

DOI: 10.13382/j.jemi.2017.02.004

国军标 151B RE102 低频段测试方法分析与研究*

胡 广¹ 万发雨^{1,2}

(1. 南京信息工程大学 电子与信息工程学院 南京 210044;
2. 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心 南京 210044)

摘 要:国军标 151B RE102 与国军标 151A 低于 30 MHz 频段的测试方法相比,拉杆天线的接地方式和高度上有重大调整,直接影响测试结果的精确度。为研究测试方法的改变对测试结果的影响,利用仿真和实验的方法,基于电路和电磁理论从两种标准中关于拉杆天线的接地网络和高度的不同点入手对测试结果的差异性进行分析,得出旧标准测试结果在 2~30 MHz 频段高出新标准 5~10 dB,并且测试结果表明旧标准的测试方法易产生谐振现象,在低频段电源线是导致 RE102 超标的主要原因。对于贯彻国军标 151B 有推进作用,有助于 EMC 工程师理解接地方式对 EMI 测试的影响和对电子设备 RE102 测试结果进行分析,便于更好地处理辐射超标和异常结果,同时避免对电子设备辐射发射的误判。

关键词:辐射发射;GJB151A;GJB151B;拉杆天线;接地网络

中图分类号: TM937.5; TN98 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

Analysis and research of GJB151B RE102 low frequency test method

Hu Guang¹ Wan Fayu^{1,2}

(1. College of Electronics and Information Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Compared GJB151B RE102 test method lower than 30 MHz frequency band with that of GJB151A, the rod antenna grounding network and the height are changed greatly, which directly influences the accuracy of measurement results. To research the influence of the changed test method on measurement results, simulation and experimental methods are utilized, the different measurement results caused by different grounding network and the height of rod antenna are analyzed based on the circuit theory and electromagnetic theory. Finally, the paper concluded that the radiated emission results by GJB151A standard are 5~10 dB higher than that of GJB151B in 2~30 MHz frequency band. These measurement results also show that the GJB151A test setup will lead to resonance phenomenon. Furthermore, the power cord is the main reason that RE102 measurement results exceed the limit line at low frequency. The research will promote the implementation of GJB151B, help EMC engineers to understand the impact of grounding for EMI test and analyze RE102 measurement results of electronic equipment. It also helps them to handle results exceeded limit line and abnormal results, and to avoid giving misjudgment about radiated emission of electronic equipment.

Keywords: radiated emission; GJB151A; GJB151B; rod antenna; grounding network

1 引 言

近年来,在各种电波暗室中针对 RE102 低频段范围

内电磁辐射发射特性的研究成为热点,对 EMI (electromagnetic interference) 测试分析的研究有利于制定更加适应电子科学技术发展需求的标准,从而有效的减少对电子设备辐射发射测试结果的错误判断^[1-3]。目

收稿日期:2016-06 Received Date: 2016-06

* 基金项目:国家自然科学基金(61601233)、江苏省自然科学基金(BK20150918)、江苏省高校自然科学研究基金(14KJB510017)、江苏省双创团队人才计划(SRCB201526)、江苏省“信息与通信工程”优势学科资助项目

前对于电子设备电磁兼容性测试,世界上各个国家和国际组织建立属于自己的测试标准,例如:MIL-STD-461、RTCA DO-160、CISPR 25、GJB 等。上述各标准的不同版本均涉及到拉杆天线的测试布置,如 MIL-STD-461E^[4]、MIL-STD-461F^[5]、CISPR 25 3rd^[6]、GJB151A^[7]、GJB151B^[8] 等。在电磁辐射发射测试过程中,拉杆天线的传统接地方式是通过搭接条与参考地连接。在 IEEE EMC 的专题研讨会上文献[9]讨论了在不同的电波暗室内拉杆天线传统的接地方式对测试结果的影响,最终指出美军标中拉杆天线地网连接方式需要修改才能提高辐射发射测试的精确度,也便于同其他标准的要求相适应。美国学者 Swanson^[10]从暗室大小、搭接条宽度、暗室吸波材料类型等方面,利用计算机电磁仿真分析了低于 100 MHz 频率范围内 MIL-STD-461E 和 MIL-STD-461F 关于 RE102 测试项中的接地方式的改变。美国空军研究实验室 AFRL 的分析报告中给出了美军标对拉杆天线布置修改的原因。上述各文献针对标准中电磁辐射发射测试的研究方法为本文的分析和研究提供了基础,但是这些文献没有具体研究标准,分标准修正前后针对同一待测设备电磁辐射发射测试结果的差异性及其影响。

本文针对国军标新旧标准关于 RE102 低频段拉杆天线接地方式和高度的改变,基于电磁仿真和实验测试的研究方法,并结合电路和电磁理论对仿真和测试结果的差异性进行分析和研究。

2 电磁仿真

实验建模中关于杆天线的布置按照 GJB151A 和 GJB151B 两种标准的要求对拉杆天线进行测试布置。图 1 和 2 所示是两种标准下对拉杆天线定位。

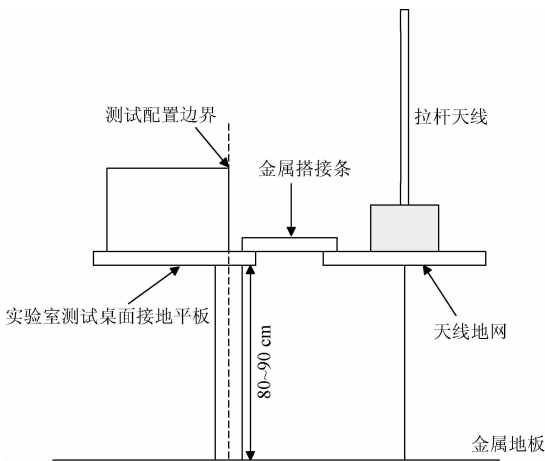


图 1 GJB151A 拉杆天线定位

Fig. 1 Rod antenna location of GJB151A

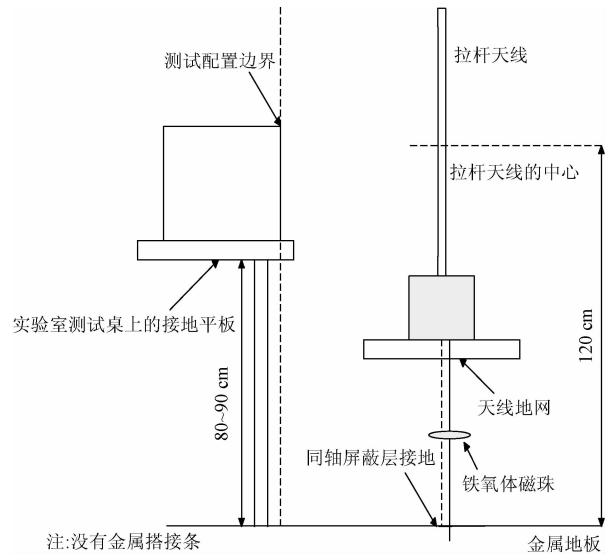


图 2 GJB151B 拉杆天线定位

Fig. 2 Rod antenna location of GJB151B

从图 1 和 2 中可以看出 GJB151A 标准中拉杆天线的地网直接通过搭接条和接地板相连接,且地网与接地板等高。而 GJB151B 标准则是通过同轴电缆的屏蔽层接地,在同轴电缆中点处添加了一个铁氧体磁珠,同时天线的杆状中心处距离地板的高度为 120 cm。

总之,两种标准中关于拉杆天线布置的主要区别体现在拉杆天线的接地方式和地网所处的高度。针对上述差异首先采用电磁仿真进行分析和研究。

利用基于时域有限差分 (finite different time domain, FDTD)^[11] 算法的德国商用 CST (computer simulation technology) 软件对两种布置的拉杆天线进行建模。通过 CST 分别仿真两种不同布置下的拉杆天线接收线板结构辐射体产生的电磁辐射发射强度。

模型中金属导线严格按照国军标中辐射发射测试的要求进行布置,如图 3 所示。分别距离测试桌面金属板上方 $H=5\text{ cm}$ 和桌边 $L1=10\text{ cm}$ 处放置 $R=1.32\text{ mm}$, 长度 $L2=125\text{ cm}$ 的金属导线, 拉杆天线距离金属导线 $L=$

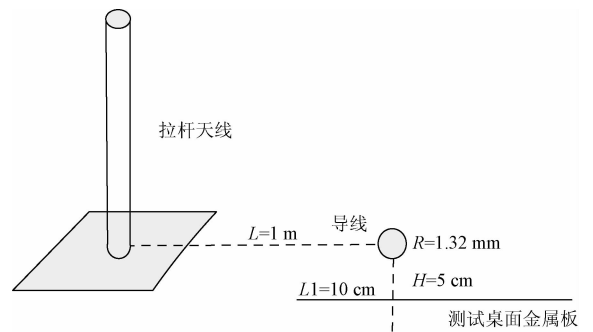


图 3 导线和拉杆天线相对位置图

Fig. 3 Relative position of wire and rod antenna

1 m。金属导线始端添加 50 Ω 离散端口 1, 终端设置短路 (S/C)、开路 (O/C) 两种不同的状态, 分析低频段下不同终端状态对辐射发射的影响^[12]。

天线建模中涉及到有源拉杆天线, 为了确保天线输入阻抗匹配在杆天线和地网之间添加波导端口 2。此外, 在 GJB151B 标准中拉杆天线利用套有铁氧体磁珠的同轴线屏蔽层进行接地, 建模时在地网金属面和金属接地线之间利用串联 RL 元件代替复杂的铁氧体磁珠。仿真模型如图 4 和 5 所示, 仿真结果如图 6 ~ 8 所示。

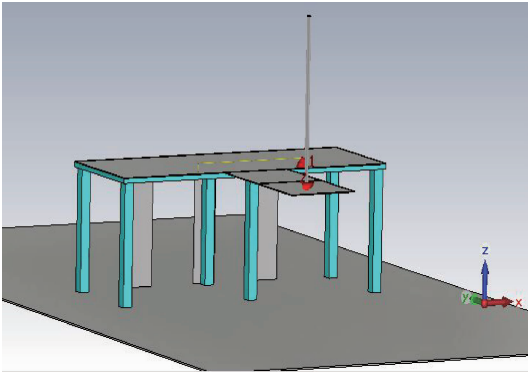


图 4 GJB151A 仿真模型

Fig. 4 Simulation model of GJB151A

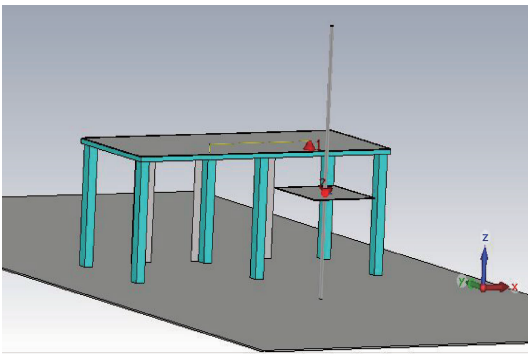


图 5 GJB151B 仿真模型

Fig. 5 Simulation model of GJB151A

图 6 所示为金属导线终端处于短路状态, S_{21} 仿真结果。从图上可以看出旧标准下仿真结果高于新标准测试结果 10 dB, 旧标准仿真结果在 17 MHz 存在明显的谐振。由于旧标准中采用金属搭接条接地, 搭接条和地板之间形成 LC 谐振回路, 而新标准中采用同轴线接地破坏了谐振回路。总体上讲, 修改后的新标准明显降低了从导线上耦合到拉杆天线的电磁辐射。

从图 7 可以看出, 当金属单线距离金属板的高度 H 增加 5 cm, 在整个频段范围内 S_{21} 随之增加 10 dB。根据天线理论的知识知在导线距离金属板很近的情况下, 导线处于短路状态, 整个结构的辐射主要源于垂直于金属

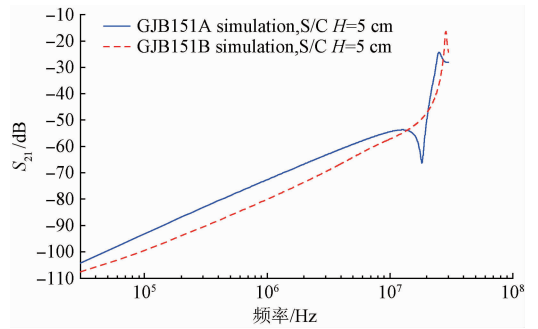


图 6 两种标准下 S_{21} 仿真结果

Fig. 6 S_{21} simulation results under both standards

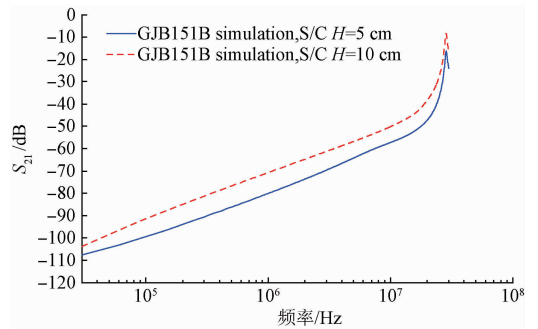


图 7 单线处于不同高度下 S_{21} 仿真结果

Fig. 7 S_{21} simulation results of single wire at different heights

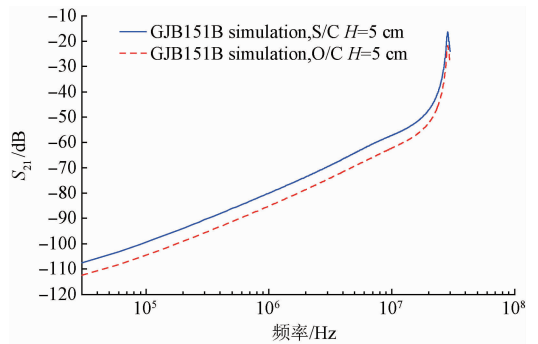


图 8 单线终端处于不同状态下 S_{21} 仿真结果

Fig. 8 S_{21} simulation results of single wire at different terminal states

板的短路线^[13]。短路部分的等效辐射阻抗值近似计算如下^[14]：

$$R_{\text{rad}} = 80\pi^2 \left(\frac{H}{\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

式中: λ 为电磁波在真空中的波长, H 为单导线距离金属板的距离。从式(1)可以看出, 随着高度 H 的增加, 接地线的等效辐射阻抗随之增大, 最终导致整个线板辐射体整体产生的辐射强度增加。图 8 所示为金属单线终端分

别处于短路和开路状态下二端口网络仿真结果,结果显示终端短路状态下 S_{21} 高于终端开路状态 5 dB。通过比较图 7 和 8 可以看出,在导线距离金属板的高度 H 很小的情况下,高度在线板辐射体辐射强度中起主导作用。

由于上述各种状态的仿真中为了建模的方便没有涉及到有源拉杆天线的匹配网络和铁氧体磁珠。实际上有源拉杆天线通过阻抗匹配网络实现与同轴线的阻抗匹配;模型中的 RL 串联元件并不能完全表现标准中要求铁氧体磁珠在 20 MHz 时阻抗值为 20 ~ 30 Ω 的电气特性。上述仿真模型和实物之间的差异直接影响仿真结果的精确性。为了研究的准确性,下面通过实验测试进一步探讨新旧标准关于低频段 RE102 测试结果的差异性。

3 实验测试

3.1 单线线板结构测试

在半电波暗室利用安捷伦 N9918A 便携式网络分析仪对电磁仿真中单线线板结构的辐射体进行二端口网络 S_{21} 测试。为了测试的便利,设置导线终端为短路状态。其中拉杆天线按照 GJB151B 标准进行布置。测试整体布置如图 9 ~ 11 所示,测试结果如图 12 所示。

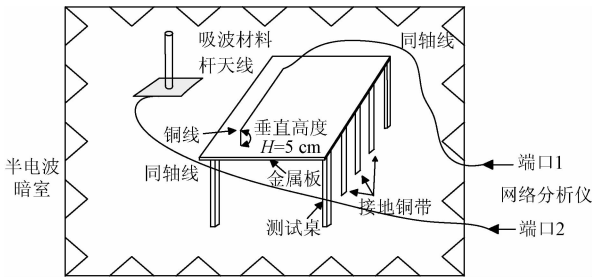


图 9 测试示意图
Fig. 9 Schematic diagram of test



图 10 单线布置
Fig. 10 Single wire arrangement diagram

实验测试所用拉杆天线是电小尺寸天线,通常为了实现天线端口的匹配常利用有源阻抗匹配网络。在测试

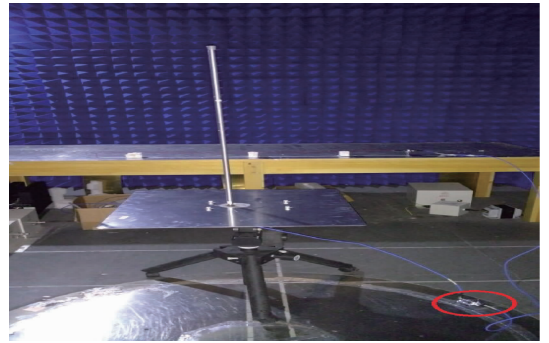


图 11 GJB151B 测试布置
Fig. 11 Arrangement diagram of GJB151B test

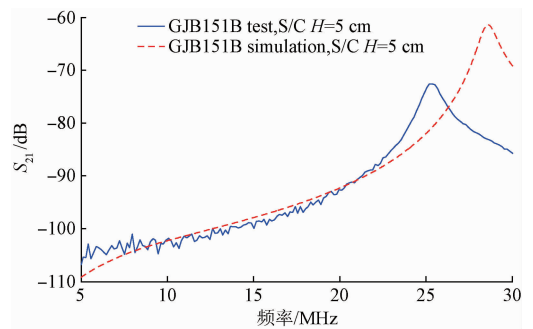


图 12 S_{21} 仿真与测试结果
Fig. 12 S_{21} simulation and test results

中拉杆天线接收电磁波信号很微弱,经常采用内置放大器实现信号放大,然后经同轴线输出。故测试和仿真结果对比时,考虑杆天线匹配电路的放大作用,对测试结果进行修正。

通过对比图 12 仿真和测试的结果,可以看出二者在曲线变化趋势上是一致的,谐振频点发生了偏移。由于仿真中没有考虑同轴线长度的影响。而实验测试时拉杆天线输出同轴线存在一定的长度,而同轴线缆的长度直接影响杆天线等效电容 C 的大小^[15],如图 13 所示,进而影响谐振频点^[16]。

针对上述仿真和测试存在的差异,为了确保研究的严谨性,选取典型的待测设备进行实际 RE102 测试,利用 EMI 接收机观察辐射发射强度。在测试的过程中,采用同一 EUT (equipment under test),设备的摆放位置及与其连接的线缆束的布置在整个测试的过程中是固定不变的,从而避免因其他干扰因素造成测试结果的差异。

3.2 不同标准下 EUT 测试对比

国军标中针对 EUT 的辐射发射测试,测试原理如图 14 所示。在半电波暗室中放置待测设备和接收天线,测试人员在控制室的计算机上运行电磁兼容测试软件,控

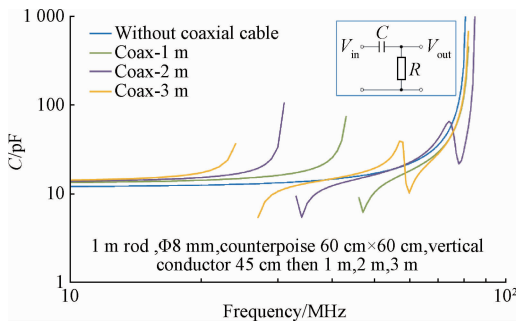


图 13 同轴线长度对拉杆天线等效电容的影响^[16]

Fig. 13 The effect of coaxial cable length on rod antenna equivalent capacitance^[16]

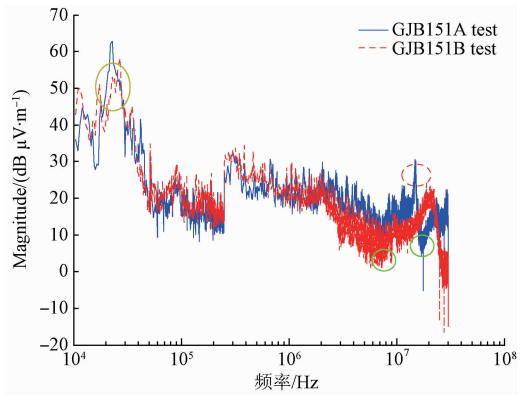


图 15 待测设备测试结果

Fig. 15 Test results of EUT

制 EMI 接收机采集指定频率范围内的信号电平值,EMI 接收机经过数据修正后得到测试数据。

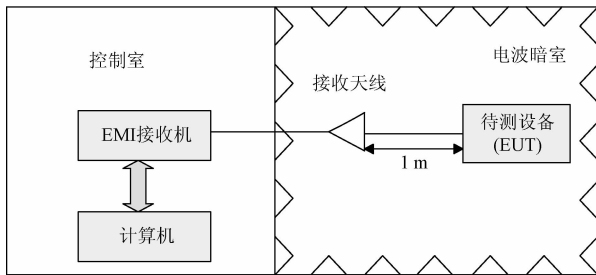


图 14 EMI 测试原理

Fig. 14 Schematic diagram of EMI test

图 15 所示结果是待测设备在交流供电时,正常工作情况下的测试结果。从测试结果上可以看出,在 1 ~ 30 MHz 频率段内新标准的测试结果低于旧标准 5 dB 左右,旧标准测试结果在 15 MHz 存在明显的谐振现象。实际测试中采用的 220 V 工频交流电易产生各次谐波干扰,造成测试结果在 25 kHz 附近存在波动。此外,实际测试中环境噪声的存在,造成测试的不确定性,导致测试结果在个别频点发生频率偏移。

3.3 EUT 交流和直流供电下测试对比

3.2 节中的测试是待测设备在交流电源通过线性阻抗匹配网络(line impedance stabilization network, LISN)供电情况下进行工作,供电的过程中涉及到电源线和适配器可能对测试结果产生影响,为了验证上述考虑。在无交流电源供电的情况下,待测设备利用自带电池直流供电工作,进行两种标准下的测试。选取了 GJB151B 标准下测试结果与待测设备交流供电下的测试结果进行对比,如图 16 所示。

图 16 测试的结果可以看出,在同一标准下待测设备在交流和直流供电情况下的测试结果存在很大的差异。从中可以看出在直流电源供电的情况下,拉杆天线接收

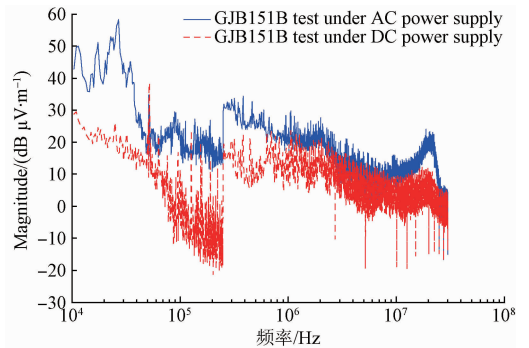


图 16 GJB151B 标准待测设备交流和直流供电测试结果

Fig. 16 GJB151B test results with AC and DC power supply

到电磁辐射强度明显降低,故可知电源线和电源适配器工作时也产生了电磁辐射。待测设备交流供电时,电源适配器将交流电压转换为待测设备工作的直流电压,在短时间内快速的进行高低电压的切换,将会产生很大的尖峰电流和谐波干扰,谐波能量通过电源线辐射到空间中,产生电磁辐射干扰。在低频段 RE102 测试中电源线产生了很强的电磁辐射,甚至导致辐射超标。

3.4 EUT 测试结果分析

本文测试选择了典型的待测设备,从测试结果中可以看出,两种标准中拉杆天线实验布置的不同对同一待测设备的辐射发射测试结果产生了较大的影响。

下面分别从 GJB151A 标准中利用搭接条接地、GJB151B 标准中同轴线屏蔽层接地和新旧标准中拉杆天线的地网高度的不同来分析造成 EUT 测试结果的差异性。

1) 杆天线的校准主要利用等效电容替代法(equivalent capacitance substitution method, ECSM),根据 ECSM 知道杆天线位于有限接地平板的上方其等效电容值 $C^{[17]}$,由式(2)可以得到杆天线在工作频段范围内的等效电容变化曲线,如图 17 所示。

$$C = \frac{55.63h}{\ln\left(\frac{2h}{a}\right) - 1} \frac{\tan \frac{2\pi h}{\lambda}}{\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad (2)$$

式中: C 的单位为 pF; h 为杆天线的长度, 单位为 m; a 为杆天线的半径, 单位为 m; λ 为杆天线的工作波长, 单位为 m。

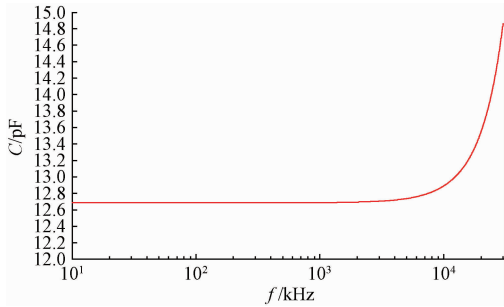


图 17 杆天线等效电容变化曲线

Fig. 17 The curve of rod antenna equivalent capacitance

从图 17 中可以看出杆天线在低于 10 MHz 频段, 等效电容值近似为一个常数约 12.65 pF。由图 1 可知 GJB151A 标准中拉杆天线采用搭接条接地, 金属搭接带和半电波暗室的金属地板之间形成了电容 C_1 和电感 L , 如图 18 所示。根据平行板电容器计算式(3)可以计算搭接条和地板之间形成的电容值 C_1 近似为 4 pF。而在杆天线的整个工作频段上, 等效电容波动性近似 2 pF。

$$C_1 = \frac{\epsilon S}{4\pi Kd} \quad (3)$$

式中: ϵ 为空气的介电常数; S 为搭接条的表面积, 单位为 m^2 ; K 为静电力常数; d 为搭接条和地板之间的距离, 单位为 m。

可见电容 C_1 对整个杆天线的等效电容值的影响很大, 等效电容直接影响杆天线的天线系数 AF (antenna factor), 造成上述测试结果的差异。

此外, 搭接条、拉杆天线地网和半电波暗室金属地板之间形成了闭合的谐振回路, 谐振回路放大了拉杆天线地网附近的场强, 造成测试结果的误差^[18-19]。而 GJB151B 标准中通过同轴线屏蔽层接地破坏了谐振回路的形成, 从而抑制了谐振现象的发生。

2) GJB151B 标准中拉杆天线通过套有铁氧体磁珠的同轴电缆的屏蔽层接地。天线匹配网络中适配器电路在交直流转换的过程中极易产生共模电流干扰, 最终影响测试结果的精度。而 GJB151B 标准中的接地方式, 铁氧体磁珠吸收了多余的共模电流干扰, 最终转化成热能散发, 避免共模电流进入 EMI 接收机影响测量结果^[20]。但是 GJB151A 标准中对杆天线匹配连接使用的同轴线没有这一要求。

3) 针对拉杆天线的高度两个标准中的规定不同,

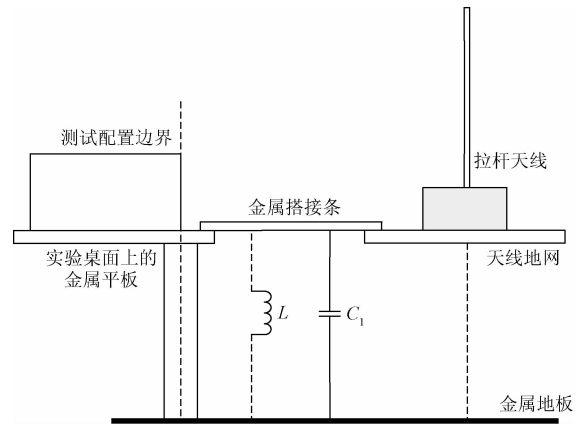


图 18 金属搭接条对 GJB151A 配置杆天线的影响

Fig. 18 The effect of overlapping metal strips on GJB151A rod antenna configuration

GJB151A 标准中规定拉杆天线的接地网络距离金属地板高度为 80 ~ 90 cm, 并没有规定具体的高度数值, 造成了测试结果的不确定性。GJB151B 标准中规定拉杆天线杆状原件中心的位置与地板距离为 120 cm, 消除了测试中的不确定性。此外, GJB151B 标准中对拉杆天线高度的具体规定和 RE102 其他频段测试要求天线的高度统一, 进一步改善了整个频段内 RE102 测量的结果^[18]。

4 结论

本文根据 GJB151A 和 GJB151B 标准要求对单线线板结构进行了 10 kHz ~ 30 MHz 频率范围内的 RE102 仿真和测试, 对典型 EUT 进行 EMI 测试。根据仿真和结果及分析得出如下结论。

1) 在旧标准配置下, 杆天线接收单线线板结构辐射体辐射强度高于新标准。同一 EUT 在相同的工作状态下, 在 GJB151A 标准下测试结果高出 GJB151B 标准下测试结果 5 ~ 10 dB, 旧标准容易误判待测设备辐射发射强度超标。

2) 在电子设备低频段 RE102 测试中供电电源线是导致辐射超标的主要因素。

3) GJB151B 标准避免 GJB151A 测试中利用搭接条接地方式产生谐振现象, 提高了测试的精确度。

4) GJB151B 标准通过同轴线的屏蔽层接地消除了拉杆天线有源匹配网络产生的共模干扰, 减小了测试的误差。

总之, 调整后的 GJB151B 标准改善旧标准中杆天线接地方式的不足, 提高了电子设备 RE102 测试的精确度, 测试配置更能够适应电子产品设计和研发的发展要求, 在一定程度上避免测试人员对电子设备电磁辐射发射强度的误判。

参考文献

- [1] 黄瑞龙,刘桂雄,黄坚,等.基于扫频调谐预扫描的快速 EMI 测试关键技术研究[J].电子测量与仪器学报,2016,30(8):1269-1274.
HUANG R L, LIU G X, HUANG J, et al. Research on key technology of rapid EMI measurement method based on swept-tuned pre-scanning [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2016, 30 (8): 1269-1274.
- [2] 葛欣宏,宁飞,贺庚贤,等.星载大容量固态存储器 EMI 辐射测试与分析[J].电子测量与仪器学报,2015,29(4):569-576.
GE X H, NING F, HE G X, et al. EMI radiation testing and analysis of high-capacity solid state reorder on spacecraft [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2015, 29(4):569-576.
- [3] 何成功,邓联文,贺君.电力机车弓网离线电弧电磁辐射特性分析[J].电子测量技术,2016,39(9):31-33.
HE CH G, DENG L W, HE J. Analysis on the electromagnetic radiation properties of the offline bow net arc from the electric locomotive [J]. Electronic Measurement Technology, 2016, 39(9):31-33.
- [4] MIL-STD-461E. Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment [S]. Washington: United States Department of Defense, 1999.
- [5] MIL-STD-461F. Requirements for the control of electromagnetic interference characteristics of subsystems and equipment [S]. Washington: United States Department of Defense, 2007.
- [6] CISPR 25 3rd. Radio disturbance characteristics for the protection of receivers used on board vehicles, boats, and on devices-limits and methods of measurement [S]. Geneva: International Electro technical Commission, 2008.
- [7] GJB151A-1997. 军用设备和分级系统电磁发射和敏感度要求[S].北京:国防科学技术工业委员会,1997.
GJB151A-1997. Electromagnetic emission and susceptibility requirement for equipment and subsystems[S]. Beijing: The Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, 1997.
- [8] GJB151B-2013. 军用设备和分级系统电磁发射和敏感度要求[S].北京:国防科学技术工业委员会,2013.
GJB151B-2013. Electromagnetic emission and susceptibility requirement for equipment and subsystems[S]. Beijing: The Commission of Science, Technology and Industry for National Defense, 2013.
- [9] FANNING CRAIG W. Improving monopole radiated emission measurement accuracy; RF chamber influences, antenna height and counterpoise grounding (CISPR 25 & MIL-STD-461E vs MIL-STD-461F) [C]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, IEEE, 2009:103-118.
- [10] SWANSON D D. Analysis of MIL-STD-461E and MIL-STD-461F RE102 test setup configurations below 100 MHz [C]. IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2008:1-11.
- [11] WEILAND T. Time domain electromagnetic field computation with finite difference methods [J]. International Journal of Numerical Modelling Electronic Networks Devices & Fields,2015,9(4):295-319.
- [12] YOUSAF J, AMIN M. Radiated emission analysis of cable interconnecting different subsystems [C]. International Bhurban Conference on Applied Sciences & Technology (IBCAST), 2012:436-439.
- [13] GUANGHUA L, QIAN W, RADCHENKO A, et al. Prediction of radiated emissions from cables over a metal plane using a SPICE model [J]. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, 2014, 1(1):61-68.
- [14] BALANIS C A. Antenna Theory: Analysis and Design [M]. Newyork: John Wiley, 2011, P54.
- [15] ZINGARELLI M, GREGO R. Cutting-off coupling effects caused by coaxial cables while measuring electric field with rod antennas [J]. Safety & EMC, 2016(2):89-91.
- [16] ZINGARELLI M, GREGO R. 9 kHz-30 MHz e-field measurement by an innovative rod antenna embedding a fully CISPR 16-1-1 receiver [C]. 7th Asia Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility, 2016:788-790.
- [17] American national standard for electromagnetic compatibility radiated emission measurements in electromagnetic interference (EMI) control calibration of antennas (9 kHz to 40 GHz) [S]. IEEE, 2006:1-63.
- [18] 张伟. 标准更新对拉杆天线测量结果的影响[C]. 无线电、电离辐射计量与测试学术交流会, 2013.
ZHANG W. The infection of standard update to measure result using rod antenna [C]. Symposium on Radio and Ionizing Radiation Metrology and Measurement, 2013.
- [19] 靳冬,崔强,李焕然. CISPR25:2008 中 0.15 MHz ~ 30 MHz 辐射发射测量存在问题的解析[C]. 全国电磁兼容学术会议,2010:210-212.
- [20] JIN D, CUI Q, LI H R. Analysis of problems existed in 0.15 MHz-30 MHz radiation emission measurement in CISPR25: 2008 [C]. National Conference on Electromagnetic Compatibility, 2010: 210-212.
崔强,蔡华强. MIL-STD-461F 中拉杆天线试验布置变

化对测量结果的影响[J]. 安全与电磁兼容,2008(5): 22-24.

CUI Q, CAI H Q. The change of the rod antenna test setup in the MIL-STD-461F for the influence on the measurement result [J]. Safety & EMC, 2008 (5): 22-24.

作者简介



胡广,2014 年于郑州大学获得学士学位,目前为南京信息工程大学硕士研究生,研究方向为电磁辐射发射,国军标 151 测试与分析,微波电路设计。

Hu Guang received B. Sc. from Zhengzhou University in 2014. Now he is a

M. Sc. candidate in Nanjing University of Information Science & Technology. His present research interest includes electromagnetic radiation emission, GJB151 measurement and analysis, and microwave circuit design.



万发雨,2005 年于安徽工程大学获得学士学位,2008 年于上海大学获得硕士学位,2011 年于法国鲁昂大学获博士学位。2011 年-2013 年在密苏里科技大学电磁兼容试验室从事博士后研究。现为南京信息工程大学教授,硕士生导师,主要研究方向

为静电放电、电磁兼容、射频测量。

E-mail:fayu.wan@nuist.edu.cn

Wan Fayu received B. Sc. from Anhui Polytechnic University in 2005, M. Sc. from Shanghai University in 2008, and Ph. D. from University of Rouen, France, in 2011, respectively. And he had worked as post-Ph. D. in Missouri University of Science and Technology EMC Lab from 2011 to 2013. Now he is a professor in Nanjing University of Information Science & Technology. His main research interests include electrostatic discharge (ESD), electromagnetic compatibility (EMC), and radio frequency (RF) measurement.