

中华人民共和国国家军用标准

FL 0110

GJB 151X-202X

代替 GJB151B-2013



军用设备和分系统 电磁发射和敏感度要求与测量

Electromagnetic emission and susceptibility requirements and measurements
for military equipment and subsystems

(征求意见稿)

2022 年 12 月

202X—xx—xx 发布

202x—xx—xx 实施

中国人民解放军总装备部 批准

目次

目次.....	I
前言.....	I
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 术语和定义、代号和缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 代号.....	2
3.3 缩略语.....	2
4 一般要求.....	2
4.1 剪裁.....	2
4.2 非测试方面的要求.....	2
4.3 测试要求.....	3
4.4 测试结果的评定.....	8
5 详细要求.....	12
5.1 项目分类.....	12
5.2 项目适用性.....	12
5.3 项目说明.....	12
5.4 CE101 25Hz~10kHz 电源线音频电流传导发射.....	13
5.5 CE102 10kHz~10MHz 电源线射频电压传导发射.....	17
5.6 CE106 10kHz~40GHz 天线端口传导发射.....	20
5.7 CE107 电源线尖峰信号(时域)传导发射.....	23
5.8 CS101 25Hz~150kHz 电源线传导敏感度.....	25
5.9 CS102 25Hz~50kHz 地线传导敏感度.....	29
5.10 CS103 15kHz~10GHz 天线端口互调传导敏感度.....	31
5.11 CS104 25Hz~20GHz 天线端口无用信号抑制传导敏感度.....	34
5.12 CS105 25Hz~20GHz 天线端口交调传导敏感度.....	37
5.13 CS106 电源线尖峰信号传导敏感度.....	39
5.14 CS109 50Hz~100kHz 壳体电流传导敏感度.....	43
5.15 CS112 人体静电放电敏感度.....	46
5.16 CS114 4kHz~400MHz 电缆束注入传导敏感度.....	50
5.17 CS115 电缆束注入脉冲激励传导敏感度.....	56
5.18 CS116 10kHz~100MHz 电缆和电源线阻尼正弦瞬态传导敏感度.....	58
5.19 CS117 电缆和电源线雷电感应瞬态传导敏感度.....	62
5.20 RE101 25Hz~100kHz 磁场辐射发射.....	68
5.21 RE102 10kHz~18GHz 电场辐射发射.....	71
5.22 RE103 10kHz~40GHz 天线谐波和失真输出辐射发射.....	77
5.23 RS101 25Hz~100kHz 磁场辐射敏感度.....	80
5.24 RS103 10kHz~40GHz 电场辐射敏感度.....	83
5.25 RS105 瞬态电磁场辐射敏感度.....	88
附录 A (资料性附录) 剪裁说明.....	92
附录 B (资料性附录) 对地电容器电容量的测量.....	98
附录 C (规范性附录) 峰值测量接收机规范.....	99
附录 D (资料性附录) 各项目对 EUT 的适用性.....	101

- 4) 脉冲接收机: $(S+N)/N=10\text{dB}$ 。
- 1)~4)中, S 表示信号大小, N 表示受试接收机的噪声。
- c) 测试中信号发生器频率可能漂移, 需要对其频率进行微调, 以确保测到最大响应。
- d) 对跳频接收机, 一种可行的方法就是在跳频范围内选择一个 f_0 , 再按上述方法配置信号发生器, 然后接收机按跳频来评估。
- e) 对在天线组件中具有前端混频和滤波的接收机, 应考虑辐射的影响, 为保证观察任何响应是由接收机而非测试场地上的设备造成的, 可以要求测试在屏蔽暗室内进行。
- 5.12.3.5 测试数据
- 提供的典型数据应包括接收机灵敏度、信号发生器电平、扫描频率范围、接收机工作频率以及任何与响应有关的频率和敏感度门限电平。

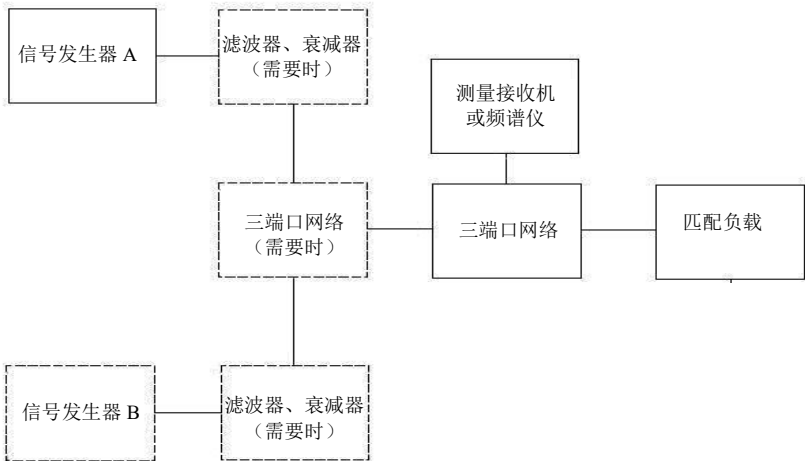


图 35 CS105 测量系统完整性检查配置

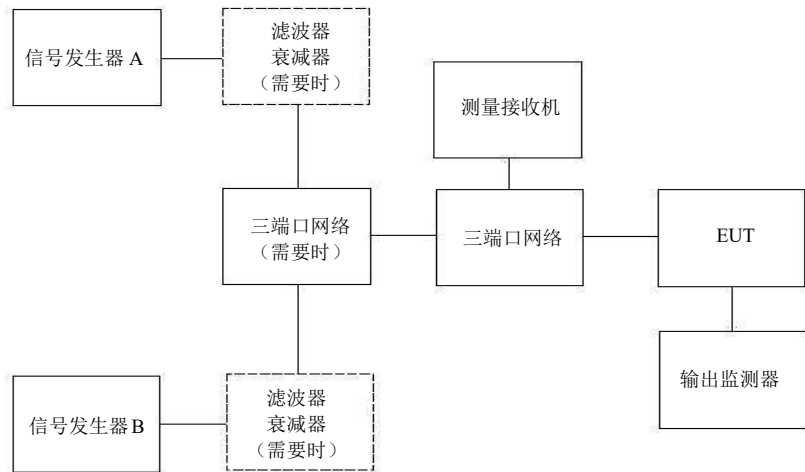


图 36 CS105 测试配置

- 5.13 CS106 电源线尖峰信号传导敏感度
- 5.13.1 适用范围
- 本项目适用于飞机、潜艇和水面舰船设备和分系统的交流和直流输入电源线, 不包括地线和回线。当订购方有规定时, 本项目也适用于表 5 中其他平台上的设备和分系统。
- 5.13.2 限值
- 将图 37 所示波形的尖峰信号加到 EUT 的电源线上时, EUT 不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值, 或超出单个设备和分系统规范中给出的指标允差。
- 飞机: 200V 峰值电压; 10us;

潜艇和水面舰船：400V 峰值电压,5 μ s;

其他：由订购方规定。

5.13.3 测试方法

5.13.3.1 测试设备

测试设备如下：

- 尖峰信号发生器，5 μ s 发生器的源阻抗不大于 2 Ω ；10 μ s 发生器的源阻抗不大于 1 Ω ；
- 电容器，10 μ F；
- 示波器，高阻输入阻抗；
- 无感电阻器，5 Ω ；
- 隔离变压器；
- LISN；
- 注入探头。

5.13.3.2 测试配置

测试配置如下：

- 按 4.3.9 及图 2～图 5 进行基本配置。
- 基于限值的发生器电平设定
按图 38 或 39 配置。用示波器监测 5 Ω 无感电阻器的电压波形。
- EUT 测试
对直流或单相交流电源，按图 40 或图 41 配置；
对三相 Δ 型电源，按图 42 或图 43 配置；
对三相 Y 型电源（4 根电源线），按图 44 或图 45 配置。

5.13.3.3 测试步骤

测试时，依照如下步骤进行：

- 基于限值的发生器电平设定
 - 将尖峰信号发生器调到最小输出；
 - 增加信号电平直到示波器指示的电压达到限值 V_L ，确认其输出波形和脉冲宽度；
 - 记录尖峰信号发生器的设置值 V_C 。
- EUT 测试
注意：进行此项测试要特别小心，由于使用了隔离变压器，示波器的“安全接地线”被断开，可能存在电击危险。
 - 选择一根电源线进行测试；
 - 将尖峰信号发生器的输出调到最小。增加信号电平，直到要求的信号电平 V_T ， V_T 取 V_L 和 V_C 中的先到达者，其中 V_L 为 EUT 输入电源线上达到图 37 要求的电压限值， V_C 为 5.13.3.3a)3) 中尖峰信号发生器的设置值；
 - 保持信号电平不低于要求的信号电平 V_T ，以 5Hz～10Hz 脉冲重复频率、正负两种极性对 EUT 不接地输入线进行测试，每种极性测试时间不少于 5min；
 - 监视 EUT 性能是否降低。如果出现敏感，按 4.3.11.5.4 确定敏感度门限电平以及在交流波形上的相位；
 - 对其他受试电源线和测试条件分别重复 5.13.3.3b)2)～5.13.3.3 b)4)。

在图 40～图 45 中，允许使用差分探头进行测试。此时示波器既可以不通过隔离变压器供电，又可以继续保持地线连接，避免电击危害。

5.13.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- 按 5.13.3.3.a)2)测得的示波器波形图；
- 注入到受试电源线上的示波器波形图；
- 各受试电源线是否满足敏感度要求的说明；
- EUT 发生敏感的受试电源线、敏感度门限电平及其工作状态。

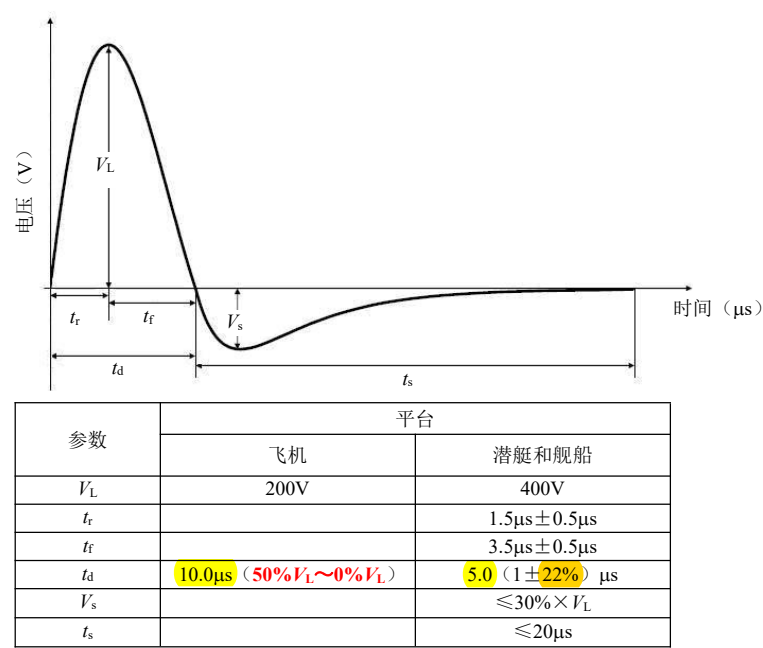


图 37 CS106 波形

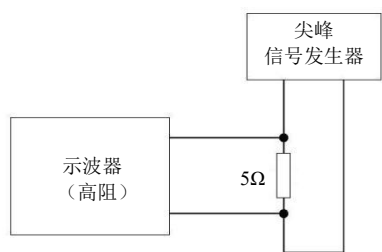


图 38 CS106 基于限值的发生器电平设定配置 (串联注入法)

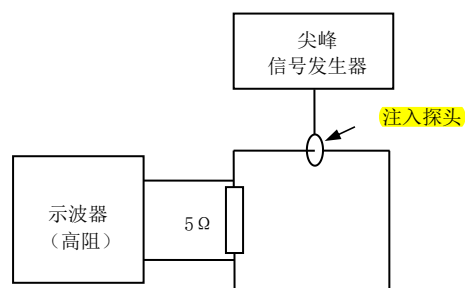


图 39 CS106 基于限值的发生器电平设定配置 (注入探头法)

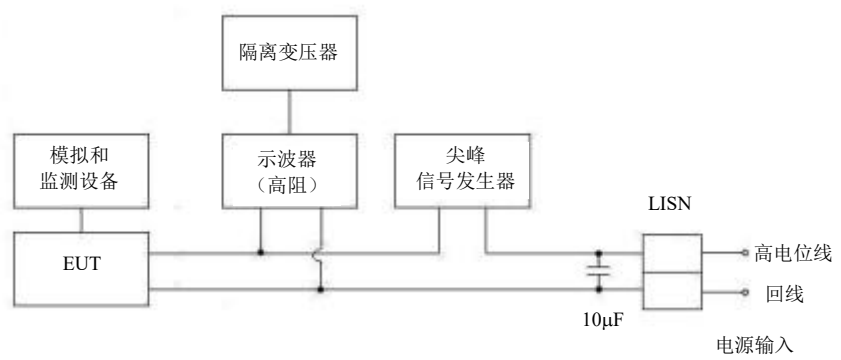


图 40 CS106 串联注入法测试配置（直流或单相交流电源线）

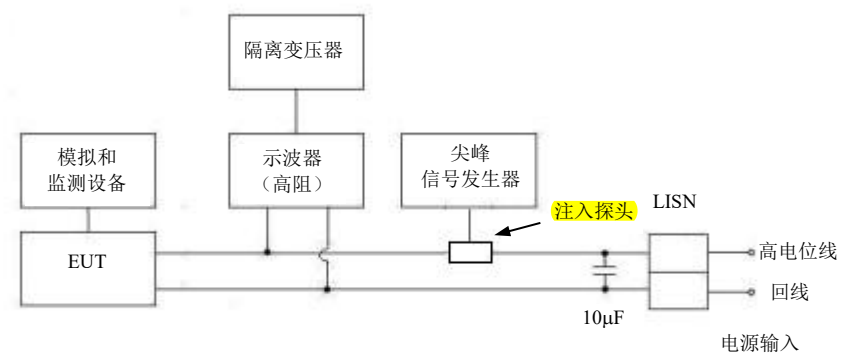


图 41 CS106 注入探头法测试配置（直流或单相交流电源线）

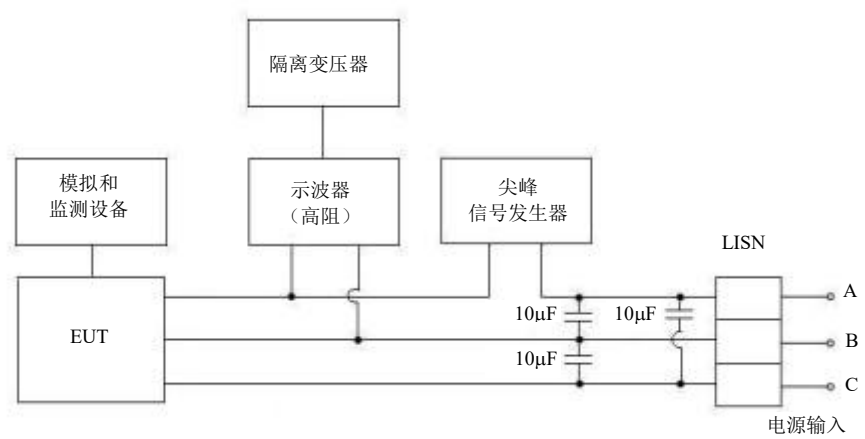


图 42 CS106 串联注入法测试配置（三相△型电源线）

本项目适用于水面舰船和潜艇上工作频率不高于 100kHz 且工作灵敏度等于或优于 $1\mu\text{V}$ （例如 $0.5\mu\text{V}$ ）的设备和分系统。本项目不适用于手持式设备。

5.14.2 限值

当按图 46 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，或超出单个设备和分系统规范中给出的指标允差。

5.14.3 测试方法

5.14.3.1 测试设备

测试设备如下：

- a) 信号发生器；
- b) 放大器（需要时）；
- c) 隔离变压器；
- d) 电流探头；
- e) 测量接收机；
- f) 电阻器， 0.5Ω ；
- g) 耦合变压器。

5.14.3.2 测试配置

无须按 4.3.9 及图 2～图 5 保持 EUT 的基本测试配置。测试配置如下：

a) 测量系统完整性检查

按图 47 配置。

b) EUT 测试

- 1) 按图 48 配置 EUT 及测试设备（包括信号产生设备、电流监测设备、EUT 运行或性能监测设备），确保测试配置单点接地。
 - a) 用隔离变压器隔离 EUT 和所有测试设备的交流电源。对直流电源供电的 EUT，隔离变压器不适用；
 - b) 断开所有输入电源线的安全接地线；
 - c) 将 EUT 和测试设备放在非导电平面上以实现单点接地。
- 2) 注入电流的测试点如下：
 - a) 工作台设备：仅在安放表面的对角线端点上；
 - b) 机架安装设备：设备所有表面的对角线端点上；
 - c) 甲板固定设备：设备所有表面的对角线端点上；
 - d) 壁挂设备：设备壁挂表面对角线端点上；
 - e) 电缆（所有安装方式）：端接到 EUT 的电缆铠甲和测试配置的单点接地点之间。本项目也适用于电缆屏蔽层和导管，除非它们单点接地。
- 3) 将信号发生器和 0.5Ω 电阻器接到所选择的一组测试点上，连接到测试点的导线应垂直于测试表面至少 50cm。

5.14.3.3 测试步骤

测试时，依照如下步骤进行：

a) 测量系统完整性检查

- 1) 将信号发生器调到最低测试频率；
- 2) 调整信号电平直到测量接收机指示值（含电流探头转移阻抗修正值）对应于 CS109 电流限值；
- 3) 在要求的频率范围内扫描，重复 5.14.3.3a) 2)，确认系统能输出和监测到对应于 CS109 电流限值的电流。

b) EUT 测试

- 1) 信号发生器调到要求的最低测试频率，用电流探头和接收机监测电流，增大信号发生器的输出直至监测电流达到限值要求；
- 2) 保持监测电流值不低于限值，按 4.3.11.5.1 和表 3 要求在测试频率范围内扫描；
- 3) 监视 EUT 性能是否降低。如果出现敏感，按 4.3.11.5.4 确定敏感度门限电平；
- 4) 对 EUT 每个受试面的每个对角线测试点分别重复 5.14.3.3b) 1)～5.14.3.3b) 3)。

5.14.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- a) 电流限值、实际施加的幅频曲线或数据表；
- b) 在 EUT 上选择的每组测试点的位置示意图或文字说明；
- c) 每组测试点是否满足敏感度要求的说明；
- d) EUT 敏感时的测试点、频率、敏感度门限电平及其工作状态。

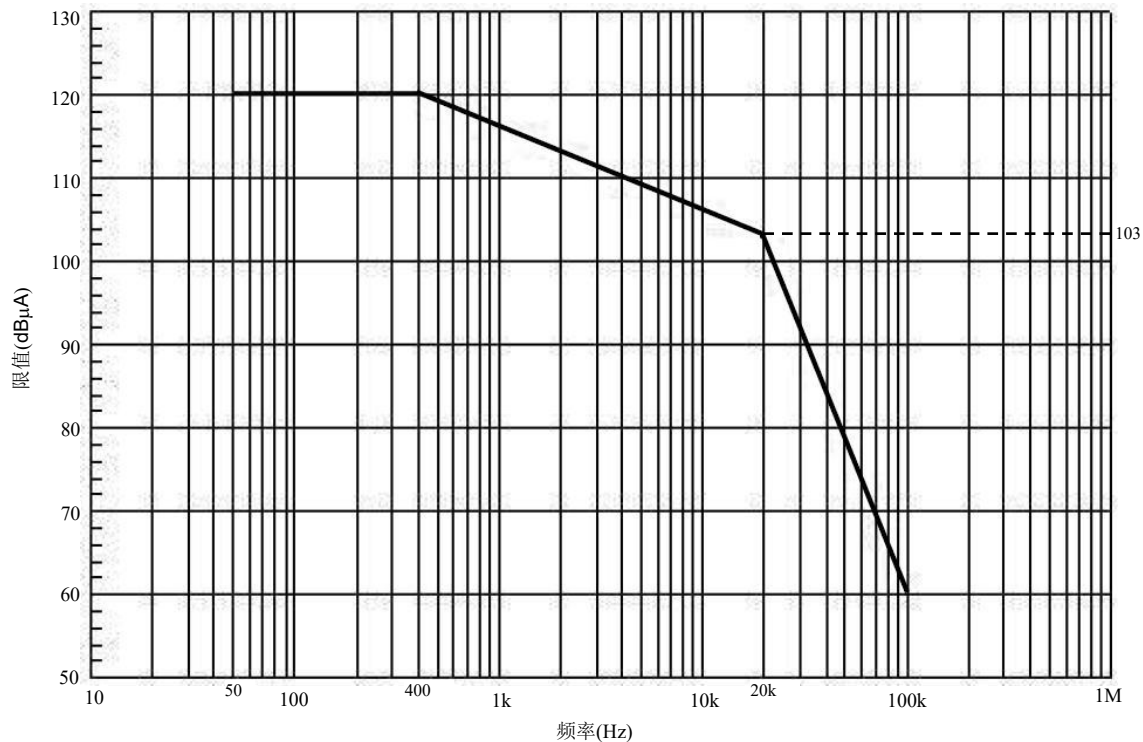
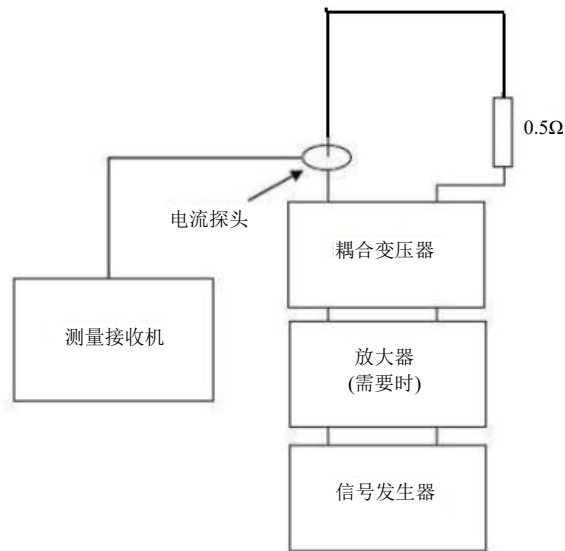


图 46 CS109 限值



用 2m 长的导线将负载与耦合变压器次级连接。导线特性与测试中用的导线特性相同。

图 47 CS109 测量系统完整性检查示意图

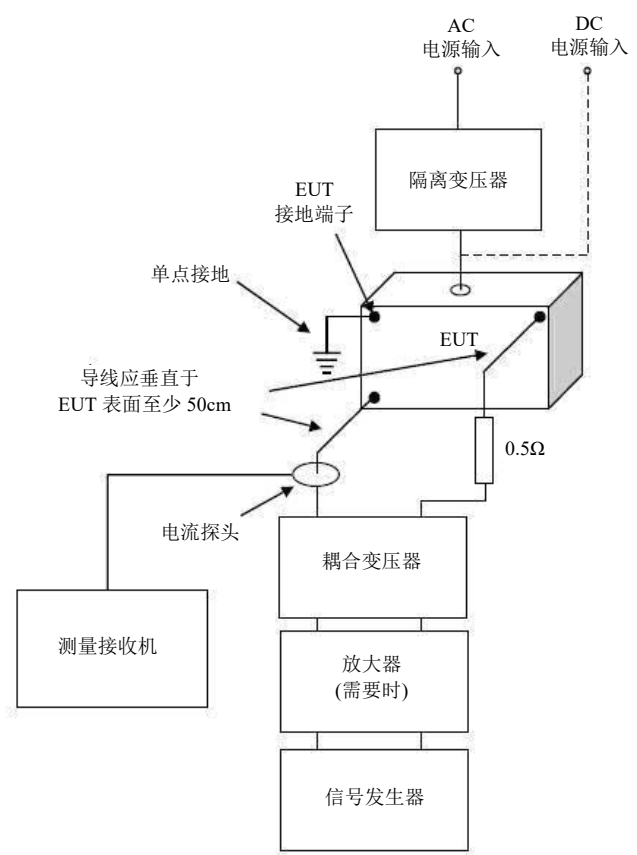


图 48 CS109 测试配置

5.15 CS112 人体静电放电敏感度

5.15.1 适用范围

本要求适用于具有人机界面的电子、电气和机电设备和分系统，不适用于军械。

5.15.2 限值

当按表 10 指示的电平并使用 150pF 电容通过 330Ω电阻及不超过 5μH 电感的电路实施放电时，EUT 不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值，或超出单个设备和分系统规范中给出的指标允差。对导电表面，用接触放电模式。空气放电模式只在接触放电无法应用时使用。

5.15.3 测试方法

5.15.3.1 测试设备

测试设备如下：

- a) ESD 发生器，至少在±2kV~±15kV 内可调，电路特性见表 11 和图 49；
- b) ESD 网络，电容 150pF，放电电阻 330Ω；
- c) 接触放电头，见图 50；
- d) 空气放电头，见图 50；
- e) 静电电压表；
- f) 示波器，单次带宽≥1GHz；
- g) ESD 电流靶，输入电阻 (2±5%) Ω，见图 51；
- h) 衰减器，20dB；
- i) 同轴电缆，50Ω，≤1m；
- j) 金属接地板；

- k) 离子发生器或 $(1 \pm 10\%) \text{ M}\Omega$ 电阻;

5.15.3.2 测试配置

测试配置如下:

- a) 按 4.3.9 及图 2~图 5 进行基本配置。
- b) 测试点选择。静电放电应施加于在正常使用 EUT 中可被操作人员/安装人员接触到的点和面。测试点应包括以下位置: 控制区或键盘区域的任何导电或不导电点、开关、旋钮、按钮、LED 指示灯、缝隙、孔、连接器外壳、其他可接触区域和各外表面。
- c) 测量系统完整性检查
按图 52 进行电压检查配置, 按图 53 进行电流检查配置。
- c) EUT 测试
按图 2~图 5 进行配置。

5.15.3.3 测试步骤

测试时, 依照如下步骤进行:

- a) 测量系统完整性检查
 - 1) 在 ESD 发生器上安装 $150\text{pF}/330\Omega$ 的 ESD 网络及空气放电头。
 - 2) ESD 发生器电压检查:
 - a) 按图 52 配置测试设备。设定静电电压表以检查 ESD 发生器电压;
 - b) 将 ESD 发生器的输出设置为 $+2\text{kV}$;
 - c) 使用静电电压表验证 ESD 发生器的输出电压在期望值的 $\pm 10\%$ 范围内;
 - d) 在表 10 中的每个 ESD 测试等级上重复 5.15.3.3a) 2)。
 - 3) 放电电流检查:
 - a) 按图 53 配置静电电流靶、衰减器和示波器;
 - b) 将 ESD 发生器调到接触放电模式;
 - c) 将 ESD 模拟器的接触放电头紧抵电流靶后放电, 用示波器测量波形。检查表 11 和图 54 中的每个参数都满足要求。
- b) EUT 测试
 - 1) 保持 ESD 发生器的接地线长度, 并将其与 EUT 的外壳接地点连接。
 - 2) 按表 10 最低测试等级设置 ESD 发生器的放电头电压。
 - 3) 在选择每个 EUT 测试点上施加 5 次正极性放电后再施加 5 次负极性放电。
 - 4) 使用以下技术施加放电:
 - a) 对于接触放电, 将 ESD 发生器放电头直接置于测试点上后再按下放电开关;
 - b) 对于空气放电, 在距离测试点一定远处按下 ESD 发生器放电开关, 此处还不足以发生空气放电现象。然后使放电头与测试部位保持垂直, 以小于 0.3m/s 的速度缓慢接近测试点直至发生放电或接触到放电点。在两次放电之间, 通过 $1\text{M}\Omega$ 电阻将测试点短暂接地、使用离子发生器或等待电荷自行消散的方法去除残余电荷。

注意: 不是所有的电压等级都能导致对绝缘表面的放电。如果测试点可以承受该电压, 则认为在该测试点处要求得以满足。
 - 5) 监测 EUT 在测试期间性能是否下降。
 - 6) 对表 10 中的其他测试等级, 按从低到高逐级增加的顺序, 重复 5.15.3.3b) 3) ~ 5.15.3.3b) 5), 直至完成所有的测试等级。

5.15.3.4 测试数据

试验完成后, 需提供如下测试数据:

测试点、使用的放电头、EUT 上施加的电压 (包括幅度和极性)、放电类型 (空气或接触)、测试结果 (是否放电) 和运行结果表现。

表 10 ESD 测试等级

等级	测试电压 kV	方式
1	±2	接触/空气
2	±4	接触/空气
3	±8	接触/空气
4	±15	空气

表 11 ESD 模拟器接触放电电流参数

指示电压 kV	最大峰值电流 ±15% A	上升时间 ^a ns	30ns时的电流I ₃₀ ±30% A	60ns时的电流I ₆₀ ±30% A
±8	30	0.6 ≤ t _r ≤ 1.0	16	8

^a 上升时间定义为从电流波形最大峰值的10%上升到90%所用的时间。

表 12 ESD 发生器规格

参数	数值
输出电压，接触放电模式 ^a	至少（2~8 ）kV
输出电压，空气放电模式 ^b	至少（2~15 ）kV
输出电压允差	±5%
输出电压极性	正极性和负极性
保持时间	≥5s
操作放电模式	单次放电（见注2）

^a 在ESD发生器的放电电极处测得的开路电压。
^b 考虑到预测需求，发生器宜放电至少20次/秒。

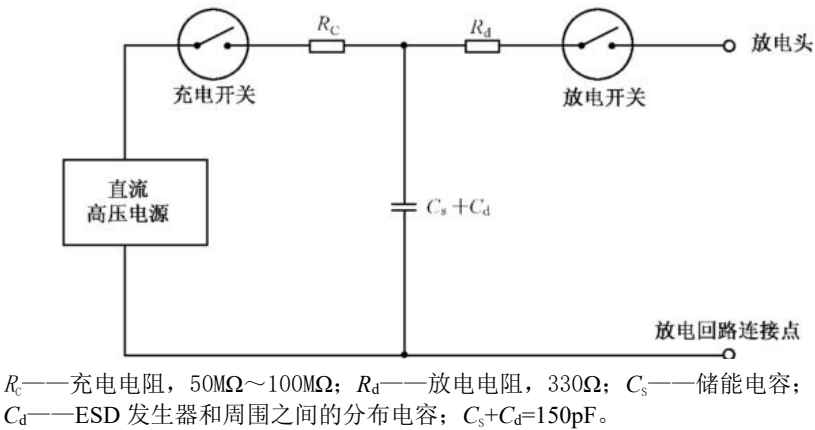


图49 ESD发生器简图

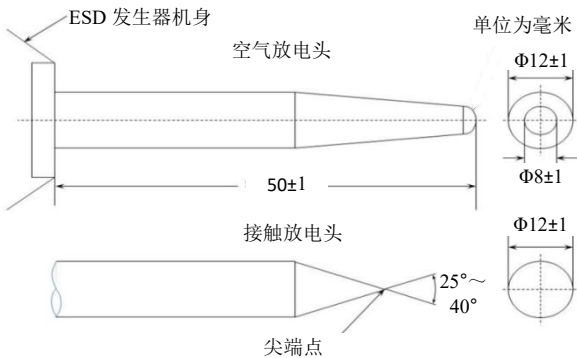


图50 ESD发生器的放电头

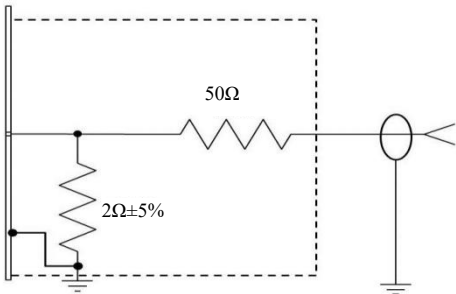


图51 ESD发生器电流靶示意图示例

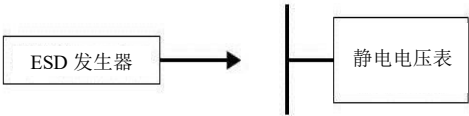


图52 ESD发生器放电头电压检查配置

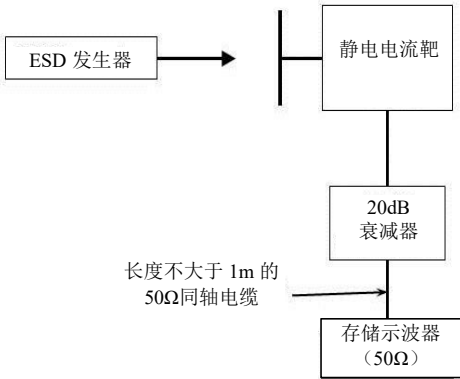


图 53 ESD 发生器放电电流检查配置

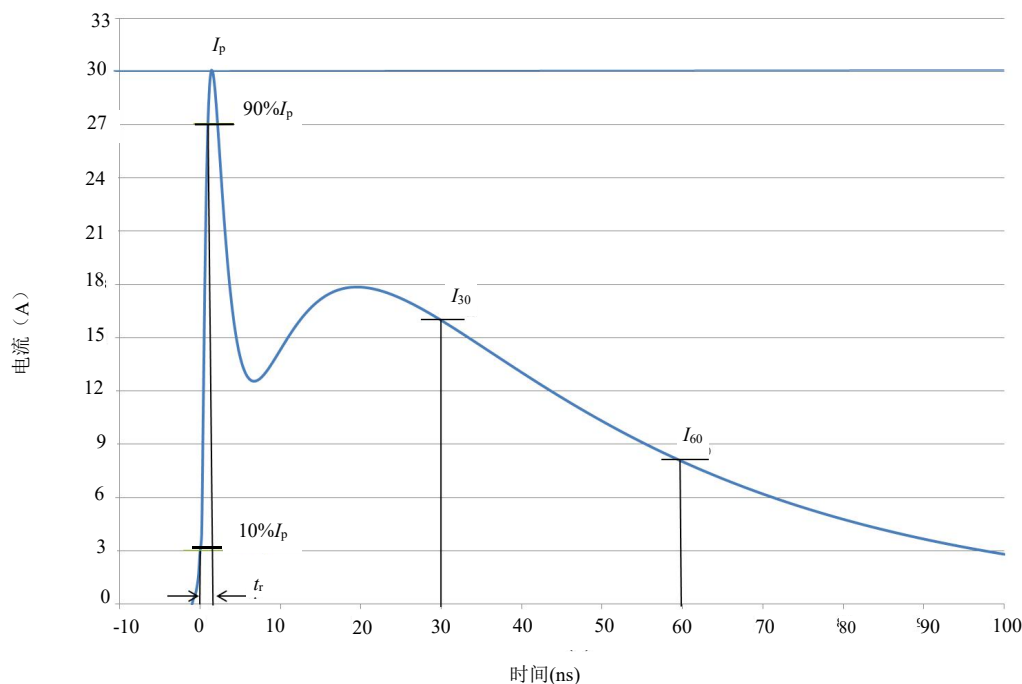


图54 8kV时的理想接触放电电流波形

5.16 CS114 4kHz~400MHz 电缆束注入传导敏感度

5.16.1 适用范围

本项目适用于所有的互连电缆和电源电缆。

5.16.2 限值

当给注入探头输入按图 55 预先设定并按 5.16.3.3c)2)要求调制的测试信号时，EUT 不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值，或超出单个设备和分系统规范中给出的指标允差。根据表 13 选取图 55 中的适用限值曲线。在整个频率范围内，如果受试电缆上的实际感应电流为曲线 1 = 83 dB μ A，曲线 2 = 89 dB μ A，曲线 3 = 95 dB μ A，曲线 4 = 103 dB μ A，曲线 5 = 115 dB μ A，即使定向耦合器上监测的正向功率电平低于预先设定的值，当 EUT 不敏感时，也认为它满足要求。上述这 5 个电流值为各曲线的最大限流值 $I_{最大}$ 。

对于安装在舰船或潜艇上的设备和分系统，针对 EUT 完整电源电缆（高电位线+回线，共模）在频率范围 4kHz~1MHz 还增加了限值为 77dB μ A 的要求。必要时，订购方还可以将频率向 4kHz 以下扩展。

在 200MHz~400MHz，由于可能出现谐振，测试结果的重复性可能存在问题。在该频段是否测试，由订购方规定。

本项目不适用于与接收机天线端口连接的同轴电缆，水面舰船和潜艇除外。

5.16.3 测试方法

5.16.3.1 测试设备

测试设备如下：

- a) 测量接收机；
- b) 注入探头(插入损耗的要求见图 56，测试方法见图 57)；
- c) 监测探头；
- d) 电平设定装置：具有 50 Ω 特性阻抗的同轴传输线。其两端为同轴连接器，中心导体周围为注入探头留有足够的空间；
- e) 定向耦合器；
- f) 信号发生器；
- g) 衰减器，50 Ω ；
- h) 同轴负载，50 Ω ；
- i) 功率放大器；

j) LISN。

5.16.3.2 测试配置

测试配置如下：

a) 按 4.3.9 及图 2～图 5 进行基本配置。

b) 基于限值的发生器电平设定

按图 58 及以下步骤进行电平设定：

- 1) 将注入探头卡在电平设定装置的中心导体上，将监测探头卡在第二个电平设定装置的中心导体上，并用 $50\ \Omega$ 负载端接监测探头；
- 2) 电平设定装置的一端接 $50\ \Omega$ 负载，另一端通过衰减器连接到测量接收机 A 上。

c) EUT 测试

按图 60 及以下步骤对 EUT 进行测试：

- 1) 将注入探头、监测探头卡在与 EUT 连接器连接的电缆束上；
- 2) 为减少误差，用与电平设定时相同的测试配置（接收机、同轴电缆、馈通连接器、额外的衰减器等）连接到监测探头。需要时，可增加衰减；
- 3) 将监测探头置于距 EUT 连接器 5cm 处，如果连接器、后壳或后壳的外延总长超过 5cm，则将监测探头尽可能地靠近连接器的后壳或后壳的外延；
- 4) 将注入探头置于距监测探头 5cm 处。

5.16.3.3 测试步骤

测试时，依照如下步骤进行：

a) 基于限值的发生器电平设定

- 1) 在表 13 和图 55 中选择适用的电流限值。将信号发生器调到 10kHz，不调制；
- 2) 增加信号电平，用接收机 A 监测流经电平设定装置中心导体的电流，直至规定的限值电流；
- 3) 记录接收机 B 测得的馈入注入探头的正向功率；
- 4) 在测试频段内扫描，并记录达到要求电流时所需的正向功率 P_c 。

b) 测量系统完整性检查

探头仍放在电平设定设置中，按图 59 检查测试系统。按与测试 EUT 电缆相同的方式进行扫描。

- 1) 将信号发生器设为 10kHz；
- 2) 将 5.16.3.3a) 4) 下确定的正向功率电平 P_c 加到注入探头，测量监测探头上的感应电流；
- 3) 以表 2 的最小驻留时间和两倍于表 3 的频率步长扫描所需的频率范围，期间保持 5.16.3.3a) 4) 确定的正向功率电平 P_c 。确认监测的电流在电流限值的 3dB 范围内。

c) EUT 测试

按图 60 配置设备。对 EUT 上每个电连接器端接的每根电缆束，都按表 14 和以下步骤进行测试：

- 1) 将信号发生器调到最低测试频率（例如 4kHz 或 10kHz）；
- 2) 向注入探头注入信号，同时监测感应电流。对于屏蔽电缆或低阻抗电路，宜逐渐增加信号以防出现过电流。逐渐增加信号电平至 P_T ， P_T 取 $I_{\text{最大}}$ 和 P_c 先到达者时的功率，其中 $I_{\text{最大}}$ 为相应电流限值曲线对应的最大限流值； P_c 为 5.16.3.3a) 4) 中确定的正向功率。用 1kHz、占空比为 50% 的脉冲进行调制；确保调制频率、波形和深度（从峰值到底线至少 40 dB）正确；
- 3) 按 4.3.11.5.1 和表 3 要求在测试频率范围内扫描，重复 5.16.3.3c) 2)；
- 4) 监测 EUT 性能是否降低。如果出现敏感，按 4.3.11.5.4 确定敏感度门限电平；
- 5) 对与 EUT 其他各连接器连接的每根电缆束按表 14 重复 5.16.3.3c) 1)～5.16.3.3c) 4)；
- 6) 对因安全原因而具有冗余电缆的 EUT，例如多路数据总线，可使用多电缆同时注入方法进行测试。

5.16.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- a) 限值、实际施加的幅频曲线或数据表；
- b) 各受试电缆束是否满足敏感度要求的说明；

c) EUT 发生敏感的电缆束、频率、敏感度门限电平及其工作状态。

表 13 CS114 限值曲线及其编号

频率范围		平 台							
		飞机 (外部或 SCES)	飞机 (内部)	舰船 (甲板上和 暴露的甲板 下)和水下 (外部) ^a	金属 舰船 (甲板下)	非金属 舰船 (甲板下) ^b	水下 (内部)	地面	空间 系统
4kHz~1MHz	海军 ^c	/	/	77dBμA	77dBμA	77dBμA	77dBμA	/	/
10kHz~2MHz	陆军	五	五	二	二	二	一	三	三
	海军 ^c	五	三	二	二	二	一	二	三
	空军	五	三	/	/	/	/	二	三
2MHz~30MHz	陆军	五	五	五	二	四	一	四	三
	海军	五	五	五	二	四	一	二	三
	空军	五	三	/	/	/	/	二	三
30MHz~ 200MHz	陆军	五	五	五	二	二	二	四	三
	海军	五	五	五	二	二	二	二	三
	空军	五	三	/	/	/	/	二	三
200MHz~ 400MHz	陆军	五	五	五	二	二	一	四	三
	海军	/	/	五	二	二	一	二	三
	空军	五	三	/	/	/	/	二	三
不同编号的限值曲线见图55。									
^a 对潜艇压力舱以外、上层结构之内的设备，使用“金属舰船（甲板下）”。									
^b 对位于航空母舰飞机库甲板上的设备，使用“非金属舰船（甲板下）”。									
^c 对电源电缆进行 1MHz 以下的测试时，在每个测试频点比较 77dBμA 和相应曲线在该频点对应值的大小，选较大者为限值。									

表 14 CS114 受试电缆束

连接器端接的电缆束类型	电流探头每次卡住的电缆束
互连电缆	完整的互连电缆
电源电缆	完整的电源电缆（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）
同时包括互连线和电源线的电缆	完整的电缆
	所有的电源线（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）

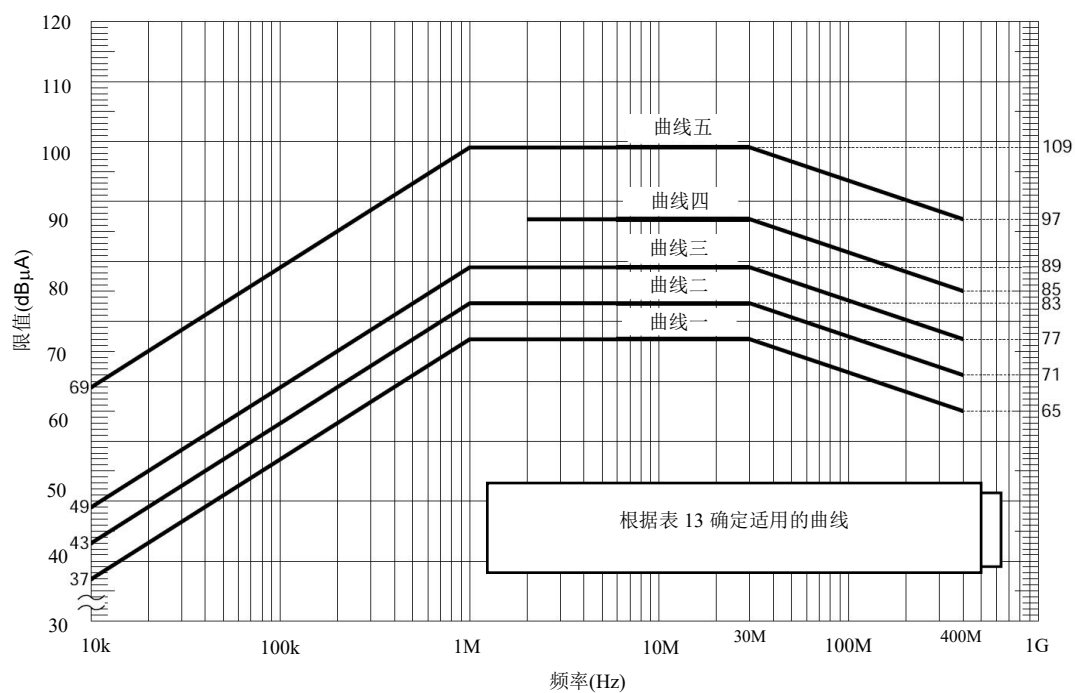


图55 CS114电平设定用限值

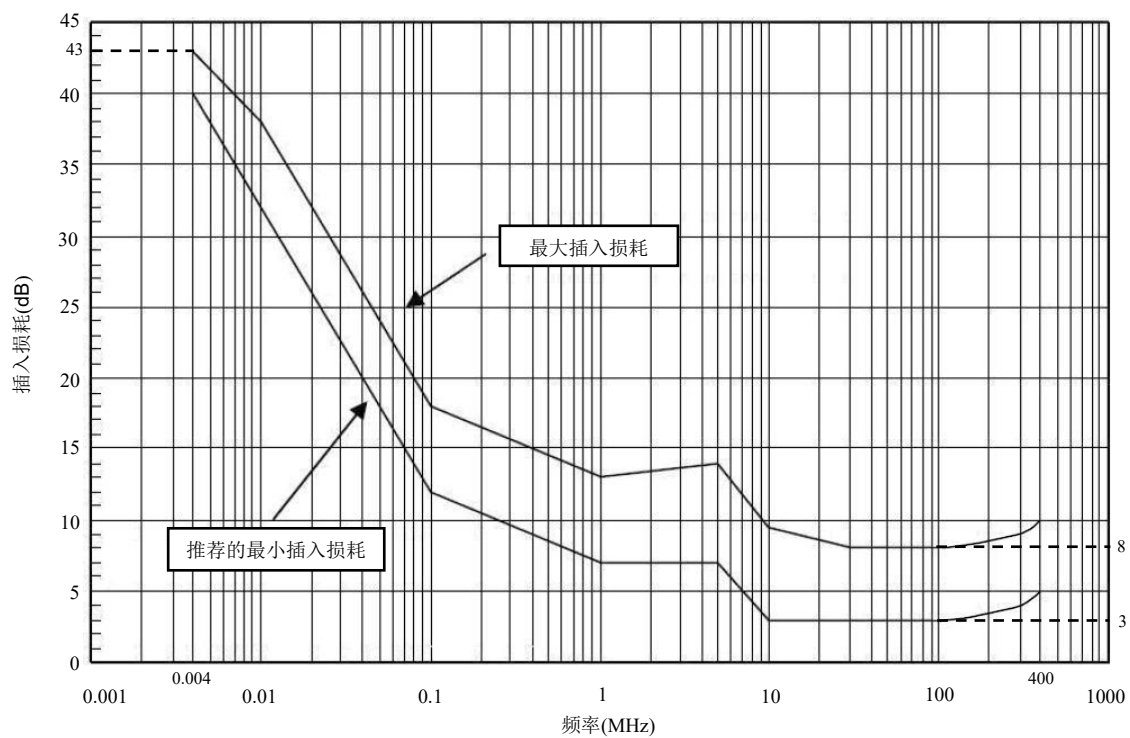
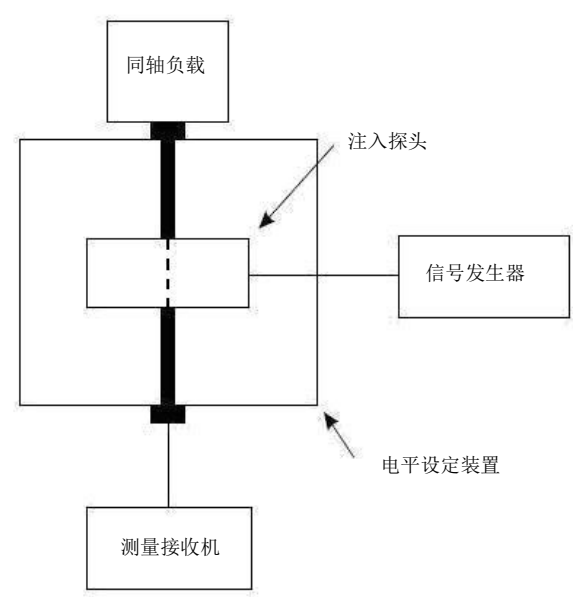


图56 CS114注入探头的插入损耗要求



注入探头的插入损耗等于注入探头的输入功率与测量接收机输入功率之差。

图 57 CS114 注入探头插入损耗的测量

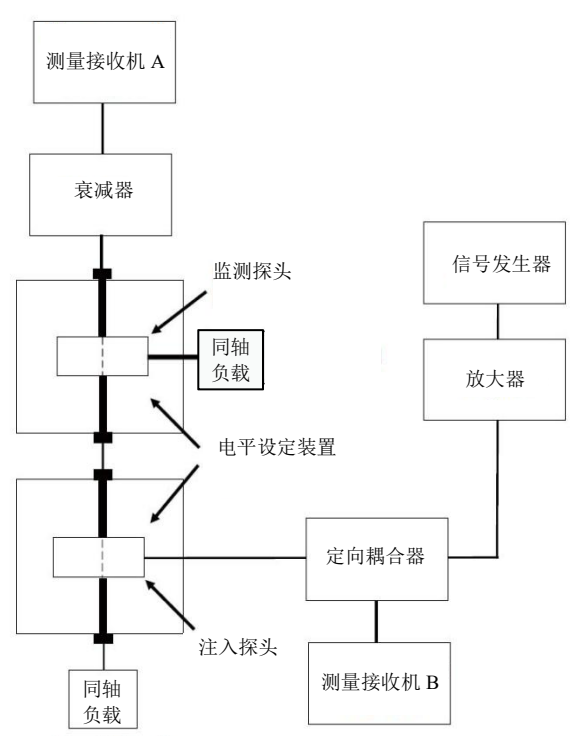


图 58 基于限值的发生器电平设定配置

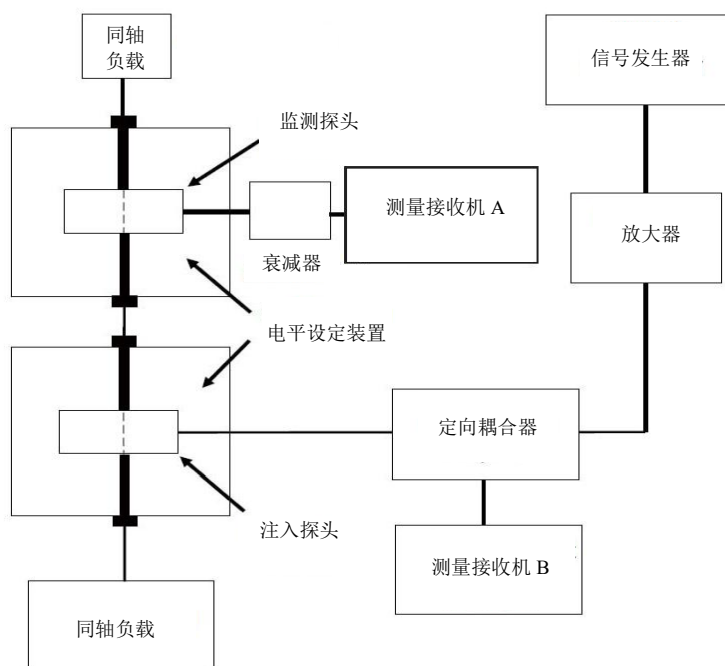


图59 测量系统完整性检查配置

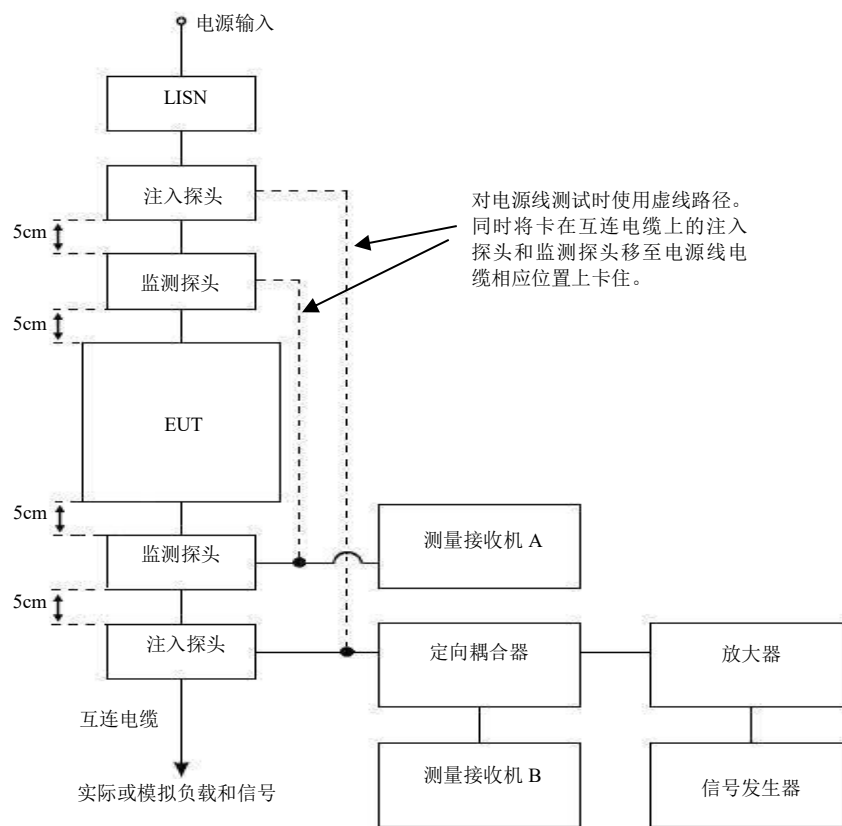


图60 电缆束测试配置

5.17 CS115 电缆束注入脉冲激励传导敏感度

5.17.1 适用范围

本项目适用于所有飞机、空间及地面设备和分系统的互连电缆和电源电缆。当订购方有规定时，本项目也适用于水面舰船和潜艇的设备和分系统。

5.17.2 限值

当按图 61 规定的信号以 30Hz 重复频率进行试验 1min 时，EUT 不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值，或超出单个设备和分系统规范中给出的指标允差。

5.17.3 测试方法

5.17.3.1 测试设备

测试设备如下：

- 脉冲信号发生器，50Ω；
- 注入探头；
- 激励电缆，50Ω，2m 长，在 500MHz 具有不大于 0.5dB 的插入损耗；
- 监测探头；
- 电平设定装置：具有 50Ω特性阻抗的同轴传输线。其两端为同轴连接器，中心导体周围为注入探头留有足够的空间；
- 存储示波器，50Ω输入阻抗；
- 衰减器，50Ω；
- 同轴负载，50Ω；
- LISN。

5.17.3.2 测试配置

测试配置如下：

- 按 4.3.9 及图 2～图 5 进行基本配置。
- 基于限值的发生器电平设定
按图 62 配置测试设备：
 - 将注入探头卡在电平设定装置的中心导体上；
 - 电平设定装置的一端接 50Ω负载，另一端通过 50Ω衰减器连接到 50Ω示波器上。
- EUT 测试
按图 63 配置测试设备：
 - 将注入探头和监测探头卡在与 EUT 连接器连接的电缆束上；
 - 为减小误差，用与电平设定相同的测试配置（示波器、同轴电缆、馈通连接器、额外的衰减器等）连接到监测探头。需要时，可增加衰减；
 - 将监测探头置于距 EUT 连接器 5cm 处，如果连接器及其外壳总长度超过 5cm，则监测探头应尽量靠近连接器外壳；
 - 将注入探头置于距监测探头 5cm 处。

5.17.3.3 测试步骤

测试时，依照如下步骤进行：

- 基于限值的发生器电平设定
 - 按要求规定的上升时间、脉宽和脉冲重复频率调整脉冲信号发生器；
 - 增加信号电平，用示波器监测流经电平设定装置中心导体的电流，直至标准规定的电流；
 - 确认脉冲波形的上升时间、下降时间、脉宽以及重复频率。由于是感性耦合，所以脉冲波形不能精确复现；
 - 记录脉冲信号发生器的幅度设置值 I_c 。
- EUT 测试
对 EUT 上每个连接器端接的每个电缆束，都按表 15 和以下步骤进行测试：
 - 脉冲信号发生器至少输出 5.17.3.3a)4) 的幅度 I_c ；
 - 按规定的脉冲重复频率及测试持续时间施加测试信号；
 - 监视 EUT 是否性能降低；
 - 如 EUT 出现敏感，按 4.3.11.5.4 确定敏感度门限电平；

- 5) 记录示波器测得的电缆束感应峰值电流；
- 6) 按表 15 对与 EUT 其他各连接器连接的每个电缆束分别重复 5.17.3.3b)1)~5.17.3.3b)5)。

表 15 CS115 受试电缆束

连接器端接的电缆束类型	电流探头每次卡住的电缆束
互连电缆	完整的互连电缆
电源线电缆	完整的电源电缆（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）
同时包括互连线和电源线的电缆	完整的电缆
	所有的电源线（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）

5.17.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- a) 电流限值、用示波器实测的电缆束感应电流波形和数据；
- b) 各受试电缆束是否满足敏感度要求的说明；
- c) EUT 发生敏感的受试电缆束、敏感度门限电平及其工作状态。

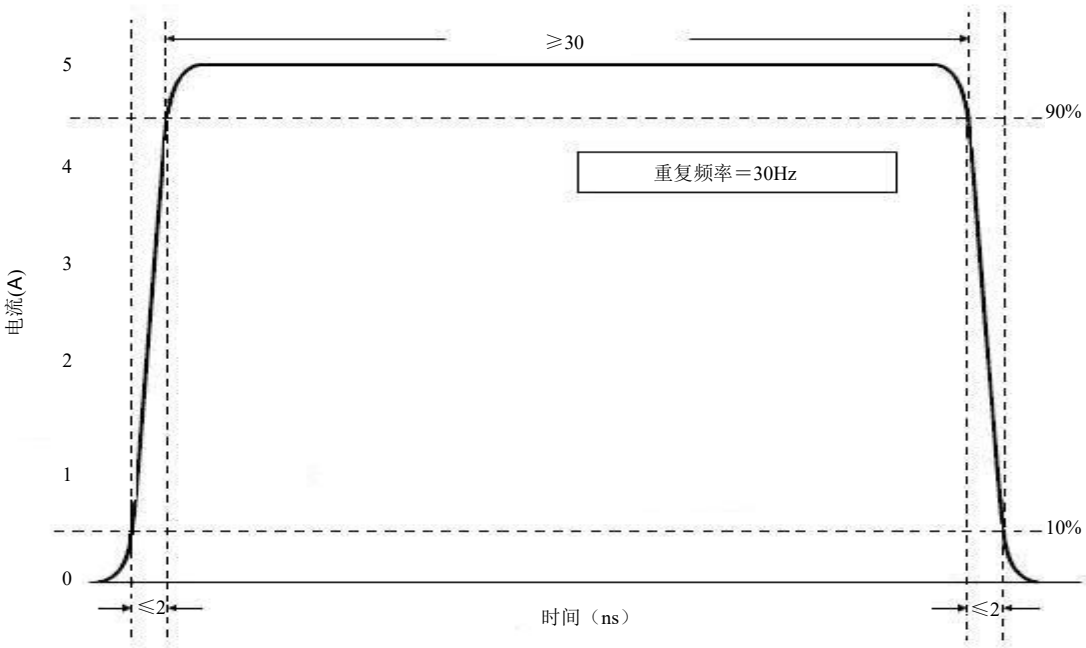


图61 CS115波形

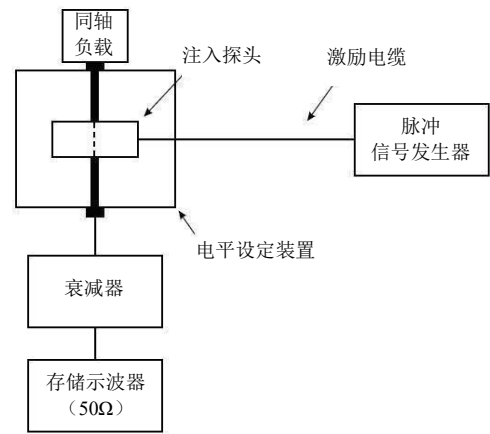


图62 CS115基于限值的发生器电平设定配置

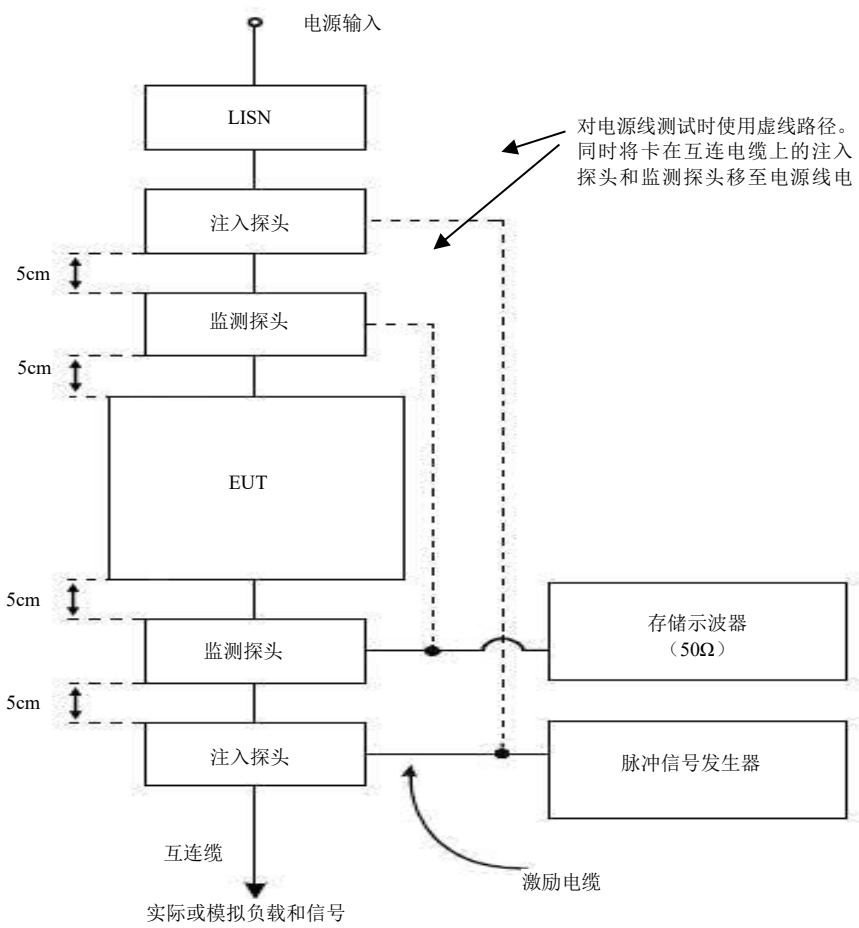


图63 CS115测试配置

5.18 CS116 10kHz~100MHz 电缆和电源线阻尼正弦瞬态传导敏感度

5.18.1 适用范围

本项目适用于所有互连电缆、电源电缆和每根高电位电源线。电源回线无须单独进行测试。

5.18.2 限值

当按图 64 规定的信号波形和图 65 规定的峰值电流进行试验时, EUT 不应出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值, 或超出单个设备或分系统规范中给出的指标允差。至少应在 0.01MHz、0.1MHz、1MHz、10MHz、30MHz 和 100MHz 频点上进行测试。如果还有其他已知的可能对安装设备造成影响的频率, 例如平台谐振频率, 则在这些频率上也要进行测试。测试信号重复率为 0.5 个脉冲/秒<重复率<1 个脉冲/秒。在每个频率点应施加脉冲 5min。

5.18.3 测试方法

5.18.3.1 测试设备

测试设备如下:

- a) 阻尼正弦瞬态信号发生器, 输出阻抗不大于 100Ω;
- b) 注入探头;
- c) 存储示波器, 50Ω;
- d) 电平设定装置: 具有 50Ω特性阻抗的同轴传输线。其两端为同轴连接器, 中心导体周围为注入探头留有足够的空间;
- e) 监测探头;
- f) 衰减器, 50Ω;
- g) 测量接收机;
- h) 同轴负载, 50Ω;
- i) LISN。

5.18.3.2 测试配置

测试配置如下:

- a) 按 4.3.9 及图 2~图 5 进行基本配置。
- b) 基于限值的发生器电平设定
按图 66 配置。
- c) EUT 测试
 - 1) 按图 67 配置;
 - 2) 为减小误差, 连接到监测探头的电路(示波器、同轴电缆、馈通连接器、额外的衰减器等)与电平设定时的电路相同。如果需要, 可增加衰减;
 - 3) 将注入探头和监测探头卡在与 EUT 连接器连接的电缆束上;
 - 4) 将监测探头置于距连接器 5cm 处。如果连接器和外壳总长超过 5cm, 则监测探头应尽可能靠近连接器的外壳;
 - 5) 将注入探头置于距监测探头 5cm 处。

5.18.3.3 测试步骤

测试时, 依照如下步骤进行:

- a) 基于限值的发生器电平设定
 - 1) 将阻尼正弦瞬态信号发生器的频率设置为 10kHz;
 - 2) 逐渐加大阻尼正弦瞬态信号发生器信号幅度直至峰值电流限值 I_L ;
 - 3) 记录阻尼正弦瞬态信号发生器的设置值 I_C ;
 - 4) 确认波形满足要求;
 - 5) 对每个要求的频率分别重复 5.18.3.3a)2)~5.18.3.3a)4)。
- b) EUT 测试
对 EUT 上每个连接器端接的每根电缆和电源线, 都按表 16 和以下步骤进行测试:
 - 1) 将阻尼正弦瞬态信号发生器调到 10kHz;
 - 2) 按表 16 对 EUT 的每根电缆或电源线依次施加测试信号。逐渐增加阻尼正弦瞬态信号发生器输出电平至 I_T , I_T 取 I_L 和 I_C 中的先到达者, 其中 I_L 为监测探头监测的峰值电流限值; I_C 为 5.18.3.3a)3) 中记录的阻尼正弦瞬态信号发生器设置值; 记录测得的峰值电流;
 - 3) 监测 EUT 是否性能降低。如出现敏感, 按 4.3.11.5.4 确定敏感度门限电平;
 - 4) 对其他要求的频率分别重复 5.18.3.3b)2)~5.18.3.3b)3)。

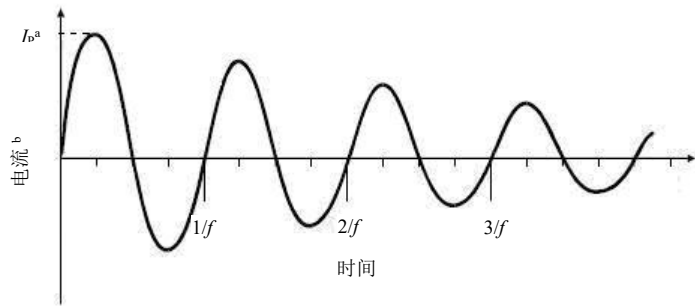
表 16 CS116 受试电缆

连接器端接的电缆类型	电流探头每次卡住的电缆
互连电缆	完整的互连电缆
电源线电缆	完整的电源电缆（包括高电位线、回线和地线）
	单根高电位线（不包含其他高电位线、电源回线和地线）
同时包括互连线和电源线的电缆	完整的电缆
	所有的电源线（包括高电位线、回线和地线）
	单根高电位线（不包含其他高电位线、电源回线和地线）

5.18.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- a) 测试频率和电流限值、用示波器实测的电缆感应电流波形和数据；
- b) 各受试电缆是否满足敏感度要求的说明；
- c) EUT 发生敏感的受试电缆、频率、敏感度门限电平及其工作状态。



- ^a I_p 按图 65 确定。
- ^b 电流的归一化波形为 $e^{-(\pi t)/Q} \sin(2\pi ft)$ ；
式中：
 f —— 频率，Hz；
 t —— 时间，s；
 Q —— 阻尼因子，15±5。

按下述确定阻尼因子：
$$Q = \frac{\pi(N-1)}{\ln(I_p/I_N)}$$

式中：
 Q —— 阻尼因子；
 N —— 周期数（例如：N=2、3、4、5，…）；
 I_p —— 第 1 周期峰值电流；
 I_N —— 衰减到 50% 左右时的峰值电流；
 $\ln$ —— 自然对数。

图64 CS116典型的阻尼正弦波

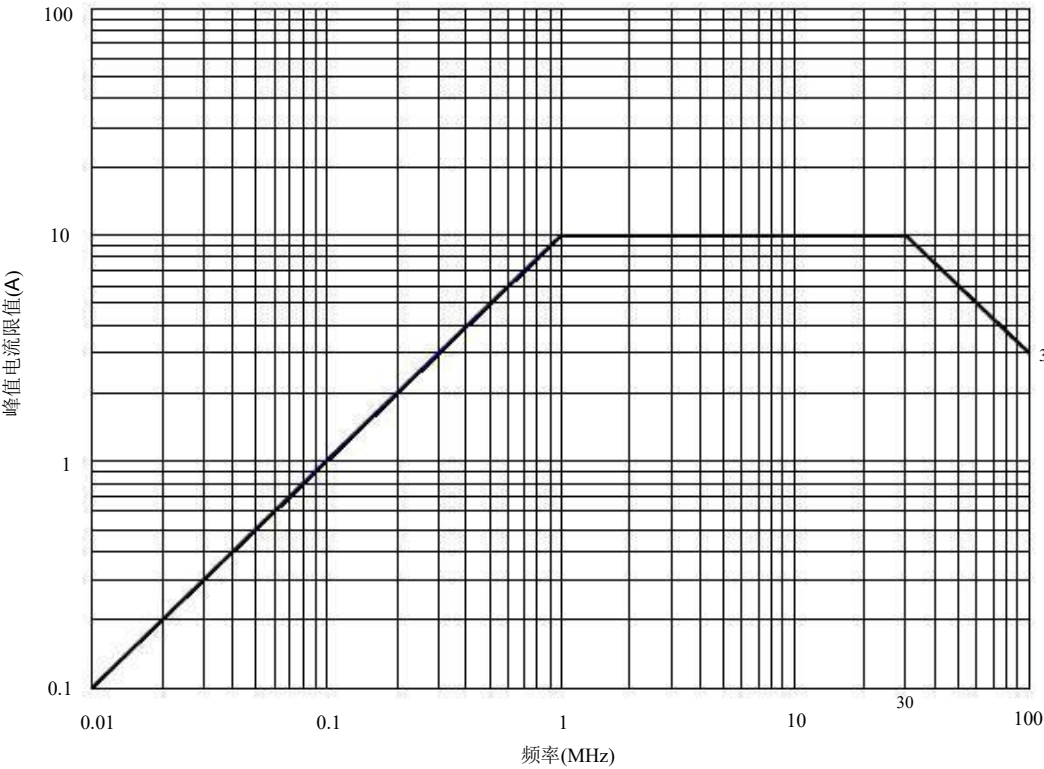


图65 CS116限值

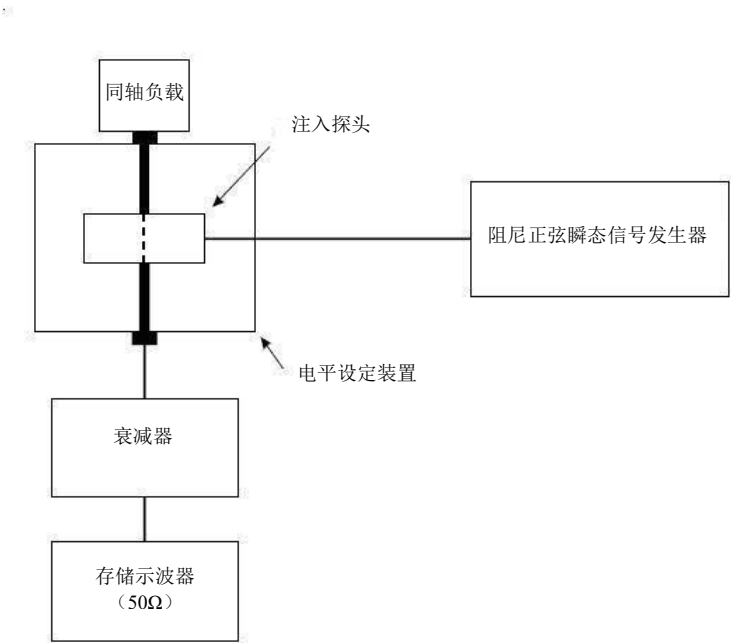


图66 CS116基于限值的发生器电平设定配置

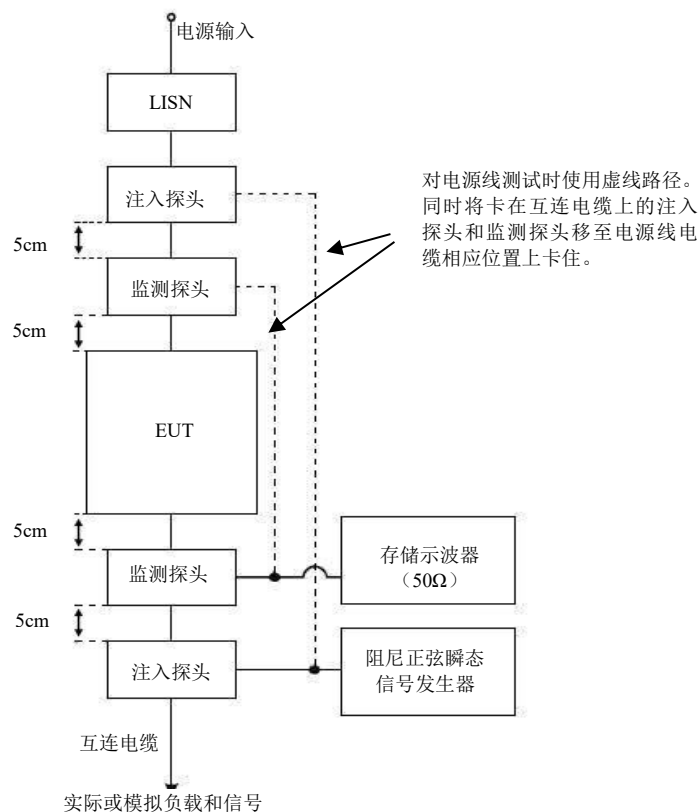


图67 CS116测试配置

5.19 CS117 电缆和电源线雷电感应瞬态传导敏感度

5.19.1 适用范围

本要求适用于所有安全关键设备的互连电缆，包括完整的电源线以及每根高电位线。它也适用于与安全关键设备相连的非安全关键设备互连电缆及电气接口。当设备订购方有要求时，也可用于执行非安全关键功能的设备。此外，本要求也有限适用于电缆敷设在舰船甲板上的设备。

5.19.2 限值

当施加表 17 所示雷电瞬态电平、图 68～图 70 规定的时域波形时，EUT 不得出现任何故障、性能降低或偏离规定的指标值，或超出单个设备或分系统规范中给出指标允差。

5.19.3 测试方法

5.19.3.1 测试设备

测试设备如下：

- a) 雷电瞬态信号发生器；
- b) 注入变压器；
- c) 示波器；
- d) 电流探头；
- e) 衰减器，50 Ω，电流探头需要时；
- f) 电压探头，高阻；
- g) 监测环，低阻抗的导线环路；
- h) 检查环，低阻抗的导线环路；
- i) 电容器，用于直流电源输入端时， $\geq 28000 \mu\text{F}$ ；用于交流电源输入端时， $10 \mu\text{F}$ ；
- j) LISN。

5.19.3.2 测试配置

测试配置如下：

- a) 按 4.3.9 及图 2～图 5 进行基本配置。对于直流电源，在 LISN 电源输入侧的高电位线和回线间应连接 **不小于 28000 μ F 的电容**；对于交流电源，在 LISN 电源输入侧的高电位线和接地回线间应连接 10 μ F 的电容。
- b) 测量系统完整性检查
按图 71 配置，以检查测试设备短路电流和开路电压的波形。
- c) EUT 测试
 - 1) 测试设备按图 72～74 配置；
 - 2) 将注入变压器和电流探头卡在与 EUT 连接器相连的电缆束上；
 - 3) 将电流探头置于离连接器 5 cm～15 cm 的地方，如果连接器与后壳的总长超过 15 cm，则电流探头应尽可能靠近连接器的后壳；
 - 4) 将注入变压器置于距电流探头 5 cm～50 cm 处；
 - 5) 将监测环路置于注入变压器中并与电压探头相连。

5.19.3.3 测试步骤

测试时，依照如下步骤进行：

- a) 测量系统完整性检查
 - 1) 将雷电瞬态信号发生器连接到注入变压器的初级输入端；
 - 2) 对于每个波形，在指定的测试电平（ V_T 或 I_T ）下，记录检查环开路时的电压波形和短路时的电流波形，确认各波形符合图 68 所示的相关波形参数要求。不要求雷电瞬态信号发生器能产生相应的限值电压、限值电流电平（ V_L 或 I_L ）和波形。然而，如果雷电瞬态信号发生器可以达到指定的限值电平（ V_L 或 I_L ），则验证并记录在此雷电瞬态信号发生器设置下的波形；
 - 3) 对于多重回击和多重脉冲组测试，还应根据图 69 和 70 验证适用的脉冲波形和时间参数；
 - 4) 改变雷电瞬态信号发生器极性重复 5.19.3.3 a) 2)～5.19.3.3 a) 3) 的测试。
- b) EUT 测试
 - 1) 增加雷电瞬态信号发生器的输出直至指定的测试电平（ V_T 或 I_T ）或限值电平（ V_L 或 I_L ）。需要时，调整雷电瞬态信号发生器的设置和/或注入变压器的配置，以便在受试电缆中得到所需的测试电平（ V_T 或 I_T ），除非相应的限值电平（ V_L 或 I_L ）已首先达到。若注入变压器的配置发生了变化，则应重新进行验证。记录波形和得到的幅值电平。如果在取得测试电平（ V_T 或 I_T ）之前就达到了限值电平（ V_L 或 I_L ），则应按如下方法重新评估以确定测试是否可以接受：
 - a) 测量系统完整性检查期间，如果雷电瞬态信号发生器产生的限值波形（幅值和波形）符合要求，则测试可接受；
 - b) 测试期间，如果获得的特定限值波形处于图 68 所示波形的允差范围内，则测试可接受；
 - c) 如果以上条件均未满足，则应使用另一满足限值波形要求的雷电瞬态信号发生器重新对该电缆束进行测试。这种情况下，相关的限值电平（ V_L 或 I_L ）变为测试电平（ V_T 或 I_T ），测试电平变为限值电平。应对替代的雷电瞬态信号发生器应重新进行测量系统完整性检查。
当测量电压或电流波形电平时，应剔除测量波形中由仪器噪声、开关瞬态或负载效应导致的短时尖峰或高频噪声。附录 F 提供了一些测量示例。
 - 2) 对于多重回击测试，在 5.19.3.3b)1) 中雷电信号发生器输出设置的基础上，最少施加 10 次多重回击并同时监测 EUT 的运行。每个多重回击瞬态之间的最大时间间隔应不大于 5min；
 - 3) 对于多重脉冲组测试，在 5.19.3.3b)1) 中雷电瞬态信号发生器输出设置的基础上，连续施加多重脉冲组，每 3s（每三个脉冲一组的起点间隔为 3s）施加一个多重脉冲组，最少持续 5min；
 - 4) 改变雷电瞬态发生器极性，重复 5.19.3.3b)1)～5.19.3.3b)3)；
 - 5) 对 EUT 上每个电连接器的电缆束按表 18 重复 5.19.3.3b)1)～5.19.3.3b)4)。

5.19.3.4 测试数据

试验完成后，需提供如下测试数据：

- a) 提供各电缆和电源线的波形和幅度清单；
- b) 提供测量系统完整性检查波形图；
- c) 提供各受试电缆及电源线的测试波形图，每个极性对应一个图例；
- d) 提供每个接口连接器是否满足 5.19.3.3b) 中确定的敏感度评估要求。

表 17 CS117 多重回击和多重脉冲组雷电的测试和限值电平

多重回击			
适用性	测试波形	内部设备电平 ^b	外部设备电平 ^b
所有设备	波形 2 / 波形 1	首次回击： $V_L=300V$ (波形 2) $I_T=600A$ (波形 1), $I_T=600A^a$ 再击： $V_L=150V$ (波形 2) $I_T=150A$ (波形 1), $I_T=30A^a$	首次回击： $V_L=750V$ (波形 2) $I_T=1500A$ (波形 1), $I_T=150A^a$ 再击： $V_L=375V$ (波形 2) $I_T=375A$ (波形 1), $I_T=75A^a$
所有设备	波形 3 - (1MHz 和 10MHz)	首次回击： $V_T=600V$ (波形 3) $I_L=120A$ (波形 3), $I_L=24A^a$ 再击： $V_T=300V$ (波形 3) $I_L=60A$ (波形 3), $I_L=12A^a$	首次回击： $V_T=1500V$ (波形 3) $I_L=300A$ (波形 3), $I_L=60A^a$ 再击： $V_T=750V$ (波形 3) $I_L=150A$ (波形 3), $I_L=30A^a$
在复合材料 蒙皮/结构区 域安装的设备	波形 4/波形 5A	首次回击： $V_L=300V$ (波形 4) $I_T=1000A$ (波形 5A), $I_T=300A^a$ 再击： $V_L=75V$ (波形 4) $I_T=200A$ (波形 5A), $I_T=150A^a$	首次回击： $V_L=750V$ (波形 4) $I_T=2000A$ (波形 5A), $I_T=750A^a$ 再击： $V_L=187.5V$ (波形 4) $I_T=400A$ (波形 5A), $I_T=375A^a$
多重脉冲组			
适用性	测试波形	内部设备电平 ^b	外部设备电平 ^b
所有设备	波形 3- (1MHz 和 10MHz)	$V_T=360V$ (波形 3) $I_L=6A$ (波形 3)	$V_T=900V$ (波形 3) $I_L=15A$ (波形 3)
使用短、低阻 线束的设备	波形 6	$V_L=600V$ (波形 6) $I_T=30A$ (波形 6)	$V_L=1500V$ (波形 6) $I_T=75A$ (波形 6)

^a 这些电平适用于单根电源线或导线数量较少的线束。当多线一起测试时，此电流应增加到全束电平或者导线数与相应单根电流测试值/限值的乘积，取两者中的小者。

^b 所有波形的幅值允差为+20%，-0%，但再击的允差为+50%，-0%。 V_T 表示测试电压电平（V）， I_T 表示测试电流电平（A）。 V_L （V）和 I_L （A）为防止对 EUT 进行过测试的限值。

表 19 CS117 受试电缆束

连接器端接的电缆束类型	电流探头每次卡住的电缆束
互连电缆	完整的互连电缆
电源线电缆	完整的电源电缆（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）
同时包括互连线和电源线的电缆	完整的电缆
	所有的电源线（包括高电位线、回线和地线）
	所有的高电位线（不包含电源回线和地线）

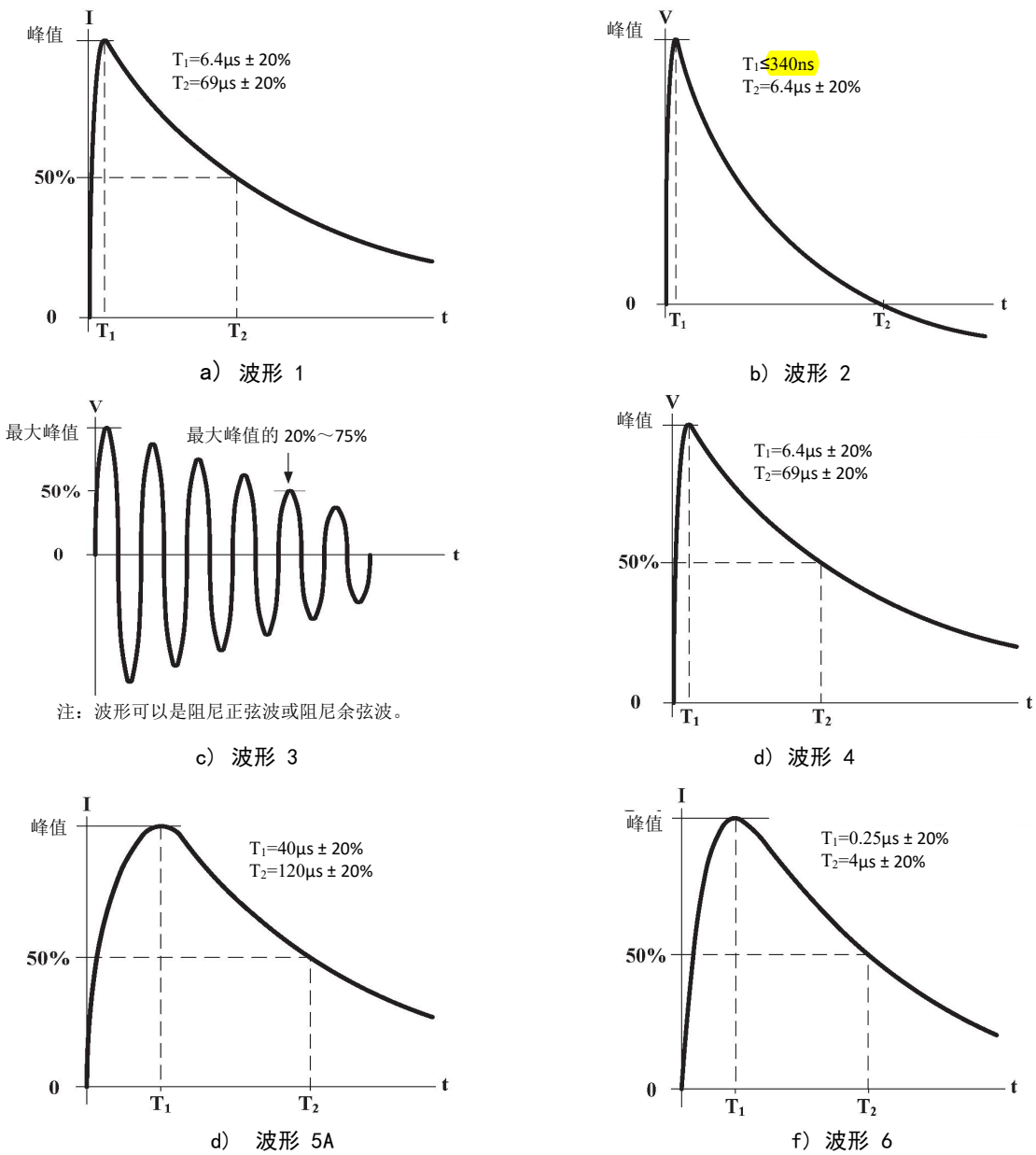


图68 雷电感应瞬态波形图

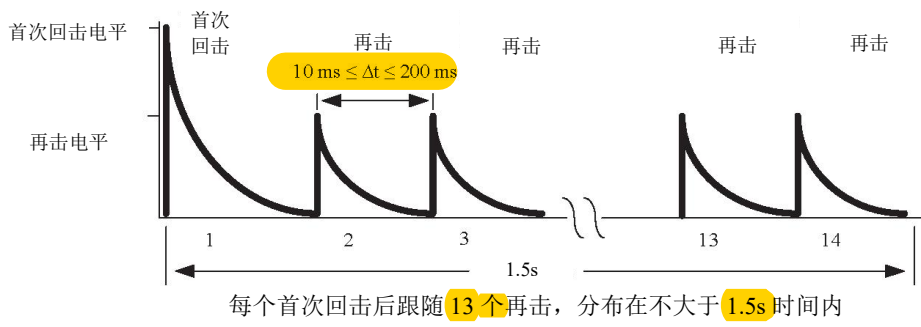


图69 多重回击

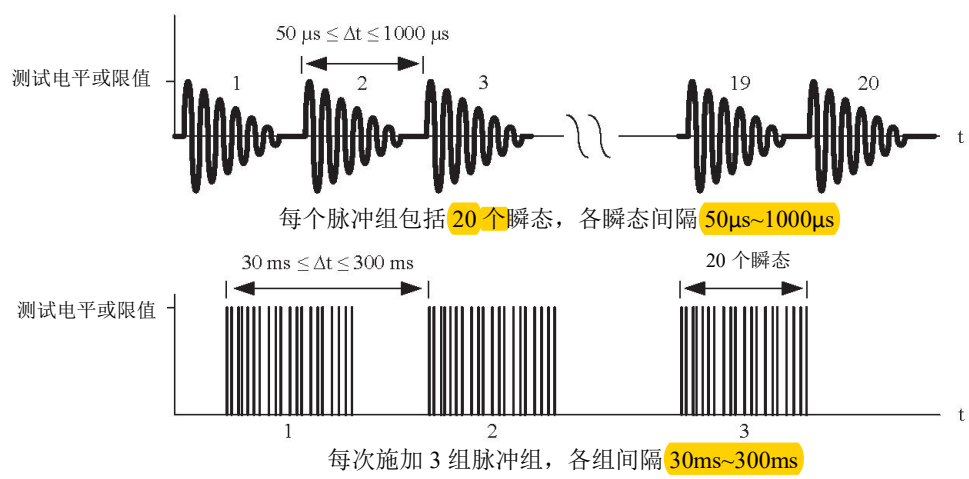


图70 多重脉冲组

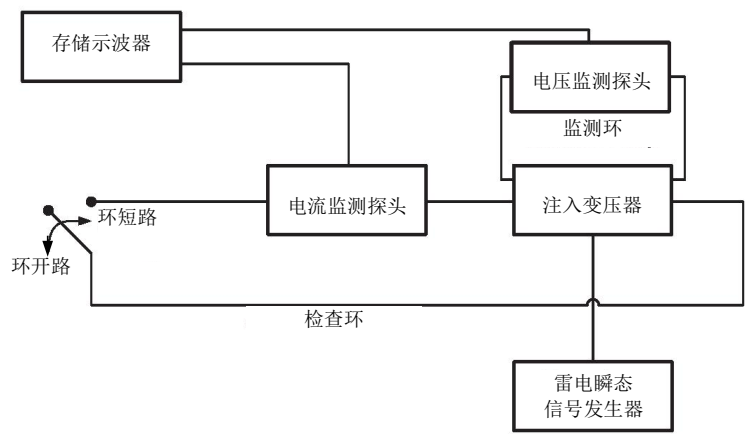


图71 雷电波形测量系统完整性检查配置

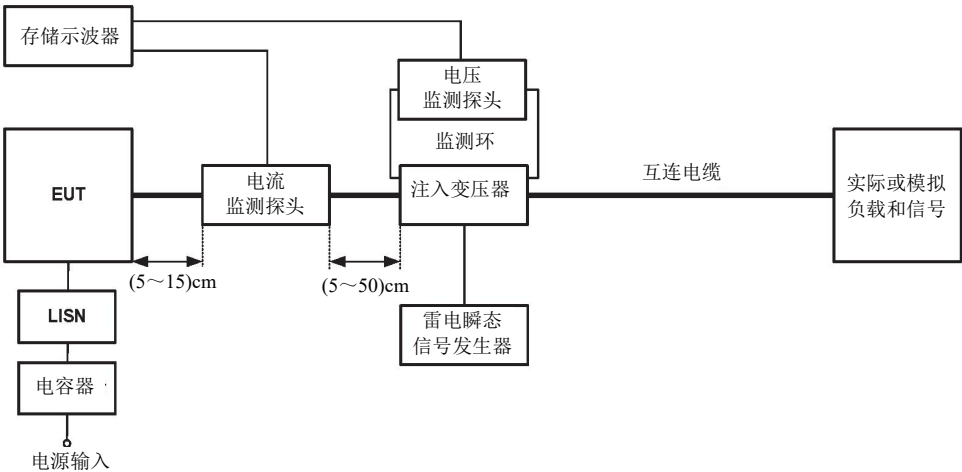


图72 完整互连电缆束雷电瞬态测试配置

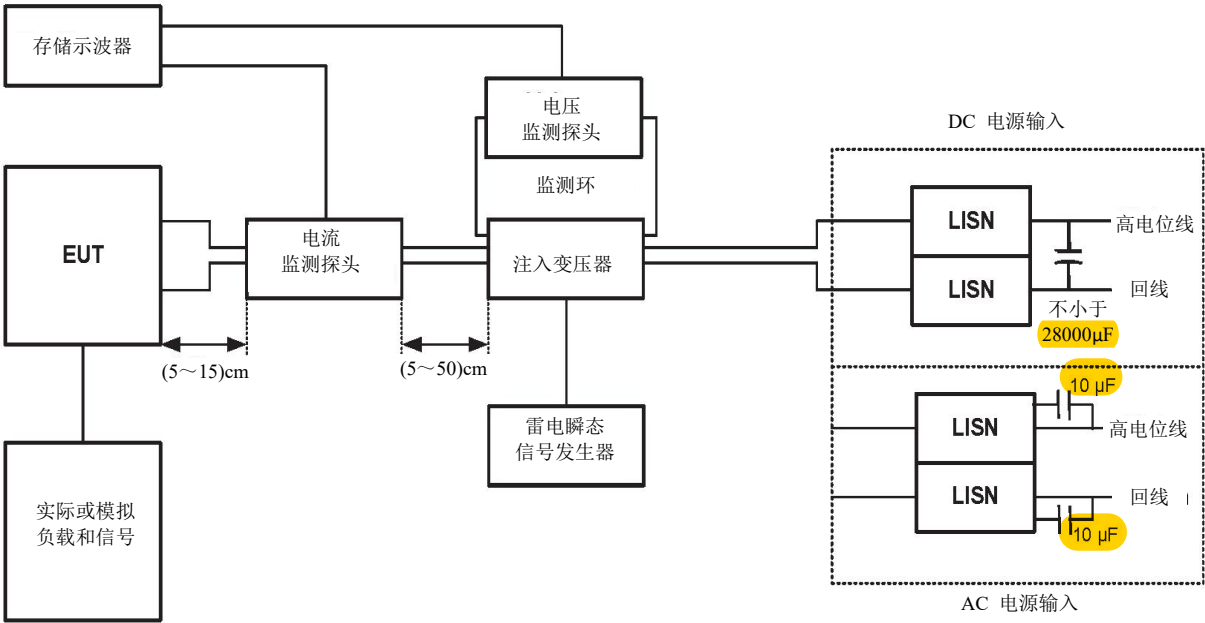


图73 完整电源电缆（高电位线和回线）雷电瞬态测试配置

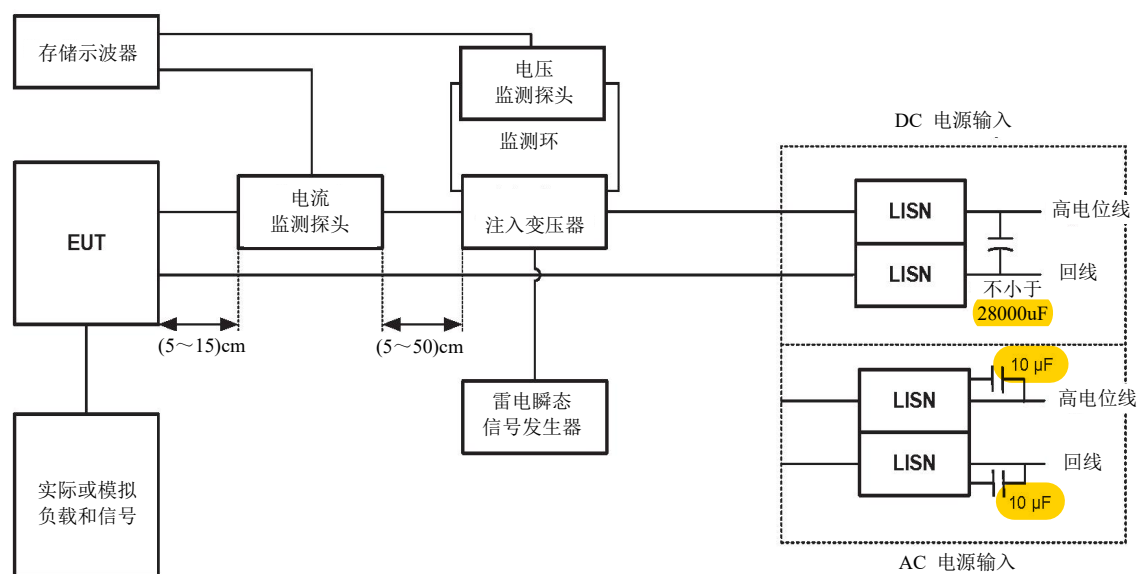


图74 电源电缆中剔除回线和地线后的雷电瞬态测试配置

5.20 RE101 25Hz~100kHz 磁场辐射发射

5.20.1 适用范围

本项目适用于水面舰船、潜艇和陆军飞机（包括机场维护工作区）上的设备、分系统壳体及其电缆接口的辐射发射，不适用于天线辐射。对海军飞机，本要求只适用于工作频率在 25Hz~100kHz 之间的 ASW 设备，例如:声接收器(声呐)或磁异常探测器(MAD)。

当订购方有规定时，本项目也适用于空间系统。

5.20.2 限值

测试距离为 7cm 时，磁场辐射发射不应超过图 75 和图 76 的限值。

5.20.3 测试方法

5.20.3.1 测试设备

测试设备如下：

- a) 测量接收机；
- b) 接收环天线：
 - 1) 直径：13.3cm；
 - 2) 匝数：36；
 - 3) 导线：直流电阻 5Ω~10Ω；
 - 4) 屏蔽：静电屏蔽；
 - 5) 修正系数：用于将测量接收机的读数转换为以 dBpT 为单位的数据。
- c) LISN；
- d) 信号发生器。

5.20.3.2 测试配置

测试配置如下：

- a) 按 4.3.9 及图 2~图 5 进行基本配置。
- b) 测量系统完整性检查
按图 77 配置。
- c) EUT 测试

附录 F
(资料性附录)
CS117 瞬态幅值的测量示例

瞬态幅值测量是测试不一致和误差的重要来源。所使用的测量技术不仅决定了 EUT 的敏感度门限电平大小,而且也是发生器校准/验证期间确定波形时间参数是否符合要求的基础。在进行瞬态测量时,正确使用扫描时间因数和游标对获得正确的测量结果至关重要。

扫描时间因数的选择:在发生器校准/验证期间,扫描时间因数宜根据被测波形尽量设置在最小。例如,对于大多数示波器,1 μs /格是显示波形 3 在 1 MHz 所需波形参数的最小扫描时间因数。根据瞬态发生器的设计和波形的不同,开路电压和短路电流的扫描时间因数可能不同。

游标的放置:电压或电流瞬态幅值的测量决定了施加到 EUT 的电平、发生器的性能验证和测试顺序。峰值的幅值宜通过手动放置示波器的水平游标来确定,而不是使用自动测量功能来确定,以避免欠测试。常见的高频噪声(相对于预期瞬态的频率成分更高)和电感的反冲作用效应导致瞬态的绝对峰值高于实际峰值。

一般地,根据峰值以下是否存在可识别的能量来确定瞬态的幅值。高频噪声可以出现在阻尼正弦和双指数波形的前沿和/或峰值,由于几乎没有可识别的能量,所以应忽略不计。而瞬态上叠加的纹波因有能量,所以应予以考虑,此时,瞬态的峰值就是所测瞬态的幅值。

图 F.1 a)为剔除高频噪声后测量瞬态幅值的示例。通过调整扫描时间因数,将游标放在曲线下可识别能量的峰值处,即可得到正确的幅值。该暂态的第一个周期峰值上的窄峰是确定幅值时应忽略的高频噪声。随着幅值的减小,狭窄的尖峰逐渐展开,需要对游标放置的位置进行主观判断。

图 F.1 b)的测量与图 F.1 a)的测量类似,但要注意曲线下的能量被噪声掩盖了,要避免过于保守,误将游标放置在噪声的底部。

图 F.1 c)为考虑了电感反冲作用效应后测量瞬态幅值的示例。由于其引起的纹波通常都具有能量,所以,瞬态的峰值就是幅值。

图 F.1 d)为同时具有高频噪声和纹波的瞬态幅值测量示例。在发生器校准/验证过程中,窄尖峰可能很小或不存在,但在 EUT 测试中,窄尖峰作为加载效应可能不可避免。测量时,剔除没有能量的高频噪声,保留具有能量的纹波,即可测得瞬态的幅值。

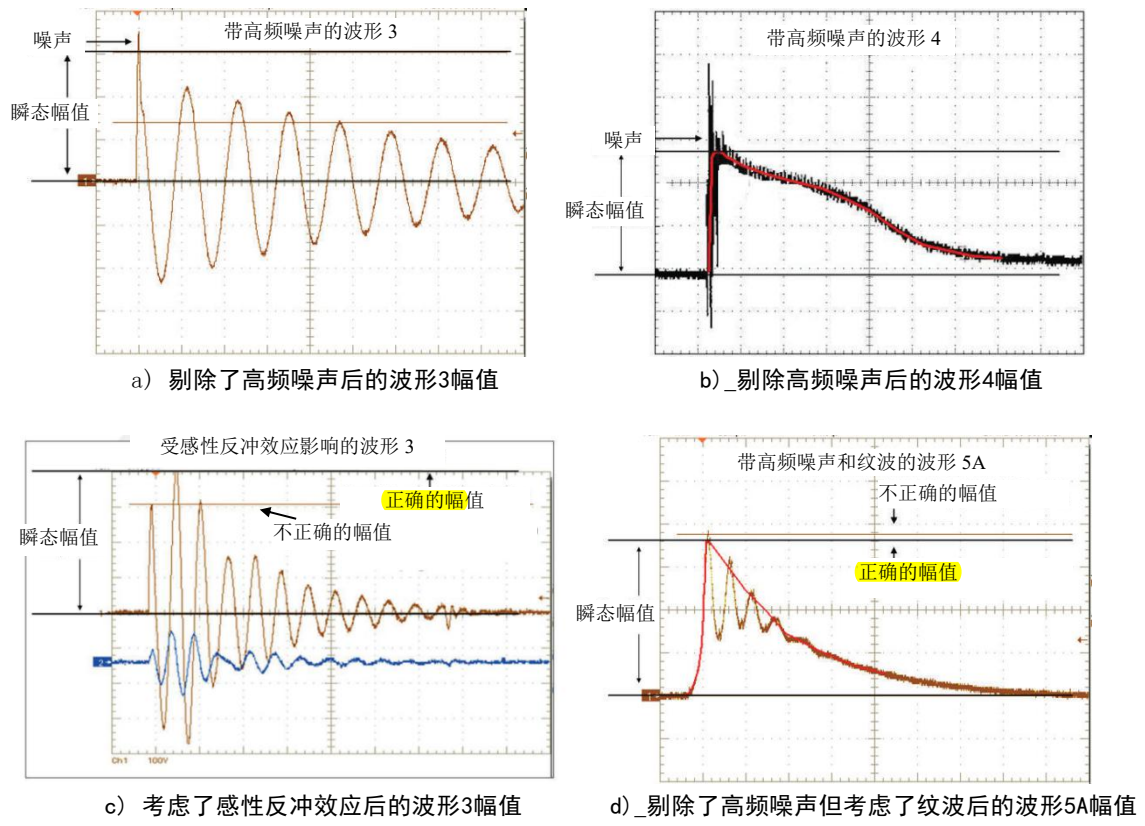


图 F.1 带高频噪声、纹波及受感性反冲效应影响的瞬态幅值测量示例