



军标试验常规培训

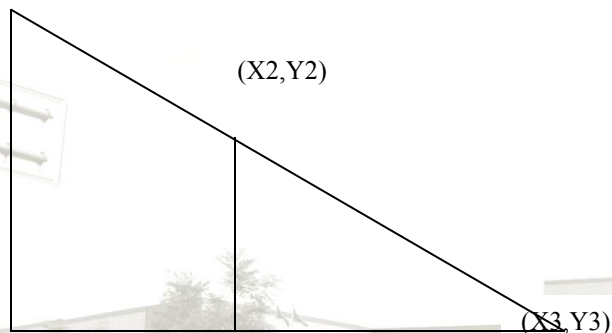
中国电子技术标准化研究院

中国赛西实验室 崔强博士



- 1. 常用单位与对数单位之间的换算:
- 电压: $V_{\text{dB}\mu\text{V}} = 20\lg(10^6 \times V(\text{单位}V))$
- 电流: $I_{\text{dB}\mu\text{A}} = 20\lg(10^6 \times I(\text{单位}A))$
- 功率: $P_{\text{dBm}} = 10\lg(10^3 \times P(\text{单位}W))$
- 2. 对数坐标换算:

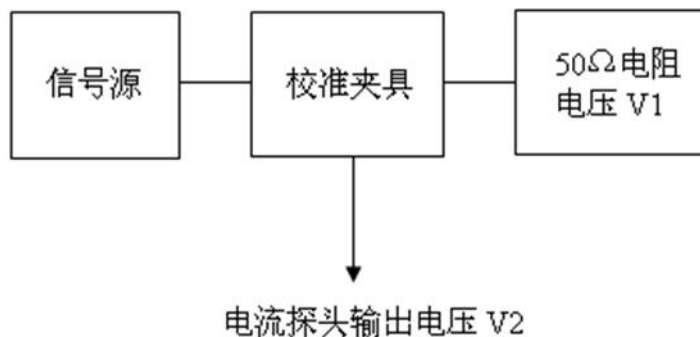
(X1,Y1)



$$\frac{Y1 - Y3}{\lg X3 - \lg X1} = \frac{Y1 - Y2}{\lg X2 - \lg X1}$$

- 3. 50Ω 系统中，电压和功率的换算关系：
- $P_{\text{dBm}} = V_{\text{dB}\mu} - 107\text{dB}$ ；
- 4. 测量接收机反映的是测量端口的电压V，
CE101测量单位 $\text{dB}\mu\text{A}$ （V+电流探头系数）；
- CE102测量单位 $\text{dB}\mu\text{V}$ （V+LISN系数）；
- RE101测量单位 dBpT （V+环天线系数）；
- RE102测量单位 dBmV/m （V+天线系数）。

- 电流探头的系数指的是传输阻抗。
- 传输阻抗的校准公式： $Z=34+V_2-V_1$
 - $Z \ll$ 信号源内阻 50Ω 所以 $I=V_1/50$
 - 所以 $V_2=I*Z=(V_1/50)*Z$ 得到 $Z=(V_2*50)/V_1$
 - 换算成dB值为 $Z_{dB\Omega}=20\text{LOG}50+V_2(\text{dB})-V_1(\text{dB})$
- 如何使用：
 - $I_{dB\mu A}=V_{dB\mu V}-Z_{dB\Omega}$



- 接地平板
 - 屏蔽室内应不小于 2.5m^2 ，短边不小于 760mm ；
 - 屏蔽室外应至少为 $2\text{m} \times 2\text{m}$ ，且至少超过测试配置边界 0.5m ；
 - 接地平板通过金属搭接条以 1m 间隔搭接到屏蔽室的屏蔽壁或地板上，应为实心，长宽比不大于 $5:1$ 。



- **EUT的接地**

- 如果**EUT**安装中不存在接地平板时，**EUT**应放在非导电面上；
- 只有**EUT**设计和安装中有规定时，才能将**EUT**的外壳和安装基座等与接地平板搭接；
- **EUT**需要接地时，如接地线接地，应按照**EUT**的设计要求或大纲进行接地；



- EUT的取向

- 发射试验：应将EUT产生最大辐射发射面朝向天线；
- 敏感度试验：对辐射信号或敏感度信号最易产生响应的面；
- EUT与接地平板前边缘距离 $100\pm 20\text{mm}$ 。



- 互连线和电缆
 - 电缆长度原则上与实际安装中一致，若超过10m，应至少取10m；
 - 试验中，互连电缆应至少为2m，除非实际安装中短于2m；
 - 互联电缆之间的间距为20mm；
 - 最靠前的电缆应放在接地平板前沿100mm处；
 - 所有电缆支撑在接地平板上方50mm处。

Diagram illustrating the test setup for measuring the common mode impedance of a power line. The setup is mounted on a table with a height of 80~90cm. The test area is defined by a 2m x 10cm area. A 2m long, 5cm high "高于接地平板" (above ground plane) is connected to a "电源" (power source) and a "互连电缆" (interconnecting cable). A "EUT" (Equipment Under Test) is connected to the power source. A "LISN" (Line Impedance Stabilization Network) is connected to the interconnecting cable and a "接地平板" (ground plane). The ground plane is 80~90cm high. Dimensions are given in cm and m.

一般要求



- 工作状态

- 发射测试：EUT最易产生发射的状态；
- 敏感度测试：EUT最敏感的状态；
- 可调谐的射频设备的工作频率
 - EUT应工作在不少于三个频率上：中心频率、频带高端-5%、频带低端+5%
- 扩频设备的工作频率
 - 跳频：应在包括整个频率范围30%的跳频模式；跳频在EUT频率范围内等分成低、中和高三段；
 - 直接序列：EUT以最高数据传输速率工作的状态。

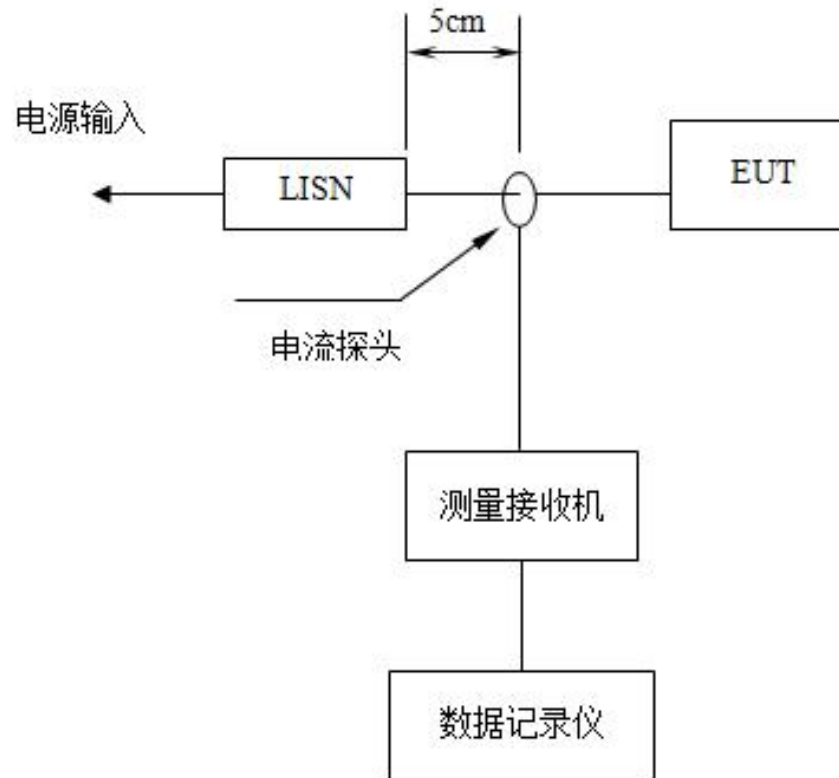
- 敏感度监测
 - 敏感度试验期间，监测EUT是否性能降低或误动作；
 - 监测方法应切实可行，并如实记录在原始记录和试验报告中。



CE101-测试布置



- 测试配置图



CE101-限值选取



- 陆军飞机

- 交流供电时，限值从电源频率的二次谐波开始适用。

- 确定电流

$$I(A) = 10^{\frac{I_{dB} - 120}{20}}$$

- 直流：电流表测量

- 交流：接收机在工作频点测量的电流值

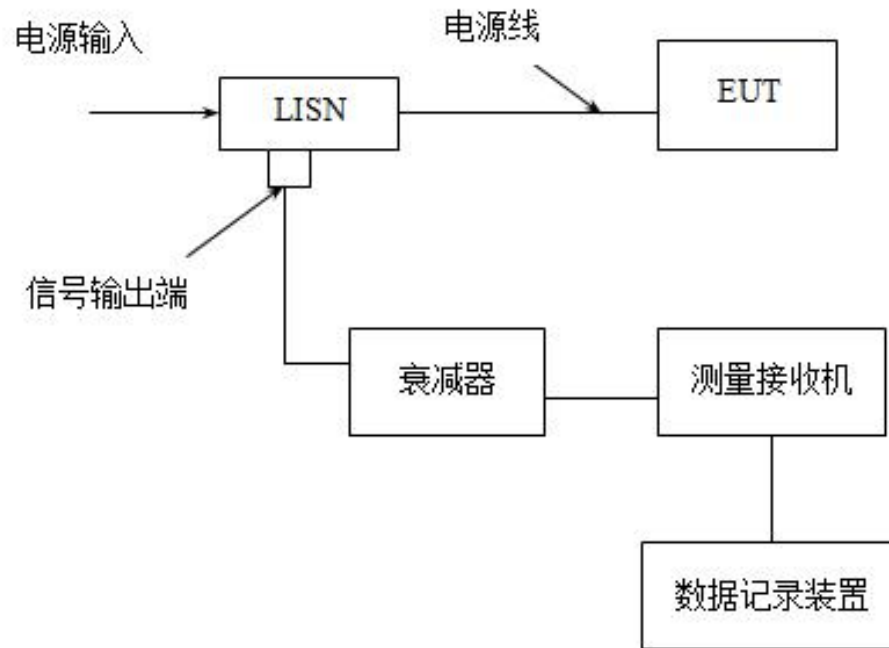
- 特别的，对于三相供电设备，需要将按照接收机测量得到的电流与电流卡钳测得的电流相比，确认是否为根号3倍；
 - 如果是根号3倍，应将按照接收机测量得到的电流除以根号3作为限值选取中的基波电流；
 - 如果基本相等，应将按照接收机测量得到的电流作为限值选取中的基波电流。

- 确定功率

- 对CE101-2和CE101-3限值

- 对三相设备，选择曲线1还是曲线2是以设备的电源功率来确定的，但该功率应该指的是设备的总功率而不是每相功率；
 - 如果三相50Hz设备L1上电流为2A，则总功率应为 $2 \times 380 \times \sqrt{3} (1.732) = 1316.32\text{VA}$ ，应选曲线2，不能按照每相功率 $2 \times 380 = 760\text{VA}$ ，选择曲线1；
 - 上述公式是在三相平衡条件下的理想结果，实际用电流卡钳测试时以所有相线上的最大测试电流为基准进行计算。

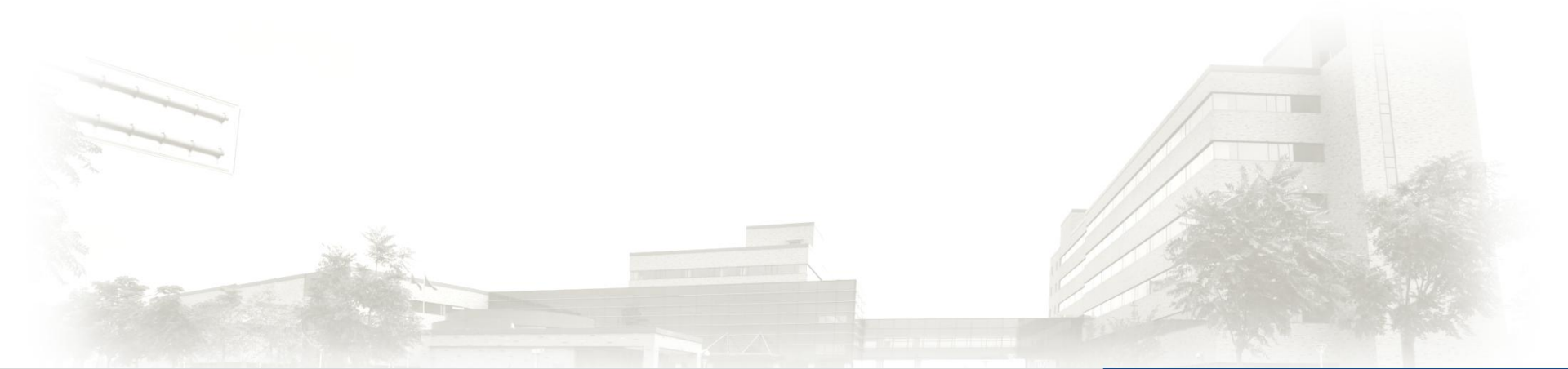
- 测试配置图



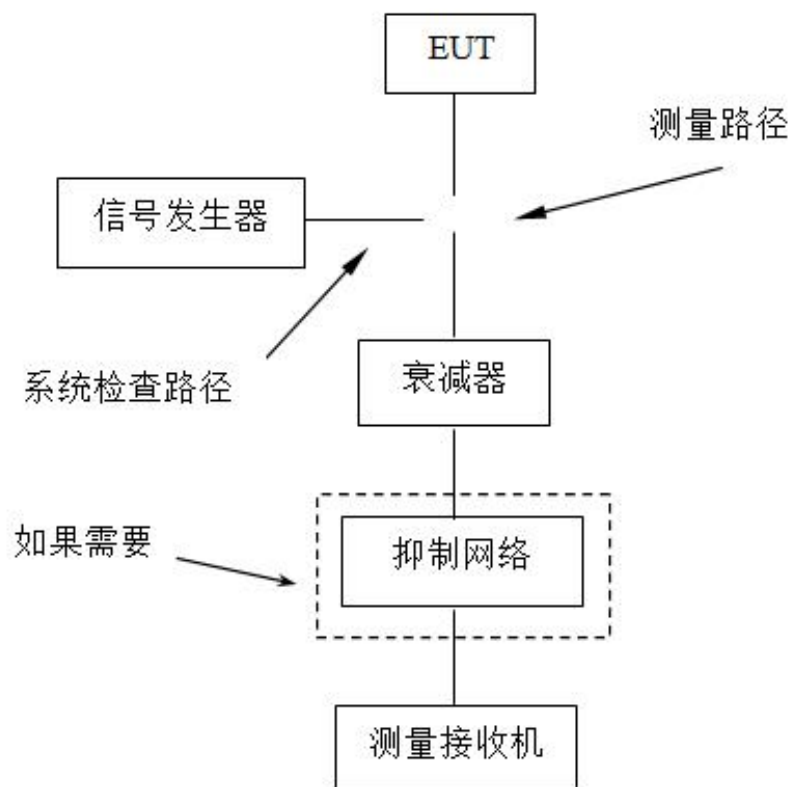
CE102-限值选取



- 按照标准CE102-1进行选取
 - $\leq 28V$ 为基准曲线
 - $> 28V$ 按照 $10\log(V/28)$ 进行放宽



- 测试配置图



- 适用于发射机和接收机天线端子，不适用于不能拆卸的固定式天线的设备；
- 对受试发射机（发射状态）**必要的带宽内或基频的 $\pm 5\%$ 范围内**不适用；
- 工作频率的选择见151A的5.3.3.1；
- 试验上限为40GHz或EUT最高工作频率的20倍，取较小者。

- 接收机：34dBuV;
- 发射机（待发状态）：34dBuV;
- 发射机（发射状态）：
 - 谐波和乱真发射（除二、三次谐波外）均应至少低于基波电平80dB;
 - 二、三次谐波应抑制 $50+10\lg P$ (基波峰值输出功率, W)或80dB, 取抑制较小者。
 - 即 $<1000W$ 时, 应抑制 $50+10\lg P$;
 - $\geq 1000W$ 时, 应抑制80dB。

CE106-试验注意事项



- 对于发射机来说，进行的是相对测量，在测量频率范围内**动态范围**要满足测试的要求。
- 我们需要考虑的是根据发射机的功率选择合适的衰减器，令最终的动态范围同样满足要求。换句话说，**最好能让测得的基波幅值在114dB μ V以上。**
 - 发射功率为1mW时，基波幅值应为107dB μ V；
 - 测得的基波幅值如果>114dB μ V（发射功率为5mW以上），**动态范围一定能保证。**
- 测试时要充分考虑接收机、衰减器、定向耦合器、负载和电缆的最大功率承受能力和**适用频率范围**，避免损坏设备和**造成错误测量**。
 - 对于委托方安装的定向耦合器的衰减倍数要进行确认，并作好记录。
- **限值计算时应以EUT基波功率的实测值为准。**

CE106-衰减器使用考虑情况

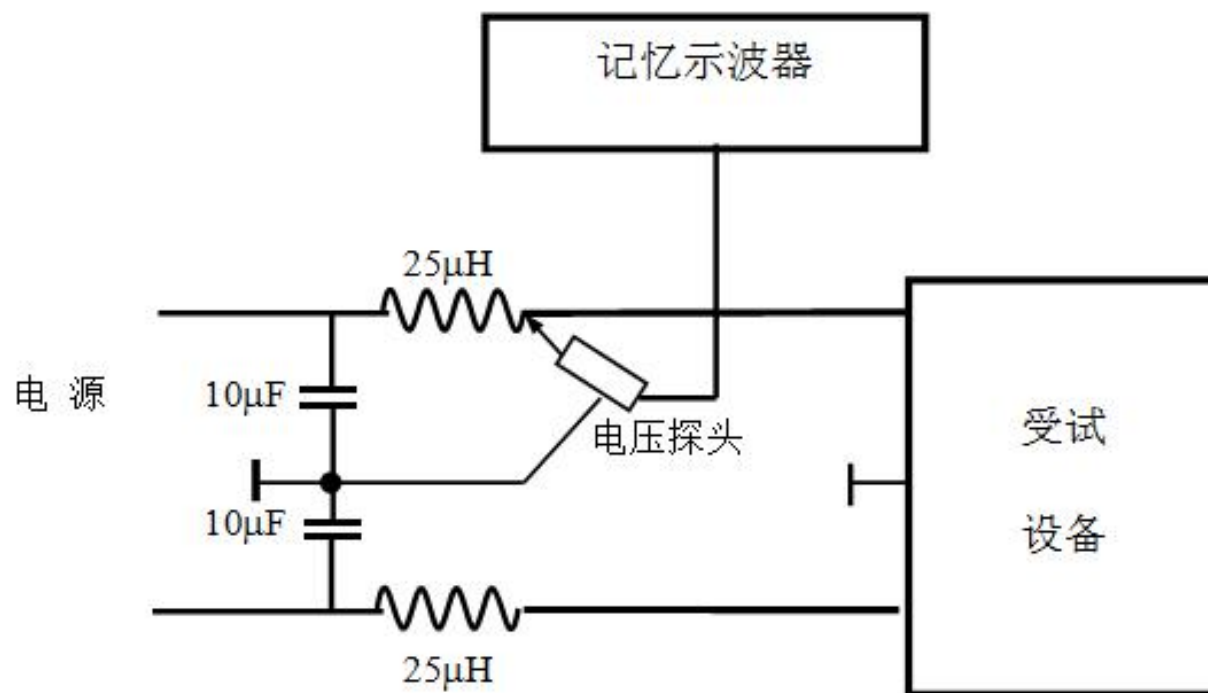


发射机功率	功率 (dBm)	对应电压 (dB μ V)	衰减器 dB	使用后对应电 压(dB μ V)
1W	30	137	20	117
10W	40	147	30	117
100W	50	157	40	117
1000W	60	167	40	127

CE107-测试布置



- 测试配置图

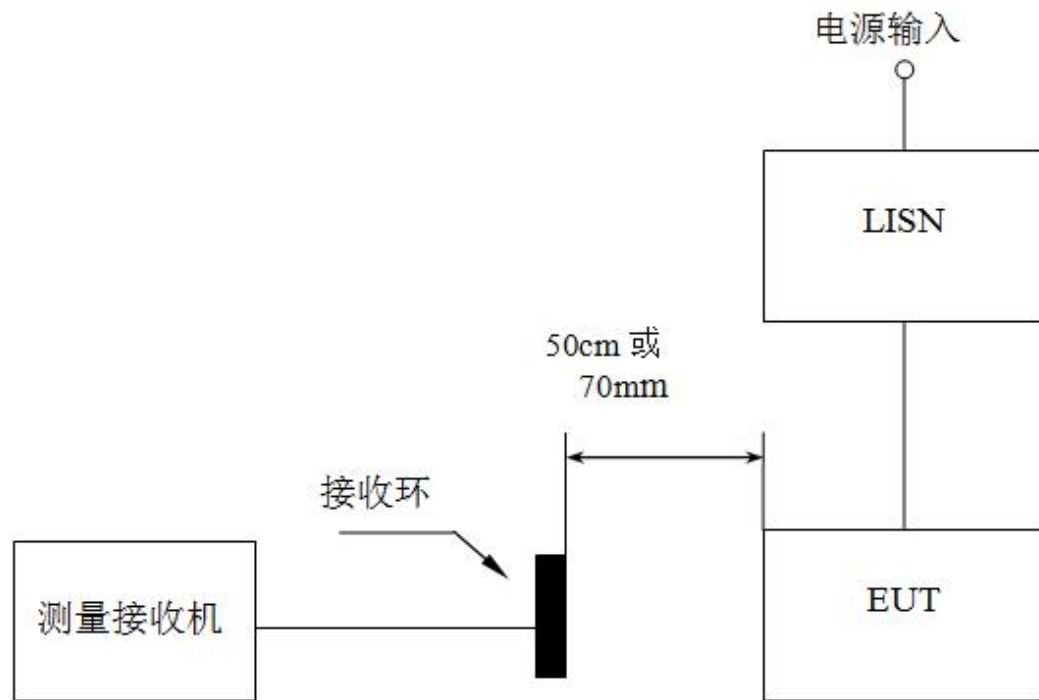


- 适用于飞机上的设备和分系统的交直流电源线;
- 工作状态: 开关的切换状态;
- 限值
 - 交流电源线: 额定电压有效值的 $\pm 50\%$;
 - 直流电源线: 额定电压有效值的 $+50\%$, -150%



- 校准要求：用脉冲信号源代替EUT进行测试配置，调节脉冲信号源产生已知适用脉冲检验测量路径的准确度；
- CE107可以理解成测量由于EUT的开关动作而在电源线上产生的电压尖峰信号，该信号存在于电源线与地之间，因此脉冲信号源的输出应接在电源线与地之间，来衡量检验测量路径的准确度；

RE101-测试布置

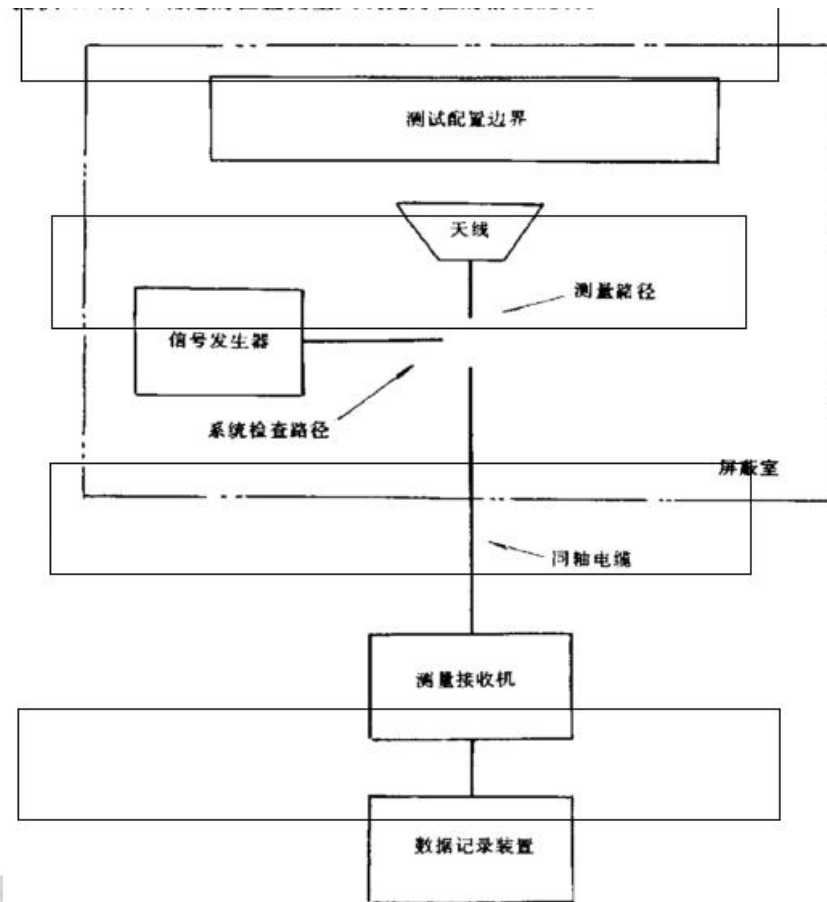


- 标准中的试验程序操作性不好
- 实际试验方式：
 - 1. 在7cm和50cm两个位置进行扫描；
 - 2. 选取扫描曲线中测量值较大的点（3个）保持7cm距离，移动/旋转环天线寻找最大值，并记录下位置；
 - 3. 在最大点出现时将天线距离移至50cm处，再次记下测量值，比较两个测量值是否超标。

RE102-测试布置



- 测试配置图



RE102-测试要求



- 200MHz以下（测试边界小于3m），天线放在配置边界中垂线上；
- 200MHz以上可能需要多个天线位置，确定如下：
 - 200MHz-1GHz，要令每个EUT分机壳体的整个宽度和靠近EUT端接的35cm的电缆充分暴露于接收天线的3dB波束宽度内；
- 1GHz以上，要令每个EUT分机壳体的整个宽度和靠近EUT端接的7cm的电缆充分暴露于接收天线的3dB波束宽度内。

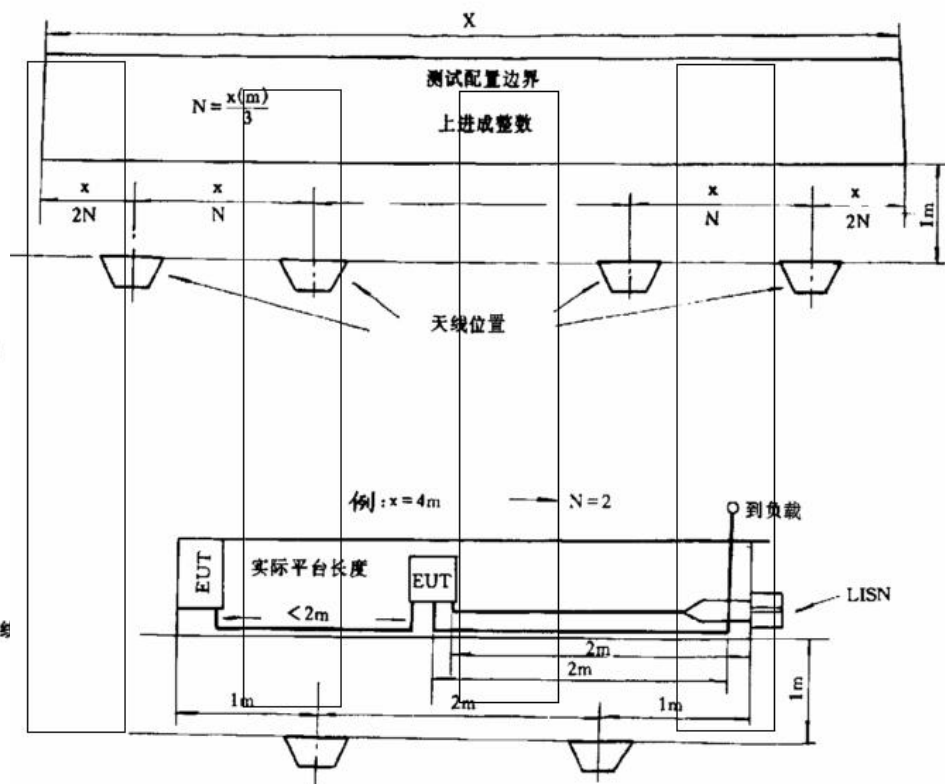
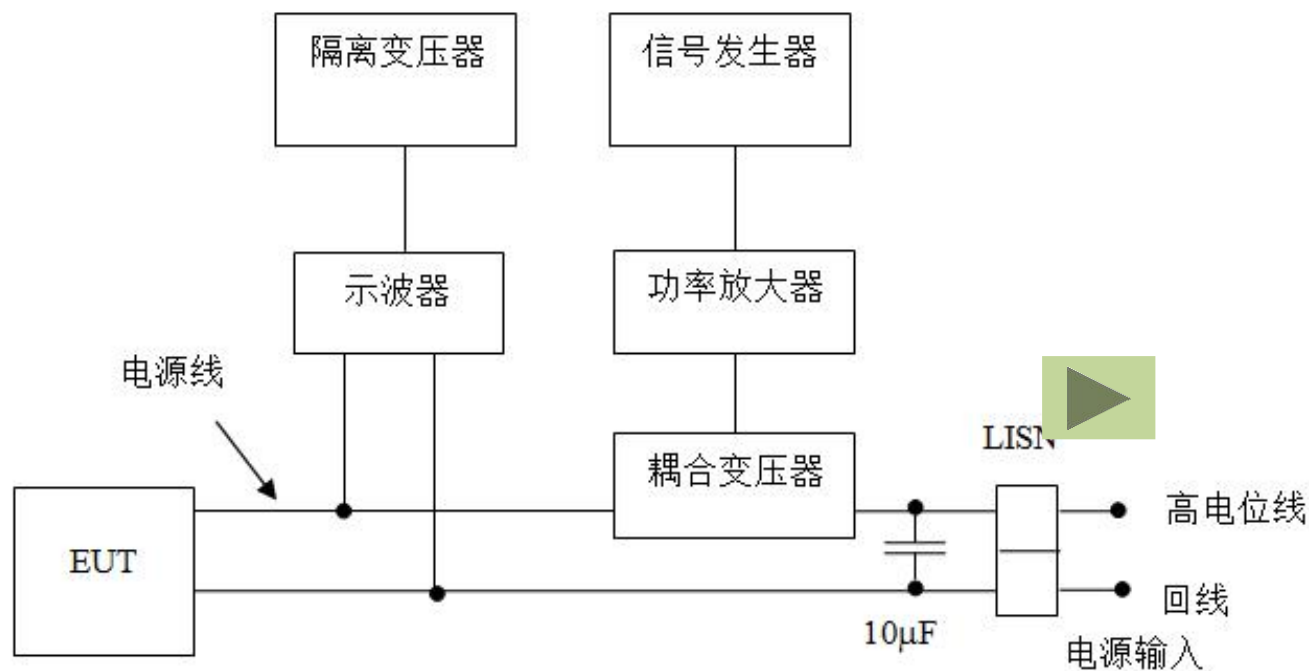


图 RE102-3 多个天线位置

CS101-测试布置



- 测试配置图



- 目的

- 允许EUT在电源电压波形失真的脉动电压条件下正常工作。

CS101-试验布置照片



- 调整信号发生器的最低测试频率；
 - 对于交流电源，从二次谐波开始。
- 增加信号电平，直到电源线上达到要求的电压或功率电平（校准值）；
 - 当在 0.5Ω 负载上耗散功率调整到 $80W$ 时，若EUT输入端电压仍达不到所要求的值，只要EUT不发生敏感现象，也认为满足要求。
- 保持电平，按规定扫描速率进行测试。

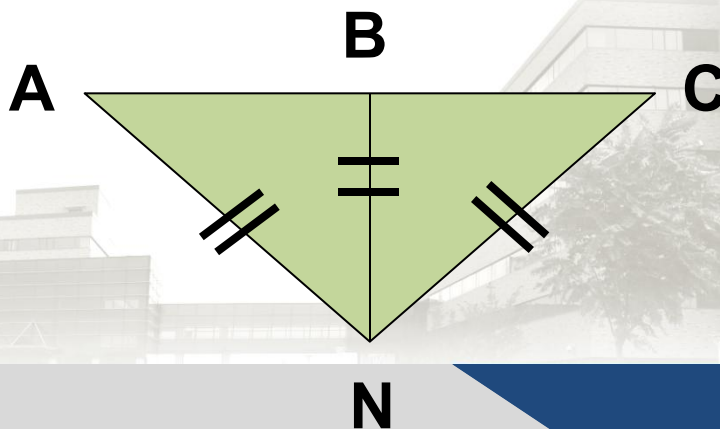
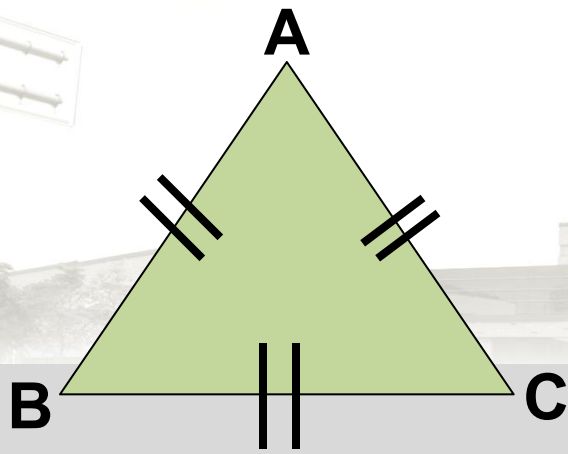
- 三相 Δ 型

- 耦合变压器在线A, 电压测量A到B
- 耦合变压器在线B, 电压测量B到C
- 耦合变压器在线C, 电压测量C到A

- 三相Y型(四线)

- 耦合变压器在线A, 电压测量A到中线
- 耦合变压器在线B, 电压测量B到中线
- 耦合变压器在线C, 电压测量C到中线

- 示波器探头的连接
 - 不要接在电容的两端，否则电容的充放电会损坏探头测量线。
- 电容的选取
 - DC、单相、三相Y型选WYE型电容
 - 三相 Δ 型选Delta型电容



HJB34/HJB34A-CS01测试要求



- HJB34使用10 μ F穿心电容
- HJB34A使用LISN
- CS01.1-电源线
 - 方法同151A/152A的CS101
 - 当在2 Ω 负载上耗散功率调整到200W时，若EUT输入端电压仍达不到所要求的值，只要EUT 不发生敏感现象，也认为满足要求。
- CS01.2-地线
 - 施加在接地地线上（其它地断开）；
 - 注入25Hz~50kHz,1V开路电压。



HJB34/HJB34A-CS01



- 测试配置图同CS101
- 极限值
 - 25Hz~ 1.5kHz: 4.5%电源电压 (E1), 但不小于2.4V。
 - 1.5kHz~50kHz: E1线性下降到1V。



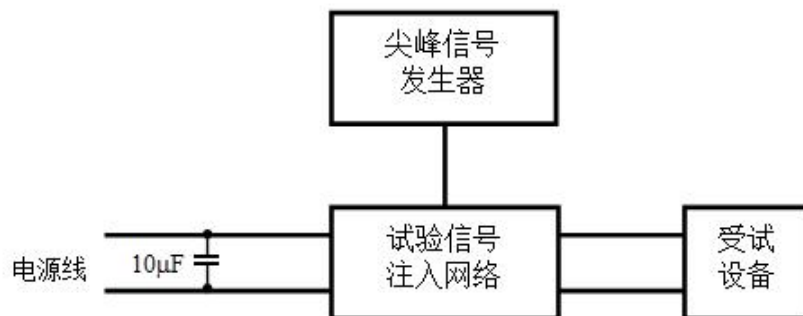
CS106-测试布置



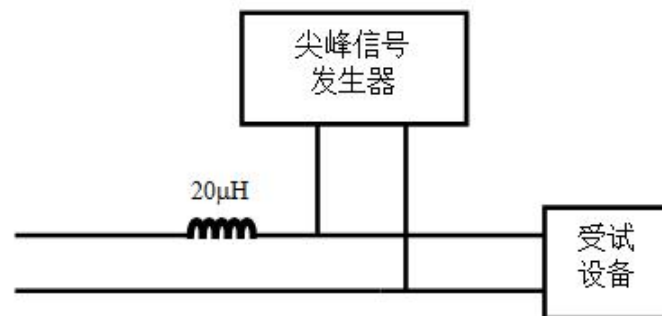
- 目的
 - 平台电网功率有限，通过电源线的瞬变干扰随机出现，通过该试验，可提高EUT的抗扰性。

- 测试配置图

- 交直流供电串联注入



- 直流供电并联注入



CS106-测试要求



- 试验中缓慢增加尖峰信号发生器的输出电平，但不超过预先校准的电平；
- 调整同步和触发；
- 正的、负的、单个的及重复的（**6-10PPS**）加到**EUT**的不接地输入端，时间不超过**30min**；
- 尖峰信号应与电源同步，并调在每隔**90°**的各个相位上，其注入时间不小于**5min**；
- 调节触发相位，使其分别在电源频率的**0°~360°**范围内出现。

CS106-测试布置



HJB34/HJB34A-CS06测试布置



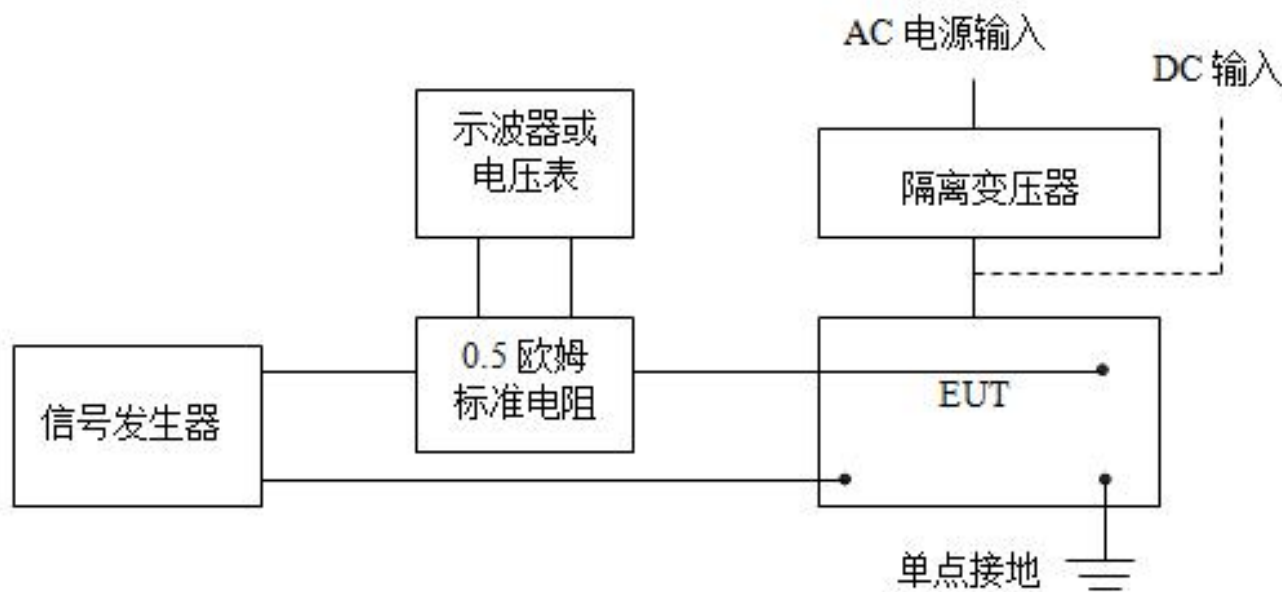
- 测试配置图
 - 同CS106串联注入方式
 - HJB34使用10 μ F穿心电容
 - HJB34A使用LISN
- 试验限值等于3.5倍电源电压（有效值），但不大于600V。



CS109-测试布置



- 目的
 - 确保设备对平台结构电流或设备课题电流所造成的电磁场不产生响应，以防止潜艇中高敏感电路（如低频调谐接收机）受干扰。
- 测试配置图



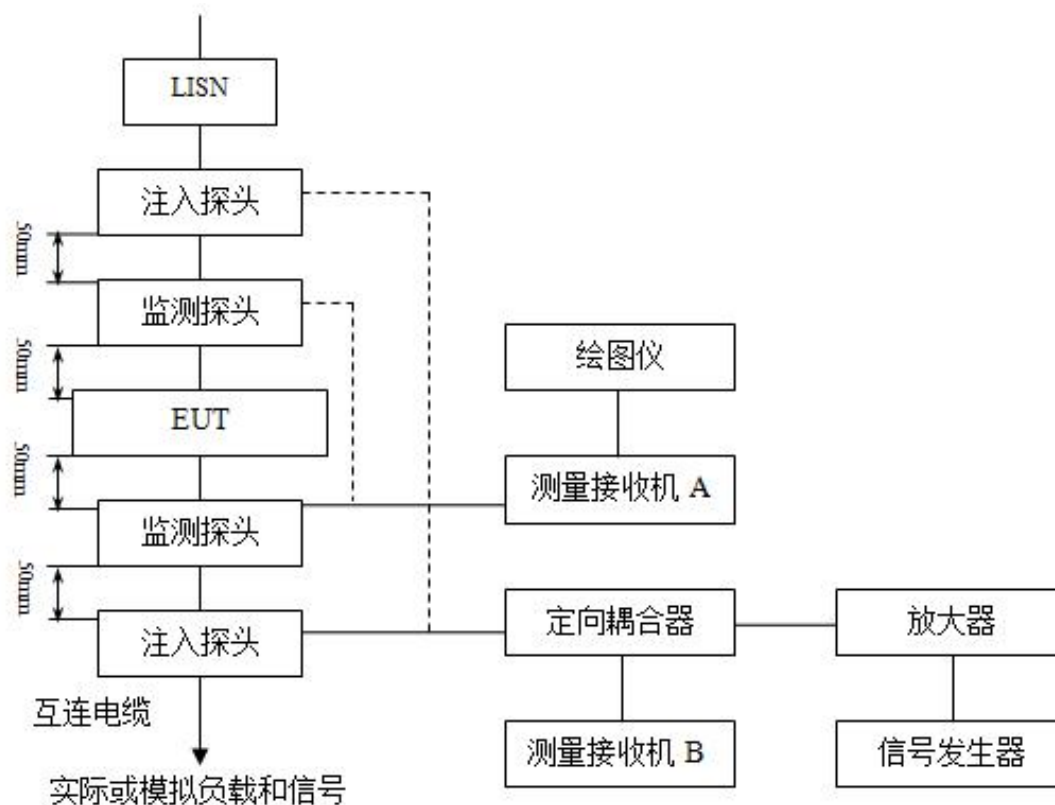
- 测试配置单点接地
- **EUT**和测试设备放在非导电平面上，断开所有输入**EUT**电源线的安全接地线；
- **EUT**的测试点应选在跨接于**EUT**所有面对角线的端点上；
- 隔离变压器的使用
 - 对于交流电源，用隔离变压器隔离**EUT**和测试设备
 - 对于直流电源，不适用

CS114-测试布置

- 目的

- 模拟平台外天线发射所产生的电磁场对平台电缆感应形成电流。
- 在较低频率不可能通过RS试验信号激励电缆束来模拟平台效应。
- 上限30MHz，假定RS在较高频率试验能够模拟；上限200MHz，保证出港飞行器的飞行。

- 测试配置图



CS114-测试要求



- 测试电缆

- 完整电源电缆
- 不包括电源回线的电源电缆
- EUT每个连接器端接的电缆

- 敏感度评估

- 占空比为1kHz,50%脉冲调制;
- 按照校准电平或151A中最大电流电平施加, 取较低者;
- 受试电缆感应出的电流已经达到上图要求, 而EUT不敏感时, 也算满足要求。

GJB 151A-97

曲线 1: 83dB μ A
曲线 2: 89dB μ A
曲线 3: 95dB μ A
曲线 4: 103dB μ A
曲线 5: 115dB μ A

表 4 图 CS114—1 极限值曲线号适用范围

平 台 频 率 范 围	飞 机 (外部或 SCES)	飞 机 (内部)	所有舰船 (甲板上)	舰 船 (金属) (甲板下)	舰 船 (非金属) (甲板下)	水下 ¹⁾	地面	空间 ²⁾
----------------------------	----------------------	-------------	---------------	----------------------	-----------------------	------------------	----	------------------

- 注入探头的传输阻抗和插入损耗；
- 监测探头的传输阻抗；
- 插入损耗：是当探头安装在校准装置中时，施加到探头上功率和连接在装置中的 50Ω 负载之一上的损耗功率之比。
- 插入损耗（dB）=34-传输阻抗（dB）

CS114—环路阻抗特性确定



- 全频段扫描，注入信号不加调制；
- 施加约1mW的功率信号到注入探头，记下测量接收机**B**的读数（功率），并折算到注入探头的输出界面；
- 同时记录下测量接收机**A**的读数（电流I）；
- 两者之比归一化到(A/W)，即 $I_A/(0.001)^{1/2}$

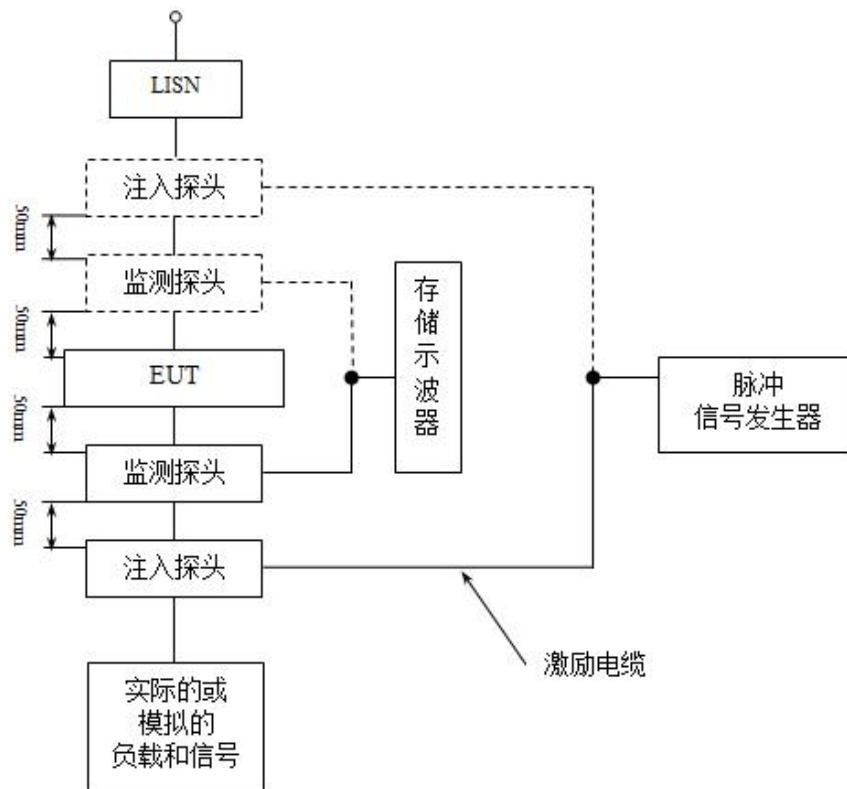
CS115-测试布置



- 目的

- 防止设备受快速上升或下降电流的影响
- 2ns,开关动作时,电感器所产生波形的上升时间; 5A是飞行器在系统级瞬态环境响应的试验中可观察到的大多数电流。

- 测试配置图



- 测试电缆

- 完整电源电缆
- 不包括电源回线的电源电缆
- EUT每个连接器端接的电缆

- 敏感度评估

- 调节脉冲信号发生器，从最小值到校准中得到的幅度调整位置；
- 记录测试电缆感应的峰值电流。
- 举例：测试中，信号源的输出电平已达到规定**5A**限值校准电平，无论但感应电流为**5A**以上或以下，均应记录该感应电流，不在增加信号源电平。

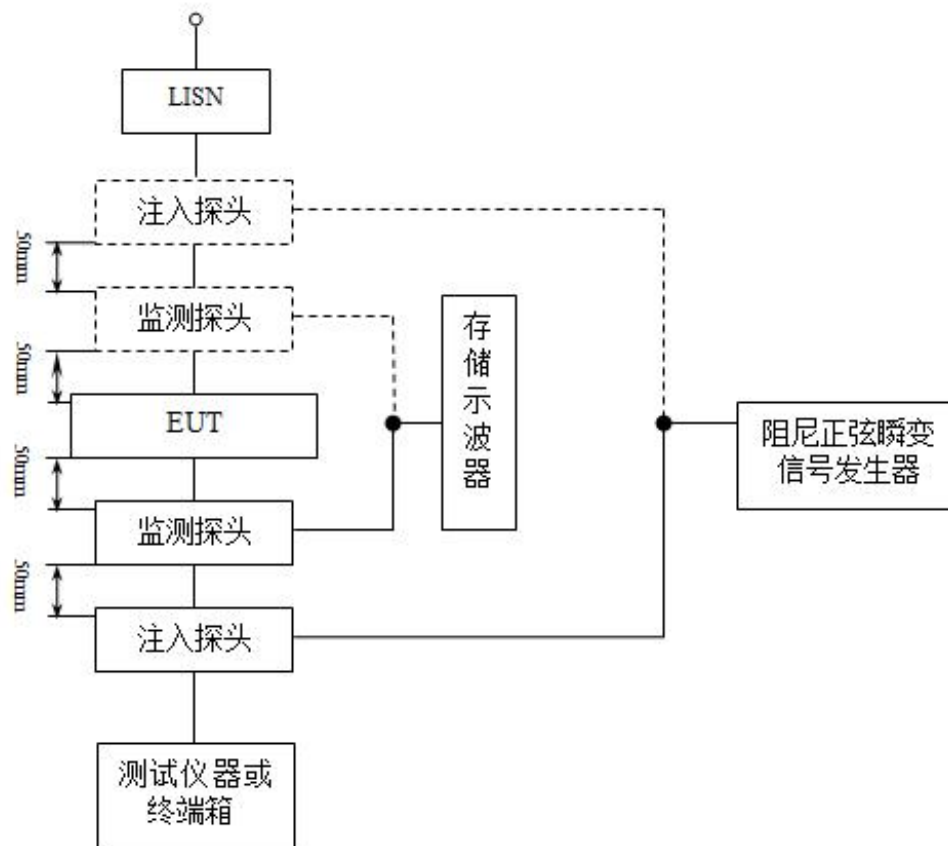
CS116-测试布置



- 目的

- 模拟固有谐振激励而在平台内产生的电流和电压波形...
- 模拟**NEMP**对设备端子、插头和电缆潜在干扰(形成阻尼正弦波)...
- 平台内部开关动作引起的瞬变（差模信号）...

- 测试配置图



- 测试电缆

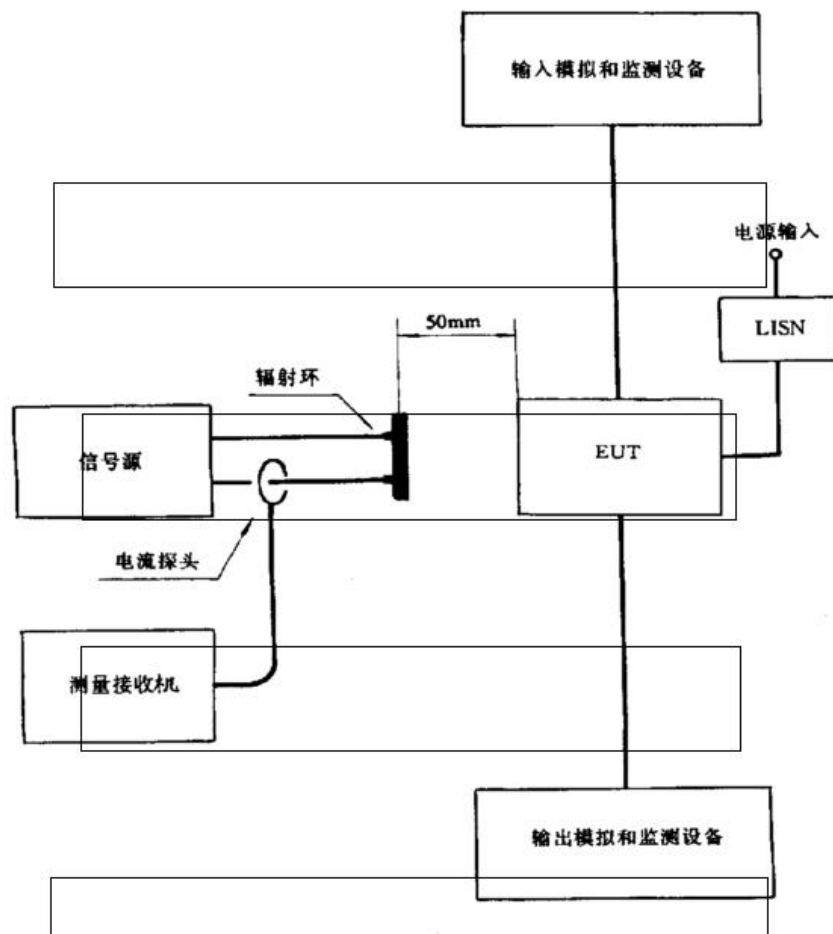
- 完整电源电缆
- 每根单独的电源线（如相线A、相线B...）
- EUT每个连接器端接的电缆

- 敏感度评估

- 缓慢增加阻尼正弦瞬变信号发生器的输出电平已达到规定的电流限值，但不应超过校准中的校准信号电平；
- 记录测试电缆感应的峰值电流；
- 举例：若限值为10A，测试中感应电流为15A，应降低信号源输出到10A；如果测试中，信号源的输出电平已达到规定10A限值的校准电平，但感应电流为8A，则记录该感应电流，不在增加信号源电平。

RS101-测试布置

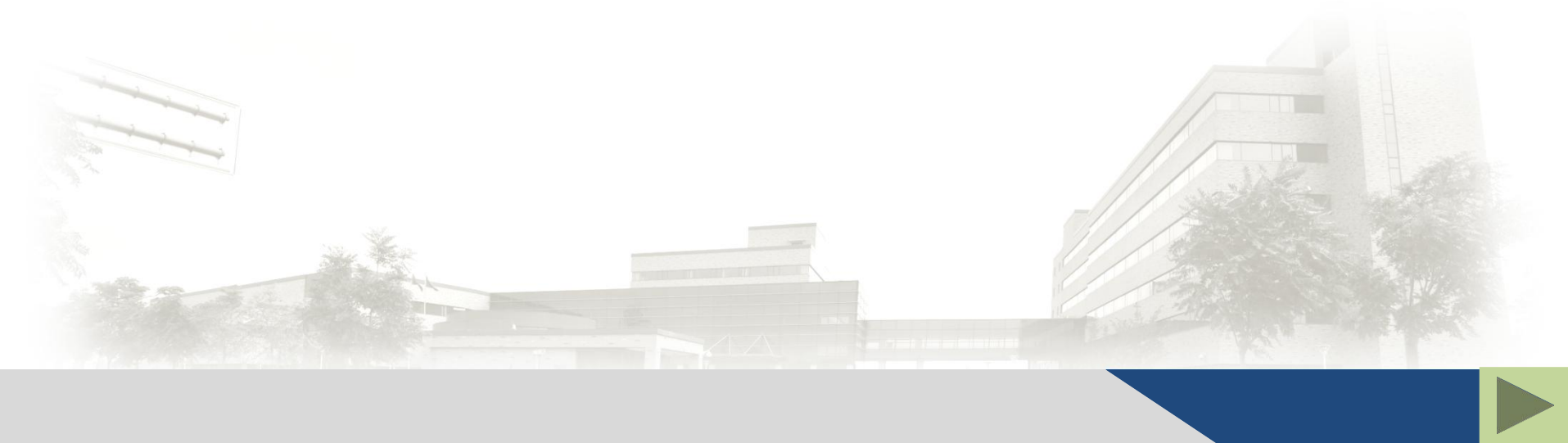
- 目的
 - 确保对低频磁场灵敏的设备在预期的磁场环境下不降低性能。
- 测试配置图



RS101-测试要求



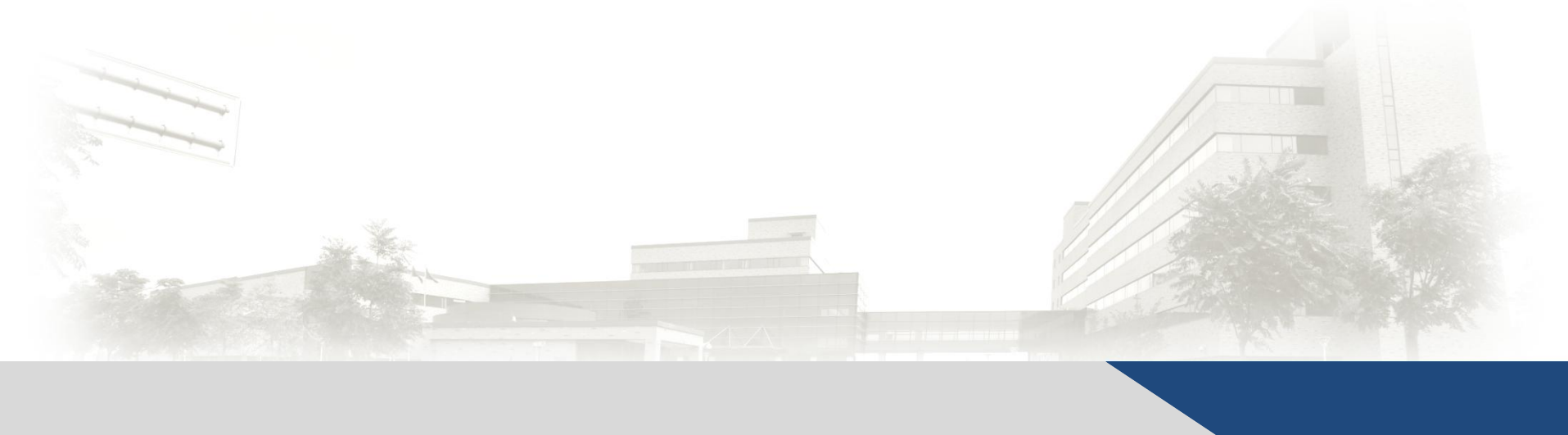
- 环天线覆盖范围为 $30 \times 30\text{cm}$ 的区域;
- **EUT**的每个面和每个接口连接器均要进行测试。



RS101——需要确定的系数



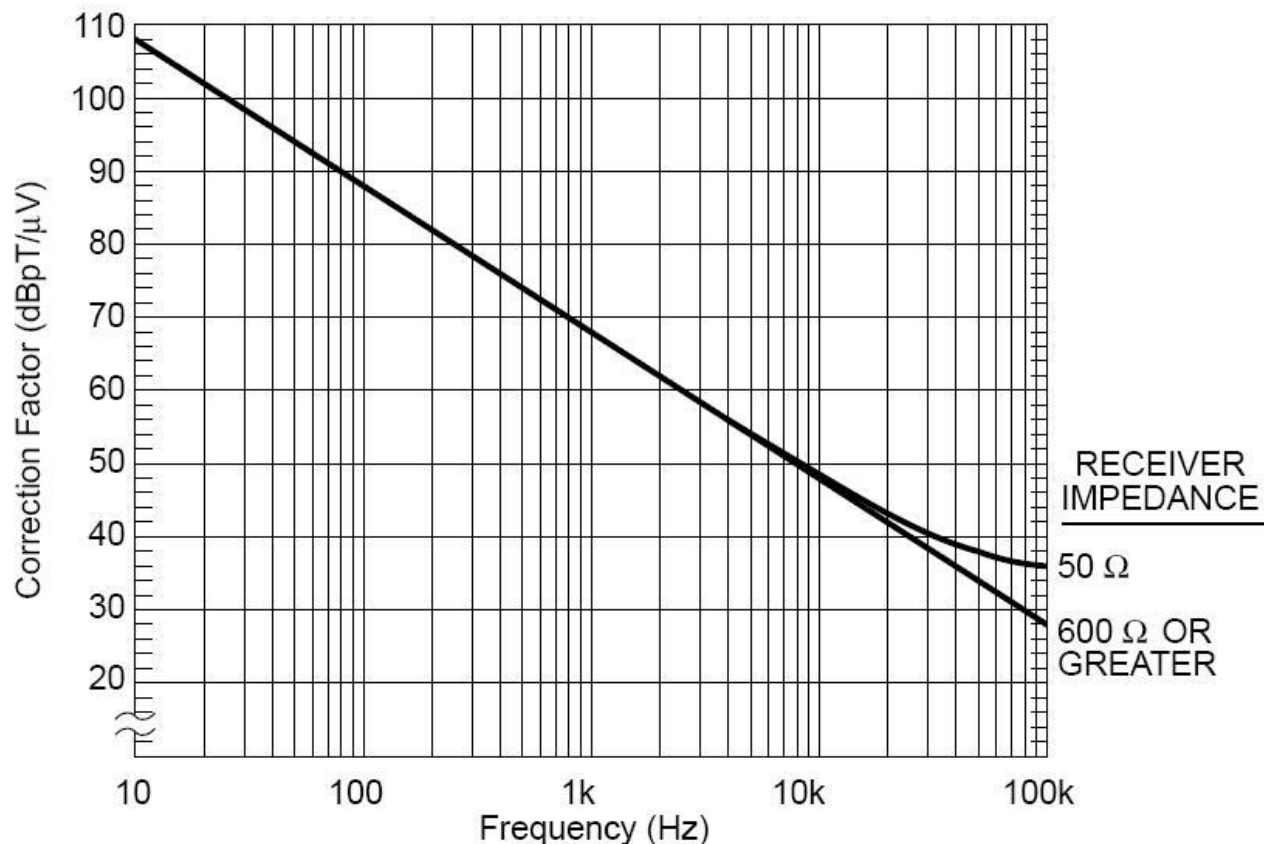
- 1. 电流探头的传输阻抗;
- 2. 发射环天线上电流与磁通密度的关系, 在50mm处产生的磁通密度为 $9.5 \times 10^7 \text{pT/A}$;



RS101——需要确定的系数



- 3. 接收环天线的系数C，反应的是电压与磁通密度的关系，有如下公式： $B=M+C$;



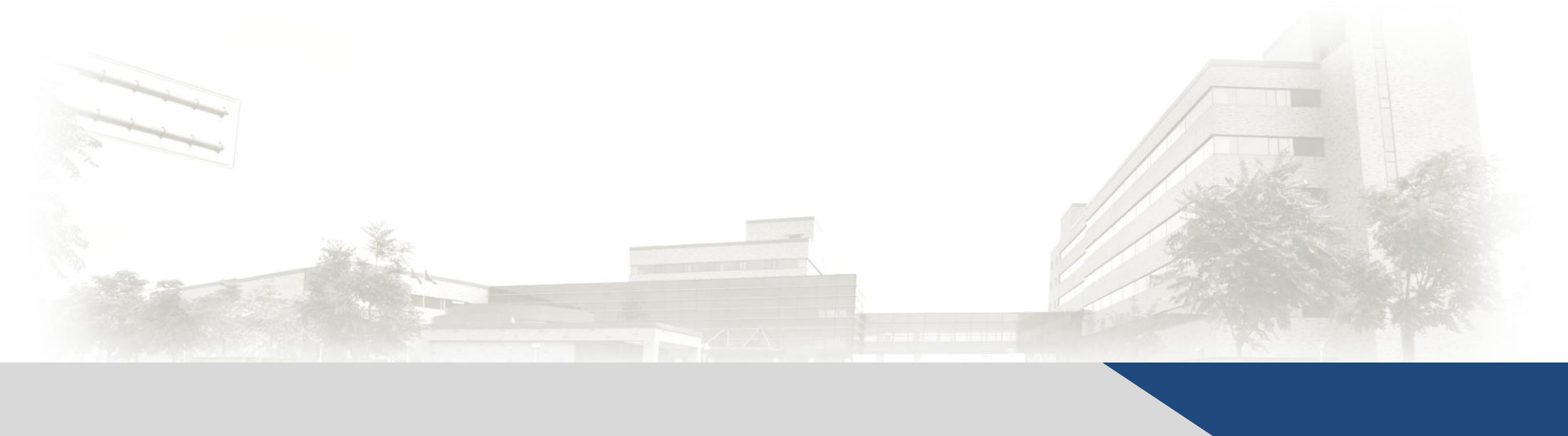
- 信号源在**1kHz**频点上调节输出电平，观察测量接收机的读数，当流经发射环天线中电流值达到**3.4mA**时，就意味着发射环天线在**50cm**处产生的磁通密度为**110dBpT**。此时再测量环传感器的输出是否在**42dB μ V \pm 3dB**范围内。



RS103-目的



- 确保在平台上和平台外的各种发射天线的电磁场中，工作的设备性能不降低。
- 设置RE102是为了保护带天线的接收机，设置RS103是为了模拟天线发射所产生的场。



• 测试方法



4.4.1 电场传感器实时监测法:

a. 将信号源调到 1kHz, 占空比 50% 脉冲调制, 采用适当的放大器和发射天线, 在测试起始频率点产生一电场, 逐渐增加输入的功率电平, 直到电场传感器的显示达到 GJB 151A 表示的相应极限为止;

b. 按本标准一般要求 4.9.4 条表 3 中规定的速率和驻留时间在要求的频率范围内进行扫描, 保持场强电平符合适用的极限值, 监测 EUT 性能是否敏感。

3.5 EUT 测试

3.5.1 发射天线的位置, 天线应按下述要求放在距测试配置边界 1m 远处。

3.5.1.1 10kHz~200MHz:

a. 测试配置边界小于或等于 3m, 天线在测试配置边界边缘的中心线上, 该边界包括 EUT 所有分机壳体及本标准特殊要求中规定的 2m 暴露的电源线和互连线, 若在平台实际安装中互连线小于 2m, 也可接受;

b. 测试配置边界大于 3m, 按图 RS103-3 中所示的间隔使用多个天线位置 (N), 天线的位置数 (N) 应通过从一个边缘到另一个边缘的边界距离 (单位: m) 除以 3 并上取整数来确定。

3.5.1.2 200MHz 以上频率, 按图 RS103-2 所示可能需要较多天线位置数, 应如下确定天线位置数 (N):

a. 对 200MHz~1GHz 的测试, 应以足够数量的位置放置天线, 以使每个 EUT 分机壳体的整个宽度和靠近 EUT 端接的 350mm 的电缆和电线在天线 3dB 波束宽度以内;

b. 对大于或等于 1GHz 的测试, 应以足够数量的位置放置天线, 以使每个 EUT 分机壳体的整个宽度和靠近 EUT 端接的 70mm 的电缆和电线在天线 3dB 波束宽度以内。

3.5.2 按 3.4a 中规定保持电场传感器位置。

RS103-测试布置

- 测试配置图

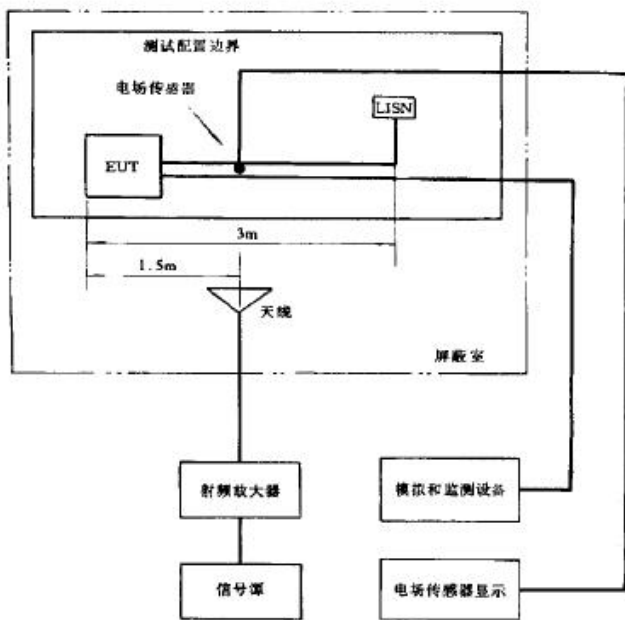


图 RS103-1 测试设备配置图

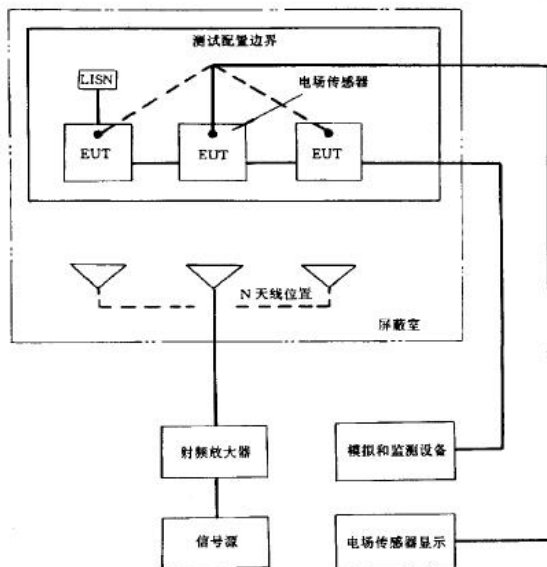


图 RS103-2 频率>200MHz 多个测试天线位置

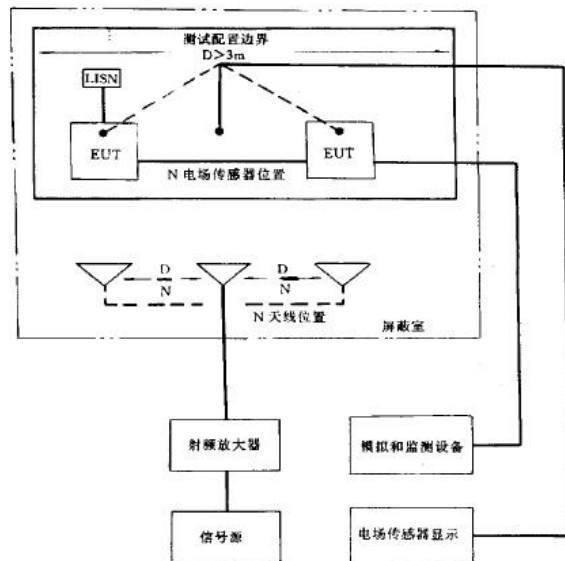


图 RS103-3 多个测试天线位置(N个位置,D>3m)

RS103-场强探头的修正系数



- 军标采用峰值检波器；
- **RS103**的限值表示的应该是某一频点的峰值场强值，而宽带的场强探头在测量调制波形时却没有转化成等效峰值检波的能力；
- 因此标准中要求提供该修正系数；
- 这样实际监测的场强读数就应该等于标准规定的限值除以修正系数。

RS103-场强探头的修正系数



- 修正系数的确定：
- 在某一频点，不加调制信号产生一个电场，记录下场强监测仪上的读数；
- 加调制后，逐渐增加信号源电平，直到测量接收机的读数与上一个读数相等；
- 此时再次记下场强监测仪的读数；
- 两个读数的比值即为修正系数；

GJB3590-ESD测试要求



- 放电电压10kV,速率每秒1次, 时间30s;
- 试验方法
 - 对于暴露在外部空间, 安装在航天器外部的设备, 对**EUT**的每个顶角直接放电;
 - 对于安装在航天器内部的设备, 在距**EUT**每个面30cm处进行放电。



谢谢!

