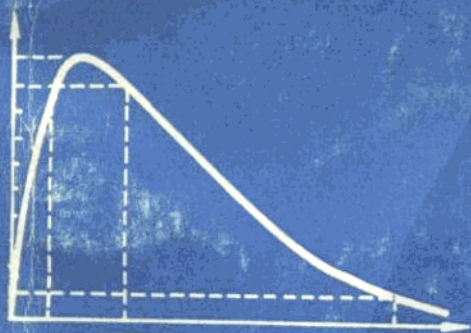


0281

电磁发射 和 EM 敏感度测量

曲长云 蒋全兴 吕仁清 编著



东南大学出版社

序

电磁兼容性是一门新的边缘学科，它与很多学科互相渗透、结合。电磁兼容性学科所涉及的内容非常广泛，它与舰船、飞机、导弹、火炮、卫星、车辆等密切相关。

随着科学技术的发展，军事技术装备自动化、电子化水平不断提高，电磁干扰和电磁兼容性问题必将日益突出，为此，世界各发达国家投入大量人力物力，建立专门机构，制定相关标准，积极开展研究。

我国从自行设计第二代军用产品以来，各军兵种、各有关部门不同程度地暴露了电磁兼容性问题，已经引起了广泛的重视。

1986年在各军兵种、工业部的共同努力下，国防科工委正式颁布了我国第一套三军通用的电磁兼容性标准（GJB 151、GJB 152、GJB 72）。这套标准内容全面、系统，属于国外八十年代先进水平。

为更好地贯彻、推行这套标准，由中国船舶工业总公司701所所长云高级工程师和东南大学蒋全兴、吕仁清副教授共同编著本书。该书阐述了军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量原理，分析了国内外仪器、设备现状及代用方案，并展望了电磁发射和敏感度测量的发展方向，提出了有关看法和建议。

因而本人乐于为之荐。是为序。

国防科工委



1988.7.15

前 言

为宣传和贯彻电磁兼容性(EMC)国家军用标准, GJB 151-86《军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求》、GJB 152-86《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》和GJB72-85《电磁干扰和电磁兼容性名词术语》, 由国防科工委标准计量局组织上述标准主要起草人员编写了本书。

本书内容主要针对GJB 152-86《军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量》, 适当兼顾了我国国家标准和规范中有关电磁兼容测量的内容。考虑到电磁发射和敏感度测量技术的发展, 本书还介绍了国外电磁兼容性标准中新的项目、测试方法和测试设施。全书着重阐述测量的基本原理和实施规则, 力求不重复已颁布的标准文本条款, 旨在使读者对标准文本有更为深刻的理解。在内容编排上, 保持了各章的相对独立性, 以满足EMC管理、产品开发及性能检测等不同层次的需要。书中提供的各种实用图表、曲线、公式和规则可作EMC试验的指南。第六至第八章可与GJB151-86、GJB72-85文本对照阅读和使用。

书中还列入了我们多年从事EMC工作的经验和部分研究成果, 并就EMC测量中某些有争议或尚待完善的问题, 表明了我们的观点, 如: 测量带宽的转换, 不同输入阻抗电磁干扰测量仪读数的换算, 不同阻抗的LISN测量电压值的转换, LISN电压法和电流探头法测量结果的转换; 随机干扰信号在准峰值检波器上的响应, 干扰测量仪的定标, 准峰值检波器对连续正弦波的响应; 干扰测量仪与LISN间的匹配校准网络,

LISN隔离性能的检查，三端射频隔离网络的参数，偶极子辐射特性在电磁兼容性试验中的应用说明，1 m 杆天线耦合器在高阻抗测量中的应用，改进型双锥天线（30~300MHz）的校准曲线，环天线换算系数，赫姆霍兹线圈参数，低频磁场探头及检定曲线；微机在屏蔽室和开阔场地测量的辐射发射值的比较；屏蔽室屏蔽效能测量中762mm探测环配接50Ω干扰测量仪的校准系数；GJB152-86宽、窄带电磁发射的鉴别和测量；CS01极限值的选取；RS02尖峰信号和电源频率的磁感应场辐射敏感度；GJB152-86误差分析及测量数据的统计考虑；EMI/EMS的关键指标及自动测试系统设计原则；横电磁波传输室过渡变换接头的结构设计，1.3GHz传输室的插入损耗及驻波比，驻波电桥在传输室特性工程测量中的应用，用横电磁波传输室测量微机在10kHz~300MHz的辐射发射。上述内容，有些曾在刊物上发表过，还有部分是在本书编著过程中整理成文的，仅供参考。

本书第一、二章及第五至九章由曲长云编写，第三、第十章由蒋全兴编写，第四章及第九章之(四)由吕仁清编写。

本书主审人由国防科工委标准计量局委托顾希如、陈穷同志担任；孔宪仑、武九丁、王素英、周开基、齐全尚等高级工程师对本书内容也提出了许多宝贵意见，谨此并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限、时间仓促，本书的缺点和不足之处一定不少，希广大读者和专家不吝指正。

作 者

1988.7.

目 次

序 前言

第一章 名词术语、单位换算和测量结果转换

一 概述	1
二 GJB 152-86 常用名词术语	1
三 单位换算	9
(一) 传导干扰电压基准	9
(二) 传导干扰电流基准	11
(三) 传输阻抗	11
(四) 电场基准	12
(五) 磁场基准	13
(六) 辐射发射试验天线的天线系数	14
(七) 辐射敏感度试验天线的天线系数	16
(八) 带宽转换	17
(九) 不同输入阻抗电磁干扰测量仪读数值换算	18
四 测量结果的转换	19
(一) 两种 LISN 测量电压值的转换	19
(二) LISN 电压法和电流探头法测量结果的转换	22

第二章 干扰信号在干扰测量仪不同检波器上的响应

一 概述	24
------	----

(一)周期性非正弦信号	24
(二)非周期非正弦信号	25
(三)平稳随机信号	25
二 电磁干扰测量仪方框图及其各种检波器简介	26
(一)峰值检波器	27
(二)准峰值检波器	27
(三)平均值检波器	28
(四)有效值检波器	28
三 干扰信号在不同检波器上的响应	29
(一)连续正弦波干扰信号	29
(二)脉冲干扰信号	30
(三)随机干扰信号	35
(四)干扰测量仪的定标	39
(五)平均值仪表、有效值仪表、峰值仪表与准峰值 仪表指示值间的关系	40
附录 准峰值检波器对连续正弦波的响应	49

第三章 测试仪器、附件和天线

一 电磁干扰测量仪简介	51
(一)电磁干扰测量仪的组成特点	52
(二)干扰测量仪的基本关系式	53
(三)干扰测量仪的基本要求	55
(四)几种检波器的物理解释	58
(五)国产电磁干扰测量仪	61
(六)国外电磁干扰测量仪	66
二 电磁兼容性试验用信号源	72
(一)国产信号发生器	73

(二)国外功率信号源	80
三 电流探头及其应用特点	83
(一)电流探头的工作原理及其基本参数	83
(二)电流探头传输阻抗的校准	88
(三)电流探头的实际参数举例	89
(四)电流探头的应用	94
(五)表面电流探头	97
四 功率吸收钳	98
五 线路阻抗稳定网络	99
(一)概述	99
(二)线路阻抗稳定网络的线路及指标	101
(三)线路阻抗稳定网络使用中的几个问题	105
(四)国内可用线路阻抗稳定网络	107
六 $10\mu\text{F}$ 穿心电容器	109
七 尖峰信号发生器	112
(一)尖峰信号发生器的基本工作原理	112
(二)尖峰信号的输出连接方法	115
(三)两种可变脉宽的尖峰信号发生器	117
八 静电放电试验装置和干扰模拟器	119
(一)静电放电试验装置	119
(二)干扰模拟器	119
九 注入隔离变压器	123
十 射频隔离网络	125
十一 射频抑制滤波器	127
十二 电压探头	129
十三 辐射发射和辐射敏感度测试用天线的基本知识	130
(一)电磁兼容性试验用天线的特点	130

(二)偶极子辐射特性在电磁兼容性试验中的应用·····	131
(三)试验用天线系数的校准·····	138
(四)天线最大许用增益·····	143
十四 杆状天线·····	147
(一)基本工作原理及有效高度概念·····	147
(二)1 m 无源杆天线·····	149
(三)带前置放大器的1 m 有源杆天线·····	152
十五 对称振子天线与双锥天线·····	155
(一)对称半波振子天线·····	155
(二)双锥天线·····	156
十六 对数周期天线·····	162
(一)对数周期天线的工作原理及激活区概念·····	162
(二)对数周期天线的使用特点·····	165
十七 螺旋天线·····	166
(一)圆极化波的形成·····	167
(二)圆锥对数螺旋天线·····	168
(三)背腔平面螺旋天线·····	170
十八 喇叭天线·····	172
(一)双脊波导喇叭天线·····	172
(二)喇叭天线·····	174
十九 环形天线·····	176
(一)环形天线基本关系式·····	176
(二)12cm 辐射环·····	181
(三)赫姆霍兹线圈·····	182
(四)13.3cm 接收环·····	184
二十 低频磁场测量探头·····	188
(一)低频磁场探头·····	188

(二)EMCO 6640 磁场强度测量仪与探头	189
-------------------------	-----

第四章 测试场地和屏蔽室

一 概述	192
二 开阔场地	192
三 屏蔽室	194
(一)屏蔽室的种类和功用	194
(二)屏蔽室的技术性能	195
(三)屏蔽室的接地	198
(四)国内外高性能屏蔽室简介	199
(五)屏蔽室的谐振	200
(六)屏蔽室的反射	202
(七)屏蔽室屏蔽效能的测量	204
(八)屏蔽室的检漏	212
四 电波暗室	214
(一)电波暗室的结构	214
(二)电波暗室的吸收器	215
(三)在屏蔽暗室许用频率以下测试值的修正	217
五 混波室	221
(一)混波室的结构	221
(二)混波室的耦合衰减	222
(三)搅扰器特性的检验	223

第五章 电磁发射和敏感度测量预备知识

一 概述	225
二 试验场地条件	225
(一)试验场地	225

(二)电磁环境电平	226
(三)屏蔽室壁面的反射	228
(四)试验桌说明	229
(五)仪器和试样的隔离	230
(六)测量电缆拾取	231
三 试样的配置	232
(一)试样的配置	232
(二)试样导线的配置	232
(三)电源线的长度	233
四 试样的搭接	233
(一)冲击和振动隔离	234
(二)外部接地端子	234
五 试样的加载	234
(一)采用实际负载	234
(二)采用模拟负载	235
(三)实际和模拟负载混合使用	235
六 试样的激励	236
七 敏感度准则	237
(一)接收机标准响应	237
(二)敏感性信号的调制	238
八 互调和乱真响应的鉴别	239
九 测量抽样实践	240
(一)抽样问题的综述	240
(二)试样操作模式	241
十 试样工作频率的选择	245
十一 导线和电流探头位置	245
(一)导线抽样	246

(二) 电流探头位置	247
十二 试样面和天线位置	248
(一) 试样面	248
(二) 天线位置	249
十三 敏感性扫描速度	250
十四 GJB 152-86 宽、窄带电磁发射的鉴别和测量	252
(一) 概述	252
(二) 国内几种标准、规范中宽、窄带信号的鉴别方法	253
(三) 宽、窄带信号鉴别依据	256
(四) 各种干扰测量设备上宽、窄带电磁发射的鉴别方法	260
(五) 测量宽、窄带信号时, EMI接收机灵敏度的变化	267
(六) GJB 152-86 宽、窄带电磁发射鉴别实践	269

第六章 GJB 152-86 传导电磁发射和敏感度测量方法

一 概述	271
二 传导发射测量方法	271
(一) 概述	271
(二) CE01 25Hz~15kHz 电源线和互连线传导发射测试方法	273
(三) CE03 15kHz~50MHz 电源和互连线传导发射测试方法	278
(四) CE05 25Hz~50MHz 传导发射(倒置滤波器)	281
(五) CE06 10kHz~12.4GHz 天线端子传导发射	282

(六)CE07 电源线尖峰(时域)传导发射	285
三 传导敏感度测量方法	286
(一)概述	286
(二)CS01 25Hz~50kHz 电源线传导敏感度	288
(三)CS02 50kHz~400MHz 电源线传导敏感度	290
(四)CS03 25Hz~10GHz 互调制传导敏感度 (双信号发生器法)	292
(五)CS04 25Hz~20GHz 无用信号抑制传导敏感度 (双信号发生器法)	298
(六)CS05 25Hz~20GHz 交叉调制传导敏感度 (双信号发生器法)	303
(七)CS06 电源线尖峰信号传导敏感度	305
(八)CS07 静噪抑制电路传导敏感度	308
(九)CS09 50Hz~100kHz 结构电流(壳体电流) 传导敏感度	309
(十)CS10 10kHz~100MHz 插头和端子注入 衰减正弦瞬变传导敏感度	310
(十一)CS11 10kHz~100MHz 电缆对 衰减正弦瞬变传导敏感度	315

第七章 GJB 152-86 辐射电磁发射和敏感度测量方法

一 概述	320
二 辐射发射测量方法	320
(一)概述	320
(二)RE01 RE04 25Hz~50kHz 磁场辐射发射 测试方法	321
(三)RE02 14kHz~10GHz 电场辐射发射测试	

	方法.....	325
(四)RE02.1	30~300MHz 传导发射功率 测试方法.....	331
(五)RE03	10kHz~40GHz 谐波和乱真辐射发射 测试方法.....	333
(六)RE05	战术和专用车辆及机动设备辐射发射 测试方法.....	337
(七)RE06	14kHz~1GHz 高压架空电力线辐射发射 测试方法.....	340
三	辐射敏感度测量方法.....	343
(一)	概述.....	343
(二)RS01	25Hz~50kHz 磁场辐射敏感度 测试方法.....	345
(三)RS02	尖峰信号和电源频率的磁感应场 辐射敏感度.....	348
(四)RS03	14kHz~40GHz 电场辐射敏感度 测试方法.....	350
(五)RS03.1	14kHz~30MHz 电场辐射敏感度 测试方法(长线法).....	353
(六)RS04	14kHz~30MHz 电场辐射敏感度 测试方法(平行板传输线法).....	355
(七)RS04.1	14kHz~100MHz 电场辐射敏感度 测试方法(横电磁波传输室法).....	359
(八)RS05	瞬变电磁脉冲场辐射敏感度测试方法.....	360

第八章 GJB 152-86 误差分析

一	概述.....	365
---	---------	-----

(一)测量误差问题	366
(二)系统误差	366
(三)随机误差	367
(四)系统和随机误差的综合	369
(五)测量误差概要	373
二 仪器误差	373
(一)天线误差	373
(二)天线-屏蔽室误差	378
(三)电流探头和 LISN 误差	385
(四)传感器-接收机耦合器误差	386
(五)接收机检波器前各级误差	386
(六)接收机检波器后各级和指示器误差	388
三 校准误差	389
(一)脉冲信号发生器电平误差	389
(二)信号发生器电平误差	389
(三)不同长度输入线的误差	389
(四)脉冲带宽误差	390
(五)相关和非相关源	390
(六)增益稳定性	390
(七)仪器和校准误差的综合举例	390
四 试验配置和方法误差	391
(一)试样距离梯度误差	392
(二)试样波束宽度梯度误差	394
五 对GJB 152-86 各种测试方法误差的综合分析	397
(一)误差分析原则	397
(二)GJB 152-86 测试方法选用的仪器、附件	397
(三)GJB 152-86 各种测试方法误差综合	397

(四)电磁干扰测量中测量数据的统计考虑	401
---------------------	-----

第九章 电磁发射和敏感度自动测试技术

一 概述	403
二 EMI 自动数据采集系统	405
(一)模拟式电磁发射自动测试系统	406
(二)计算机辅助电磁发射自动测试系统设计原则	411
(三)EATON VII 系列电磁干扰自动数据采集系统	413
(四)频谱分析仪/EMI接收机	418
(五)国外几种电磁发射自动测试系统简介	421
三 EMS 自动测试系统	423
(一)模拟式电磁敏感度自动测试系统	423
(二)计算机辅助敏感度自动测试系统设计原则	426
(三)10kHz~18GHz 敏感度自动测试系统	431
(四)国外几种电磁敏感度自动测试系统简介	435

第十章 横电磁波传输室在电磁兼容性试验中的应用

一 概述	439
(一)横电磁波传输室的优点	440
(二)横电磁波传输室的局限性	442
(三)横电磁波传输室应用中的几个问题	443
二 横电磁波传输室结构设计概要	444
(一)芯板的设计及修正	444
(二)过渡变换接头的结构设计	445
(三)传输室附属装置的设计	447
(四)不对称传输室的设计	448
三 横电磁波传输室的电气特性	448

(一)工作频率上限	448
(二)传输室内的场分布	450
(三)传输室内置入金属受试设备后场的畸变	454
(四)传输室的电压驻波比与插入损耗	455
(五)传输室的特性阻抗	457
(六)传输室内的电场强度	458
(七)传输室上限使用频率的扩展	459
四 横电磁波传输室用于辐射敏感度测量	459
(一)传输室在敏感度测量中的应用布置	460
(二)测试大纲的拟定	461
(三)敏感度测量系统的配置	470
(四)辐射敏感度测量步骤	472
五 横电磁波传输室用于辐射发射测量	475
(一)利用横电磁波传输室测量辐射发射	475
(二)由传输室端口电压确定受试设备在自由空间的 等效辐射场强	476
(三)测试大纲的拟定	481
(四)辐射发射测量系统的配置	482
(五)辐射发射测量步骤	482
六 应用举例	484
参考文献	487
附录: 我国电磁兼容性标准(部分)	490

第一章 名词术语、单位换算 和测量结果转换

一 概 述

我国电磁兼容性(EMC)国家军标 GJB 151-86 “军用设备和分系统电磁发射和敏感度要求”、GJB 152-86 “军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量”和 GJB 72-85 “电磁干扰和电磁兼容性名词术语”是互相引用和配合使用的一套三军通用的基础标准。

GJB 72-85 包含 GJB 151-86、GJB 152-86 使用的一般电磁干扰(EMI)和电磁兼容性名词术语、定义,它仅限于本学科范围内。

鉴于本书主要是介绍军用设备和分系统电磁发射和敏感度测量,为此,将 GJB 152-86 中常用的及容易混淆的名词术语在此列出,以便读者参考。

二 GJB 152 86 常用名词术语

(一) 电磁兼容性(EMC)

设备、分系统、系统在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态。即:该设备不会由于受到处于同一电磁环境中其它设备的电磁发射导致不允许的降级;它也不会使同一电磁环境中其它设备、分系统、系统因受其电磁发射而导致不允