

# 电磁兼容RS101测试项目校验研究

张静静 胡国良

中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所 北京 100095

**摘要：**电磁兼容测试是定量对电子设备产生的电磁发射及其抗干扰能力进行的测试，而校验是确保测试结果准确性和可靠性的重要环节。本文介绍了RS101项目的校验理论基础，建立了校验系统，分析了校验结果的影响因素，给出了标准不确定度的分析过程，得出针对RS101测试项目校验系统的不确定度结果。

**关键词：**电磁兼容；校验；EMC测试；标准；天线系数

## 引言

电磁兼容一方面是指电子设备在正常运行过程中对所在环境产生的电磁干扰不能超过一定的限值<sup>[1]</sup>，另一方面是指电子设备对所在环境中存在的电磁干扰具有一定程度的抗扰度，即电磁敏感性<sup>[2]</sup>。任何电子和电气产品都会向空间辐射电磁波，或受到空间电磁波的干扰。目前，许多国家和组织都制定了与电磁兼容相关的标准和规范，电磁兼容性测试属于3C强制认证的范围<sup>[3]</sup>。测试结果需具备可重复性和对比性。

校验是在规定条件下，为确定计量仪器或测量系统的示值或实物量具有标准物质所代表的值与相对应被测量的已知值之间关系的一组操作。本文以GJB 151B-2013《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量》中的RS101测试项目为例，介绍RS101校验过程，进行相应的不确定度分析，最终给出RS101校验的不确定度。

## 1 RS101 校验概述

RS101在GJB 151B-2013标准中是25Hz~100kHz磁场辐射敏感度试验，考核的是EUT承受低频磁场干扰的能力。当按相应磁场限值进行试验时，EUT不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值，则试验通过。在试验开始前需要进行校验确保标准试验的实施。

### 1.1 RS101校验参数

距离辐射环天线5cm处RS101测试系统施加的磁通密度。

### 1.2 RS101校验方法

利用场强监测环天线对距离辐射环天线5cm处的磁通密度进行测试，输出值在期望值的±3dB以内，则认为校验通过。根据GJB 151B-2013中校验方法，按图1进行校验配置（测量接收机B可用满足技术要求同精度的示波器或频谱仪代替）。测量接收机B测得的电压均方根值*V*（单位：

dBμV）与场强监测环天线的天线系数*AF*（单位：dB（pT/μV））叠加后得到距离辐射环天线5cm处RS101测试系统施加的磁通密度*Mag*（单位：dBpT），即：

$$Mag = V + AF$$

其中：

*Mag*为距离辐射环天线5cm处RS101测试系统施加的磁通密度，单位：dBpT；

*V*为测量接收机B测得的电压均方根值，单位：dBμV；

*AF*为场强监测环天线的天线系数，单位：dB（pT/μV）。

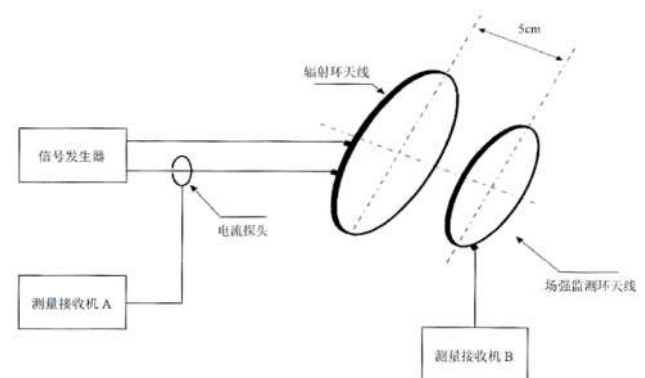


图1 RS101校验配置

## 2 校验验证与结果分析

### 2.1 环境条件

温度：室温（15℃~35℃）；

相对湿度：30%~60%；

环境压力：86kPa~106kPa；

其他：参照GJB 151B-2013《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求与测量》规定的其他环境条件实施。

### 2.2 RS101校验使用仪器设备

根据图1 RS101校验配置，确定了RS101校验仪器设备，见表1。

表1 RS101校验仪器设备

序号	名称	型号	编号	测量范围	准确度等级、最大允许误差或扩展不确定度
1	EMI测试接收机	ESW44	103197	3dB带宽: 5Hz~10MHz 6dB带宽: 10Hz~10MHz 参考电平范围: -70dBm~-10dBm 频率范围: 20Hz~44GHz 峰值检波示值: 90dB $\mu$ V	3dB带宽最大允许误差: $\pm 3\%$ 6dB带宽最大允许误差: $\pm 3\%$ 参考电平范围最大允许误差: $\pm 2$ dB 峰值检波示值最大允许误差: $\pm 1.5$ dB
2	函数信号发生器	33509B	MY62000164	正弦波: 25Hz~20MHz ①高阻状态、1kHz条件下峰峰值: 20mV~20V ②50 $\Omega$ 、1kHz条件下峰峰值: 20mV~10V	正弦波最大允许误差: $\pm (1 \times 10^{-6})$ ①高阻状态、1kHz条件下峰峰值最大允许误差: $\pm (1.1\%)$ ②50 $\Omega$ 、1kHz条件下峰峰值最大允许误差: $\pm (1.1\%)$
3	环形传感器	9229-1	222802-4	频率范围: 10Hz~100kHz 磁场天线系数: (36.0~108.0) dB(pT/ $\mu$ V)	磁场天线系数: $U = 1.0$ dB ( $k = 2$ )
4	音频功率放大器	7224	7224-0320-2372	频率范围: 25Hz~150kHz; 连接0.5 $\Omega$ 负载的输出功率: (10~85) W。	连接0.5 $\Omega$ 负载的输出功率: $U = 1.9$ dB ( $k = 2$ )
5	电流探头	F-14	197857	频率范围: 10Hz~500kHz; 传输阻抗: (-37.0 ~ -18.7) dB $\Omega$	传输阻抗: $U = 1.0$ dB ( $k = 2$ )
6	辐射环天线	9230-1	222802-3	频率范围: 10Hz~150kHz	环天线磁场辐射偏差: $U = 1.3$ dB ( $k = 2$ )
7	示波器	MDO34-3-BW-500	C051960	幅度: 5mV/div~10V/div 带宽: 500MHz	幅度: $\pm 5\%$ 带宽: $U_{rel} = 5\%$ ( $k = 2$ )

### 2.3 校验步骤

根据2.2 RS101校验方法确定校验的步骤如下:

(1) 校验前, 确保测试软件中辐射环天线的校验系数是最新的; (2) 根据图1进行校验配置; (3) 校验前, 提前预热各仪器设备; (4) 示波器设置的参数见表2;

表2 示波器参数设置

参数	设置值
耦合	交流
阻抗	1M $\Omega$
反相	关闭
带宽限制	关闭
测量值	有效值
参数	设置值

(5) 测试人员操作RS101测试系统, 同时监测环形传感器输出端的信号电平。测试过程中, 入射信号的功率电平保持在所测频率点GJB 151B-2013中陆军曲线所要求的电平; (6) 注入信号达到要求时, 测试人员测量并记录环形传感器输出端的信号电平; (7) 按表3读取第一个频率点处的数据, 记录测量数据, 数据保留小数点后一位数字; (8) 分别选择其他测试频率点, 重复步骤(5)~(7), 直至完成所有频率点的测量。

### 2.4 数据记录与结果分析

完成所有频率点的校验后, 整理校验数据见表3。

表3 RS101校验结果记录

序号	频率 kHz	示波器 读数		天线 系数 dB (pT/ $\mu$ V)	磁通密度	磁通密度	测试值与标 准值的差值
		mV	dBuV		测试值	标准值	
1	0.025	12.8	82.14	100.7	182.84	182.0	0.84
2	0.075	24.1	87.64	90.5	178.14	178.48	-0.34
3	0.125	23.0	87.23	86.8	174.03	174.04	-0.01
4	0.525	22.0	86.85	73.0	159.85	161.58	-1.73
5	1	21.9	86.81	67.3	154.11	155.99	-1.88
6	3	21.5	86.65	58.0	144.65	146.45	-1.80
7	5	21.3	86.57	53.0	139.57	142.01	-2.44
8	11	20.2	86.11	47.0	133.11	135.17	-2.06
9	21	18.6	85.39	42.0	127.39	129.55	-2.16
10	51	12.2	81.72	38.0	119.72	121.85	-2.13
11	99	7.22	77.17	36.7	113.87	116.09	-2.22

根据表4中测试值与标准值的差值可以看出, 测试值与标准值均未超过3dB, 校验通过。

### 3 不确定度分析

对于RS101的校验不确定度, 一般主要考虑以下几个方面不确定度因素的影响:

1) 测量接收机的测量重复性, 2) 测量接收机的电压示值, 3) 测量接收机脉冲响应, 4) 测量接收机频率响应, 5) 测量接收机平均噪声电平, 6) 测量接收机输入端口驻波比, 7) 环形传感器的天线系数, 8) 电流探头的传输阻抗, 9) 函数信号发生器的正弦波输出幅度, 10) 音频功率放大器的功率值, 11) 示波器的输入阻抗, 12) 辐射环天线的天线系数。

3.1 测量模型

$$Y = f(V_r, V_{sw}, V_{pa}, V_{pr}, V_{nf}, M, A_i, f_A, S, G, Z, A_2)$$

$V_r$  — 测量接收机的测量重复性;

$V_{sw}$  — 测量接收机电压示值;

$V_{pa}$  — 测量接收机脉冲响应;

$V_{pr}$  — 测量接收机频率响应;

$V_{nf}$  — 测量接收机平均噪声电平;

$M$  — 测量接收机输入端口驻波比;

$A_i$  — 环形传感器的天线系数;

$f_A$  — 电流探头的频率响应;

$S$  — 函数信号发生器的正弦波输出幅度;

$G$  — 音频功率放大器的功率值;

$Z$  — 示波器的输入电阻;

$A_2$  — 辐射环天线的天线系数。

3.2 灵敏系数

灵敏系数描述各输入分量对输出估计值Y的总的不确定度的贡献大小。本数学模型取各分量灵敏系数均为1。

3.3 标准不确定度的评定

1) 测量接收机测量重复性引入的标准不确定度 $u_A$

在DC28V供电条件下, 对20Ω电阻进行CE102测试项目的测试。采用A类方法进行评定, 在频率1MHz的重复性条件下, 连续测量十次数据, 结果如表4所示。

表4 测量重复性数据

次数(n)	$x_i$ (dBμV)	$\bar{x}$	$v_i = x_i - \bar{x}$ (dBμV)	$v_i^2$	$\sum_{i=1}^n v_i^2$
1	29.350	28.9827	0.3673	0.1349	2.3582
2	29.039		0.0563	0.0032	
3	28.845		0.1377	0.0190	
4	29.607		0.6243	0.3898	
5	29.888		0.9053	0.8196	
6	28.440		0.5427	0.2945	
7	28.528		0.4547	0.2068	
8	28.929		0.0537	0.0029	
9	28.288		0.6947	0.4826	
10	28.913		0.0697	0.0049	

按如下公式计算:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}} = 0.6\%$$

测量接收机测量重复性引入的标准不确定度:

$$u_A = 20 \lg(1 + 0.6\%) = 0.052 \text{ dB}$$

2) 测量接收机电压示值引入的标准不确定度 $u_{B1}$

根据测量接收机的校验证书, 测量接收机电压示值测量引入的最大扩展不确定度 $U = 0.3 \text{ dB}$  ( $k = 2$ ), 10kHz~10MHz频率范围内测量接收机电压示值测量引入的最大标准不确定度 $u_{B1} = 0.3 \text{ dB} / 2 = 0.15 \text{ dB}$ 。

3) 测量接收机脉冲响应引入的标准不确定度 $u_{B2}$

根据测量接收机的校验证书, 测量接收机脉冲响应引入的最大扩展不确定度 $U = 0.5 \text{ dB}$  ( $k = 2$ ), 测量接收机脉冲响应引入的标准不确定度 $u_{B2} = 0.5 \text{ dB} / 2 = 0.25 \text{ dB}$ 。

4) 测量接收机频率响应引入的标准不确定度 $u_{B3}$

根据测量接收机的校验证书, 测量接收机频率响应引入的最大扩展不确定度 $U = 0.1 \text{ dB}$  ( $k = 2$ ), 测量接收机频率响应引入的标准不确定度 $u_{B3} = 0.1 \text{ dB} / 2 = 0.05 \text{ dB}$ 。

5) 测量接收机平均噪声电平引入的标准不确定度 $u_{B4}$

根据测量接收机的校验证书, 测量接收机平均噪声电平引入的最大扩展不确定度 $U = 1.0 \text{ dB}$  ( $k = 2$ ), 测量接收机平均噪声电平引入的标准不确定度 $u_{B4} = 1.0 \text{ dB} / 2 = 0.5 \text{ dB}$ 。

6) 测量接收机输入端口驻波比引入的标准不确定度 $u_{B5}$

根据测量接收机的校验证书, 在0~1GHz 范围内, 测量接收机的驻波比VSWR不大于1.2, 参照 GB/T6113.402-2006 中附录 A.5 的第7)条失配误差的计算方法, 由此计算出的测量接收机因输入端口驻波比的误差(-0.8~+0.7), 服从U型分布,  $k = \sqrt{2}$ ,  $u_{B5} = (1.2/2) / \sqrt{2} \text{ dB} = 0.49 \text{ dB}$ 。

4 结论

本文根据RS101试验特点, 结合GJB 151B-2013标准研究了其校验方法, 并确定了RS101校验步骤。校验结果表明, 测试值和标准值差值最高为2.44dB, 未超过3dB, 校验通过。另外对校验过程进行不确定度分析和计算, 得到RS101校验的不确定度为3.4dB。

参考文献

[1] 王玉红, 郑跃军, 王忍. 浅谈电磁兼容技术[J]. 工业控制计算机, 2013, 026(008):107-108,110.  
 [2] 刘靖洁, 刘晓方, 陈桂明. 屏蔽在电磁兼容设计中的应用[J]. 山西电子技术, 2006, 000(005):25-25,62.  
 [3] 程路, 苏东林等. 电磁兼容自动测试系统中的数据管理[J]. 电子测量技术, 2006, 29(2): 155-156.