
0.50~5.00	73	60
5.00~30	73	60

表 2 在试验场测量时，10m 测量距离处的辐射骚扰限值

频率范围 (MHz)	准峰值限值 (dB μ V/m)
30~230	40
230~1000	47

注：在过渡频率处（230MHz）应采用较低的限值

6.3.9.2 静电放电抗扰度

依据 GB T17626.2-2016《电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验》的要求进行静电放电抗扰度试验，试验等级为 3 级。GNSS 信号模拟器试验中及试验后不应出现故障，各项功能应正常，储存的数据不应丢失或发生变化。

6.3.9.3 射频电磁场辐射抗扰度

依据 GB 17626.3-2016《电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验》的要求进行射频电磁场辐射抗扰度试验，试验等级为 3 级，频率为 80MHz~1000MHz，场强 10V/m。试验中及试验后 GNSS 信号模拟器不应出现故障，各项功能应正常，储存的数据不应丢失或发生变化。

6.4 环境要求

环境要求如下：

——工作温度：(0~+50)℃；

——存储温度：(-30~+70)℃；

- 相对湿度： $\leq 80\%$ ；
- 振动： $\leq 0.2g/100Hz$ ；
- 运输环境要求：满足三级公路运输要求。

6.5 接口要求

接口至少具备如下要求：

- 射频输出：N 型头；
- 外时钟输入：BNC Female, 10MHz；
- 内时钟输出：BNC Female, 10.23MHz；
- 秒脉冲输出：BNC Female, 1PPS；
- 同步触发输入/输出：BNC Female；
- 外部控制端口：以太网口。

7 安全要求

7.1 机械安全

在承受振动试验、冲击试验等机械环境试验后，应无永久性结构变形，无零部件损坏，无电气故障，无紧固部件松脱现象，无插头、通信接口等接插器脱落或接触不良现象，其各项功能等应保持正常，无试验前存储的信息丢失现象。

7.2 信息安全要求

设备应具备对使用过程中产生的数据进行加密的能力，具有防止数据泄露给非授权用户、实体或过程，或供其利用的特性。应具备测试结果数据未经授权不能进行改变的特性。

8 试验方法

8.1 环境条件

环境温度在 $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$ 内任选一点，温度变化不超过 $\pm 2^\circ\text{C}$ ；环境相对湿度 $\leq 80\%$ 。

8.2 外观及工作正常性检查

GNSS 信号模拟器外观应符合 6.1 要求，各项标识清晰完整，输入输出插座牢靠，按键及旋钮能正常动作并接触良好。模拟器通电后状态正常，显示器能正常显示。达到规定预热时间后各输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。

8.3 射频信号载波频率偏差

利用低噪声放大器将模拟器输出小信号放大至微波频率计的通道灵敏度 (-10dB) 以上，使用微波频率计对射频信号载波频率进行测量，如图 2 所示。按照 JJF 1471-2014 中 7.2.2 的方法测得射频信号载波频率偏差。

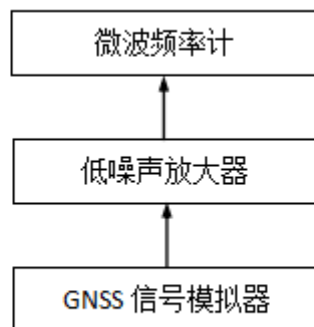


图 2 射频信号载波频率测试示意图

8.4 功率控制

8.4.1 功率范围

根据模拟器输出信号功率范围指标，设置信号最大和最小功率，利用功率计或测量接收机进行测量、记录，如图 3 所示。按照 JJF 1471-2014 中 7.2.3.1 的方法得到模拟器输出信号功率范围。



图 3 模拟器输出信号功率控制测试示意图

8.4.2 功率分辨力

利用功率计或测量接收机测量、记录模拟器初始信号功率和根据功率分辨力指标改变的信号功率，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.3.2 的方法得到功率分辨力。

8.4.3 功率偏差

在模拟器输出功率范围内，利用功率计或测量接收机测量至少 5 个功率点，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.3.3 的方法测得功率偏差。

8.5 动态特性

仪器连接如图 2 所示。

8.5.1 速度

设置载体径向初始速度为 0m/s，记录载波频率值，改变载体速度值并使速度恒定，记录载波频率值，基于多普勒频移原理，按公式（1）计算实际速度值。在速度范围内选取 3-5 个点，重复测量速度值。

$$v = \Delta f \times \frac{c}{f_0} \dots\dots\dots (1)$$

8.5.2 加速度

设置载体径向初始速度为 0m/s，记录载波频率值，设置载体按一定加速度匀加速 t 秒，加速结束后速度保持恒定，记录载波频率值，基于多普勒频移原理，按公式（2）计算实际加速度值。在加速度范围内选取 3-5 个点，重复测量加速度值。

$$a = \frac{\Delta f}{t} \times \frac{c}{f_0} \dots\dots\dots (2)$$

8.5.3 加加速度

设置载体径向初始速度为 0m/s，记录载波频率值，设置载体按一定加加速度运行 t 秒，运行结束后速度保持恒定，记录载波频率值，基于多普勒频移原理，按公式（3）计算实际加加速度值。在加加速度范围内选取 3-5 个点，重复测量加加速度值。

$$J = \frac{2\Delta f}{t^2} \times \frac{c}{f_0} \dots\dots\dots (3)$$

8.6 误差控制

8.6.1 伪距分辨力

如图 4 所示，实时采集高速数字示波器上 1PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差，根据模拟器伪距分辨力指标改变模拟器径向距离并采集高速数字示波器上 1PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.5.1 的方法测得伪距分辨力。

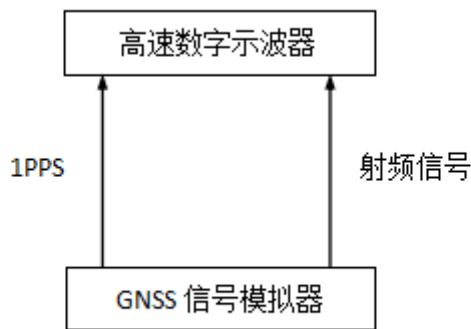


图 4 模拟器信号误差控制测试示意图

8.6.2 伪距率分辨力

实时采集高速数字示波器上 1PPS 信号与射频载波信号过零点的相位差，并采集径向速度改变规定时间后恢复为 0m/s 后的相位差，以及根据模拟器伪距率分辨力指标改变径向速度规定时间后恢复为 0m/s 后的相位差，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.5.2 的方法测得伪距率分辨力。

8.6.3 内部通道延迟

观察或实时采集计算高速数字示波器上 1PPS 信号与射频载波调制信号扩频码相位翻转点的时延差，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.5.3 的方法测得内部通道延迟。

8.7 频谱纯度

8.7.1 谐波抑制

利用（实时）频谱分析仪对模拟器输出信号进行分析，读取相应载频功率及其二次和三次谐波频率，如图 5 所示，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.6.1 的方法测得谐波抑制。

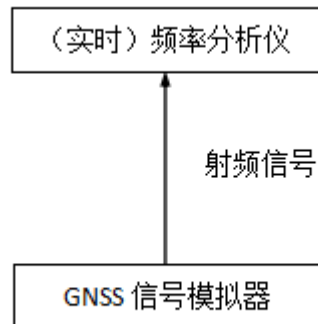


图 5 模拟器信号谐波测试示意图

8.7.2 非谐波抑制

利用（实时）频谱分析仪对模拟器输出信号进行分析，读取相应频带内（频偏参考技术说明书）杂波（非谐波）功率，按照 JJF 1471-2014 中 7.2.6.2 的方法测得非谐波抑制。

8.7.3 相位噪声

按照 JJF 1471-2014 中 7.2.6.3 的方法，利用相位噪声测量系统对模拟器输出信号进行分析，读取相应频点处的相位噪声，如图 6 所示。

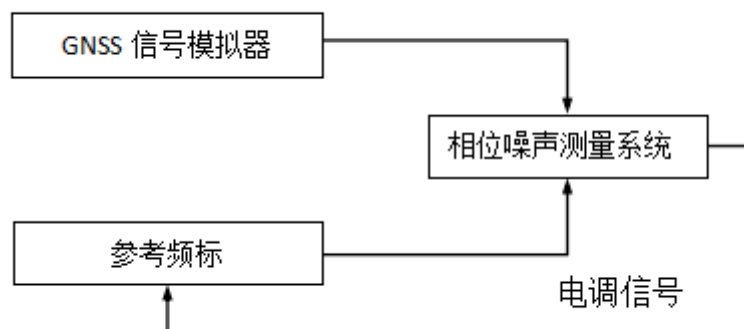


图 6 模拟器信号相位噪声测试示意图

8.8 内部时基频率准确度和 1s 频率稳定度

按照图 7 连接，取样时间 100s，测量相对频率偏差，其绝对值作为频率准确度；取样时间 1s 和取样组数 100，读取阿伦标准偏差值作为 1s 频率稳定度。

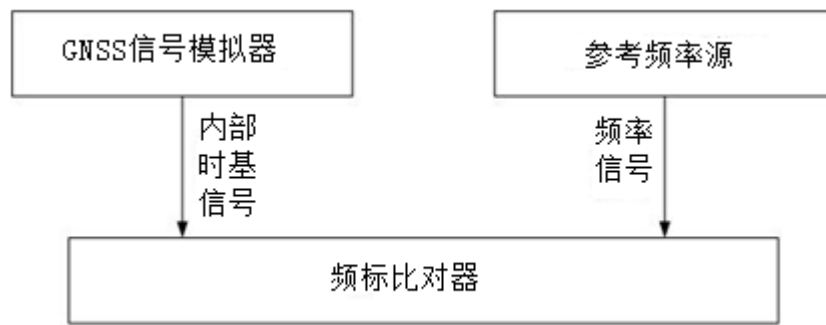


图7 模拟器内部时基频率准确度测试示意图

8.9 误差矢量幅度

按照 JJF 1471-2014 中 7.2.8 的方法，利用矢量信号分析仪测量误差矢量幅度，具体连接如图 8 所示。

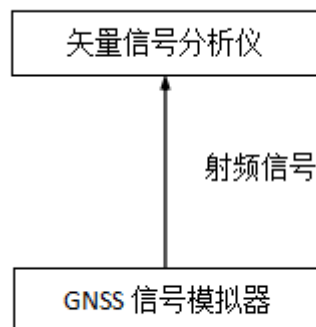


图8 模拟器信号调制误差矢量幅度测试示意图

9 验收

9.1 环境条件

验收时环境温度范围为 $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ，环境相对湿度 $\leq 80\%$ 。

9.2 检验规则

检验有出厂检验和型式检验。凡遇下列情况之一者，应进行型式检验：

- 新产品完成；
- 设计、材料或工艺上的变更足以引起某些性能发生变化；
- 出厂检验的结果与以前进行的型式检验结果发生不可容许的偏差；
- 定期质量抽查检验。

检验的样品有送检样品和抽检样品。检验要规定判定产品为合格或不合格的条件；规定不合格产品再次提出检验的复验规则。

型式检验可采用统计评定的抽样检验，或为了简化只在一个样品上进行。抽样检验要规定抽样方案，抽样和取样方法，判定规则及复验规则。

9.3 外观及工作正常性检查

卫星导航模拟器外观应符合 6.1 要求，各项标识清晰完整，输入输出插座牢靠，按键及旋钮能正

常动作并接触良好。模拟器通电后状态正常，显示器能正常显示。达到规定预热时间后各输出端有相应信号输出，各项功能检查正常。

9.4 功能检查

用目测法检查仪器，其结果应符合 6 中的要求。

9.5 性能检查

按照 8 的试验方法进行仪器性能检验，应符合 6 中的要求。

9.6 检验合格证

每台出厂的产品应有检验合格证，检验合格证应有如下内容：

- 产品名称、型号；
- 制造商名称；
- 执行的产品标准编号；
- 出厂检验结论、检验日期；
- 检验员标识或检验员代号。

9.7 包装

外包装应体现如下内容：

- 中文产品名称和型号，额定电源电压、电源频率等主要电气参数，结构尺寸、整机重量；
- 制造商名称、详细地址、产品产地、商标或标识；
- 产品所执行的、符合的标准编号及标准名称；
- 包装箱应符合防潮、防尘、防震、运输的要求；
- 单个包装箱内应有使用说明书、保修卡、检验合格证及装箱清单。

附录 A
(资料性附录)
部分频点信号中心频率、码速率、带宽及调制方式

系统	信号	中心频率 MHz	码速率 Mcps	带宽 MHz	调制方式
BDS	B1I	1561.098	2.046	4.092	BPSK
	B2I	1561.098	2.046	4.092	BPSK
GPS	L1 C/A	1207.14	1.023	2.046	BPSK
	L1 P(Y)	1575.42	10.23	20.46	BPSK
	L2 C	1227.60	1.023	2.046	BPSK
	L2 P(Y)	1227.60	10.23	20.46	BPSK
	L5	1176.45	10.23	20.46	QPSK
GLONASS	L1	$1602+0.5625*K$ $K=(-7\sim6)$	0.511	8.3345	FDMA
	L2	$1246+0.4375*K$ $K=(-7\sim6)$	0.511	6.7095	FDMA
Galileo	E1	1575.42	1.023	14.322	CBOC
	E5a	1176.45	10.23	20.46	QPSK
	E5b	1207.14	10.23	20.46	QPSK
	E5	1191.795	10.23	51.150	A1tBOC