



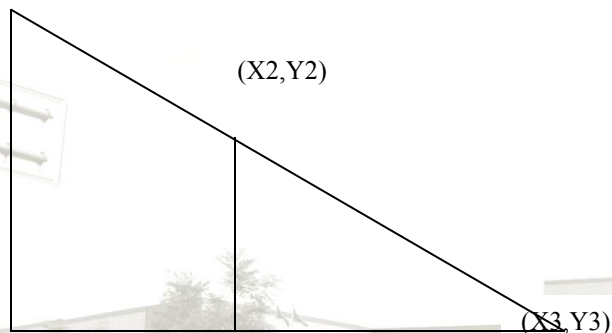
# 军标校准和试验中常见问题

中国电子技术标准化研究院

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

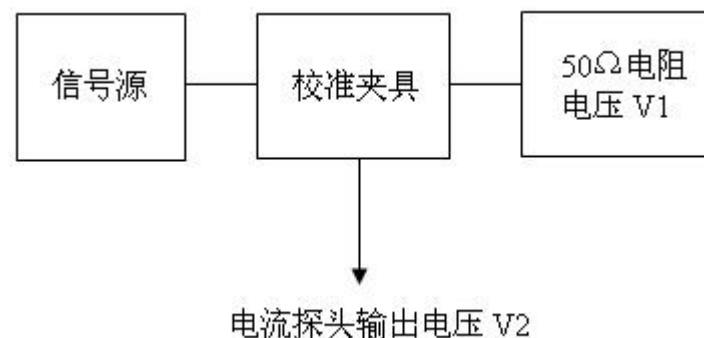
# CE101-电流探头系数



- 电流探头的系数指的是传输阻抗。
- 传输阻抗的校准公式： $Z=34+V_2-V_1$

- 如何使用：

- $I_{dB\mu A} = V_{dB\mu V} - Z_{dB\Omega}$

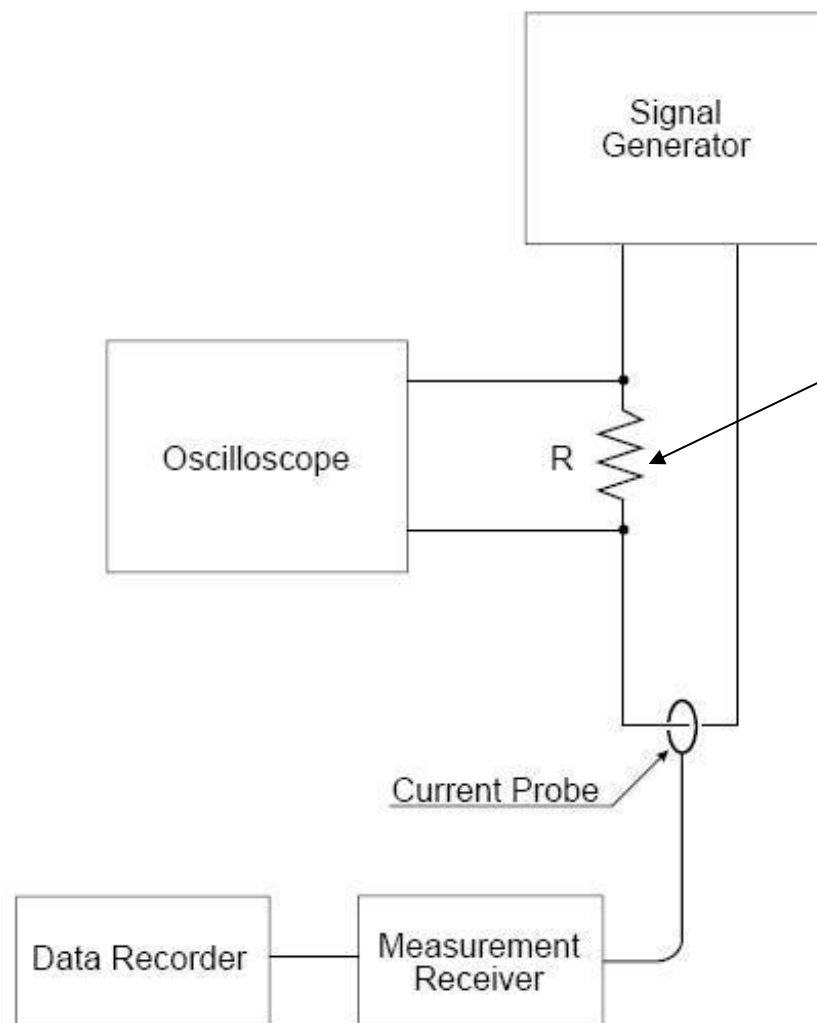


# CE101试验-校准要求



- 校准要求：功率信号源在1kHz、3kHz和10kHz频率施加信号，信号电平低于GJB151A限值6dB。
- ——利用示波器检查电流波形是否是正弦波；
- ——比较测量接收机读数和示波器读数之间的误差，应在 $\pm 3\text{dB}$ 之内；
- (建议使用软件执行测量程序)

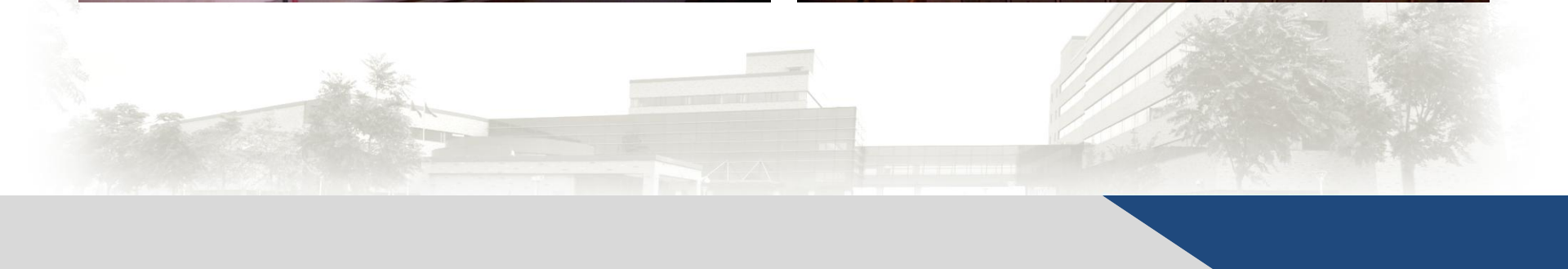
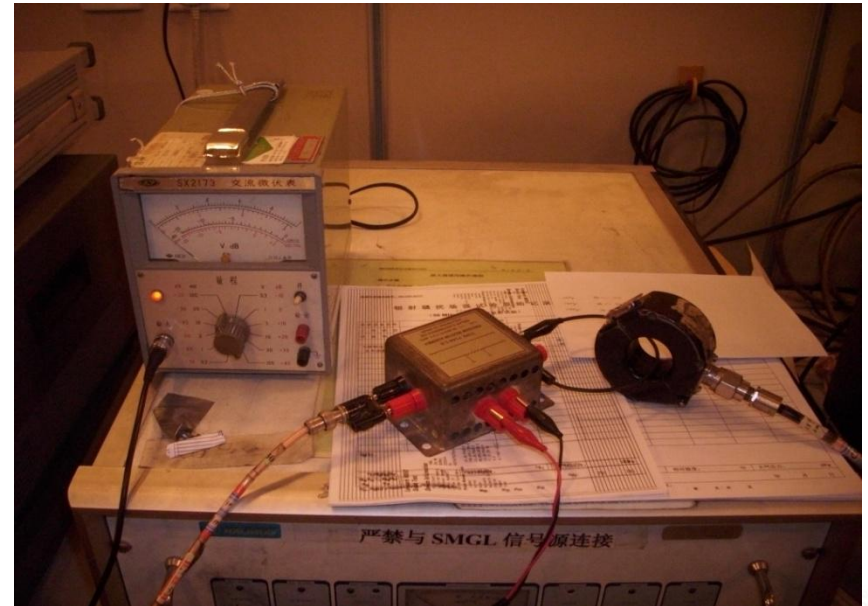
# CE101试验-校准框图



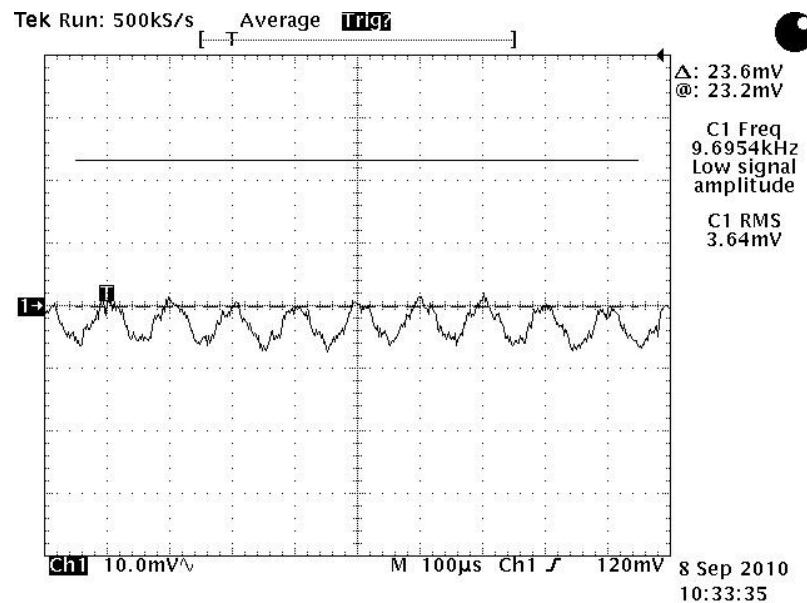
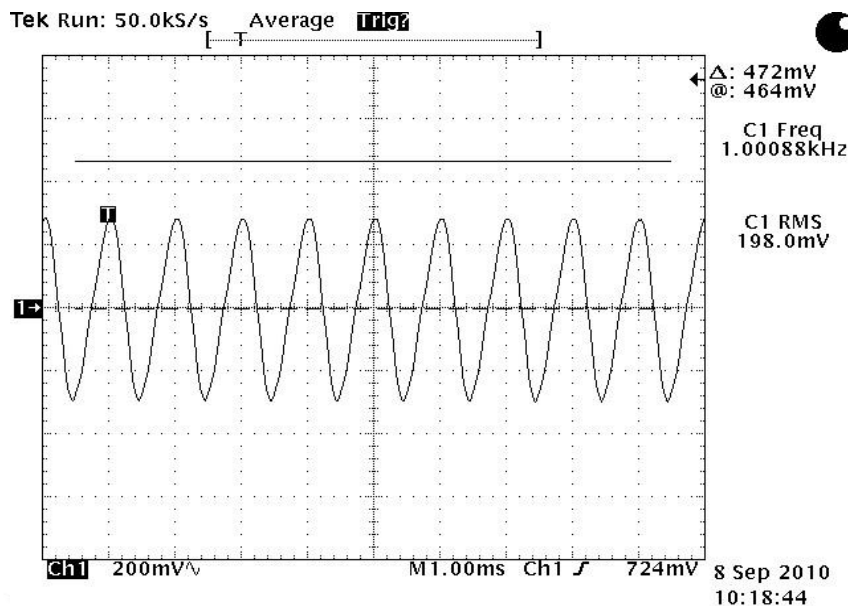
大小要合适，  
与信号源内阻  
应相差不大



# CE101试验-校准图片



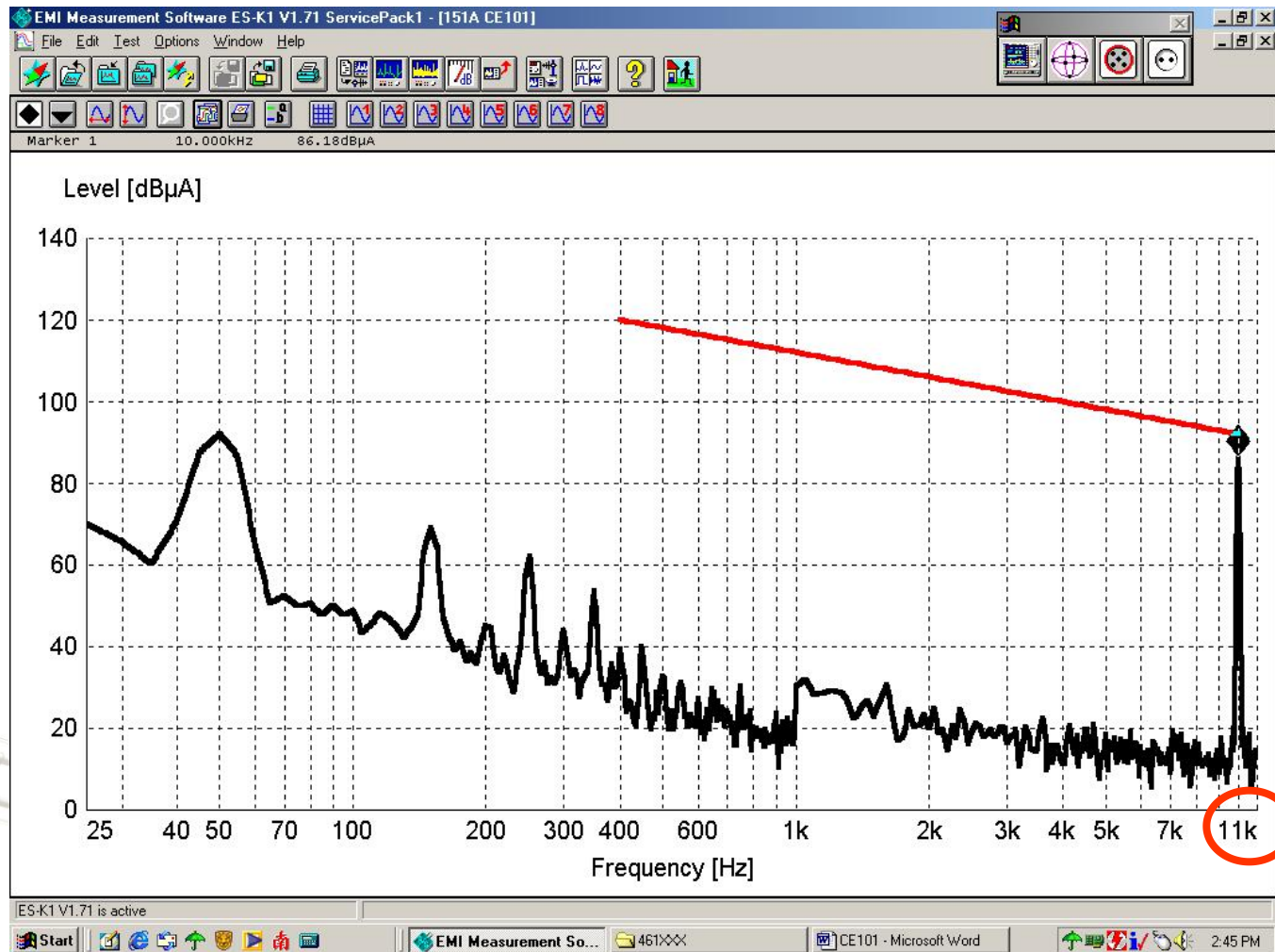
# CE101试验-校准图形



示波器设置指标：耦合方式（DC，200kHz以下采用交流方式不准确）、采样方式（sample或average，尽量在sample下测量RMS值）、内阻（1M $\Omega$ ）、上升沿触发；



# CE101试验-校准数据

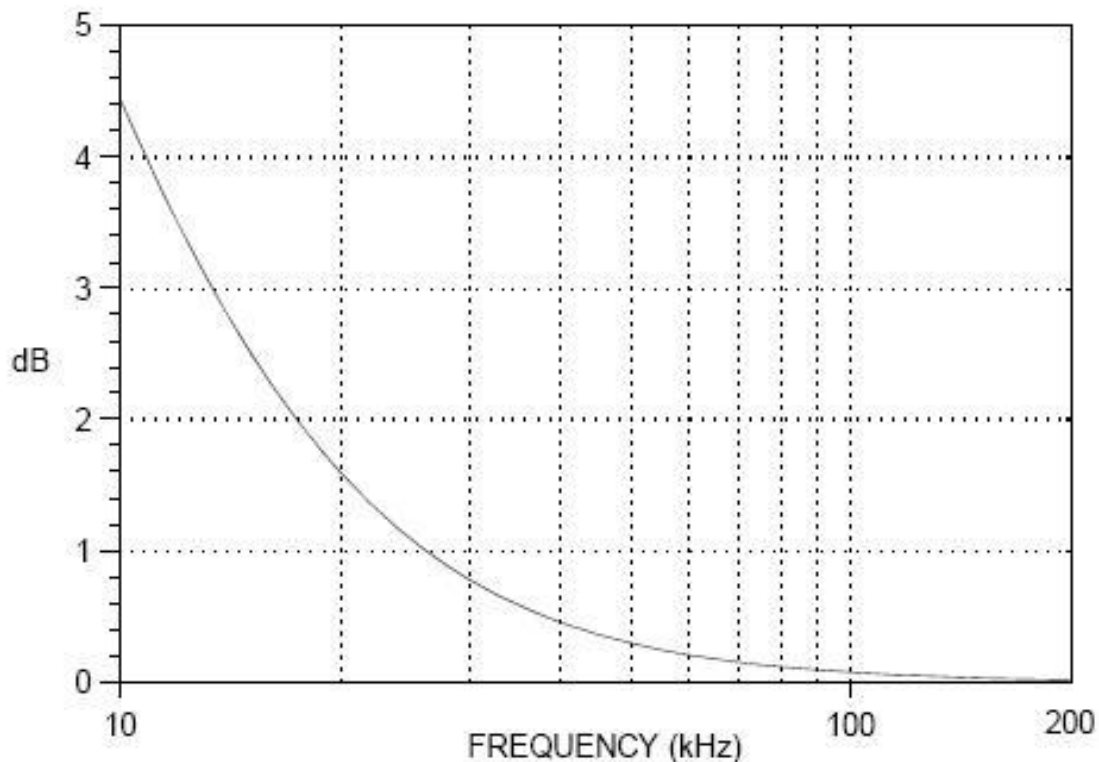


# CE102-LISN系数

LISN系数为耦合电容电压损失的修正系数

最终测量值=测量接收机测量值+LISN系数

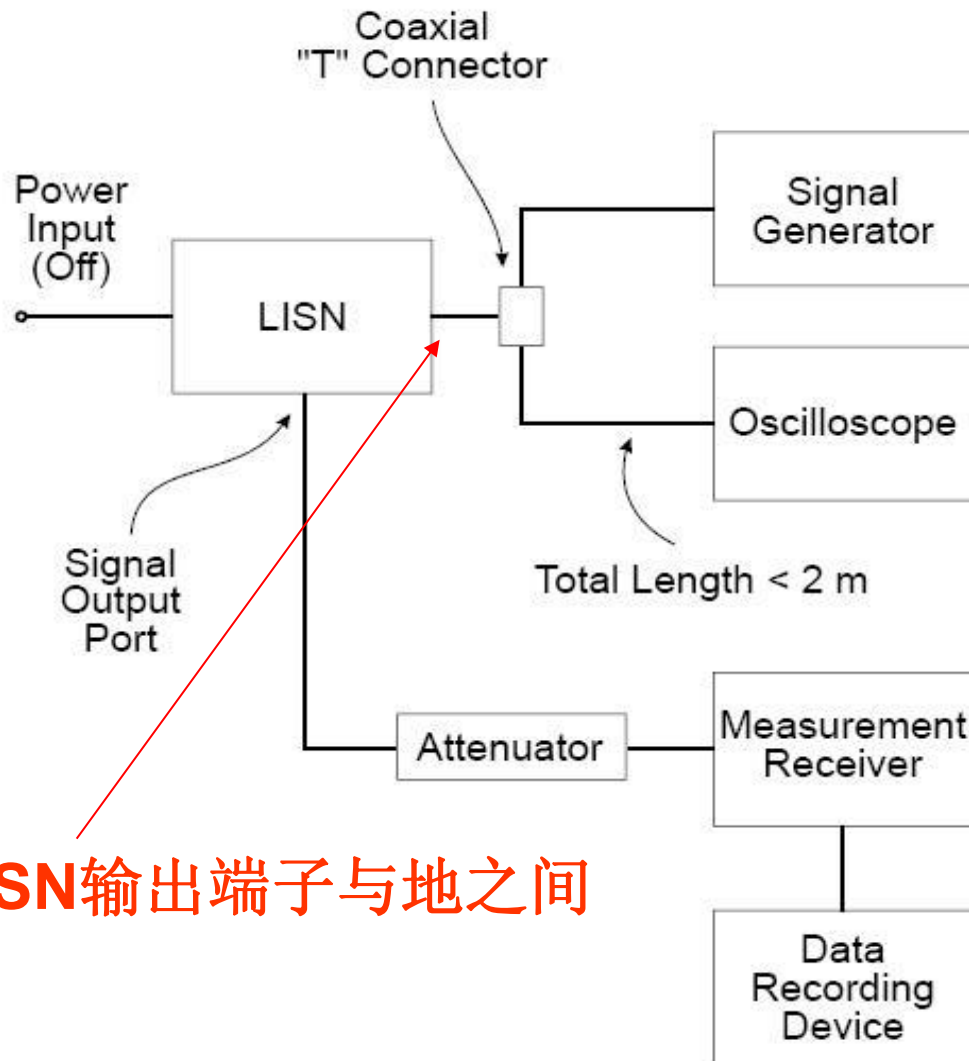
校准系数  
与右表数据相吻合



# CE102试验-校准要求

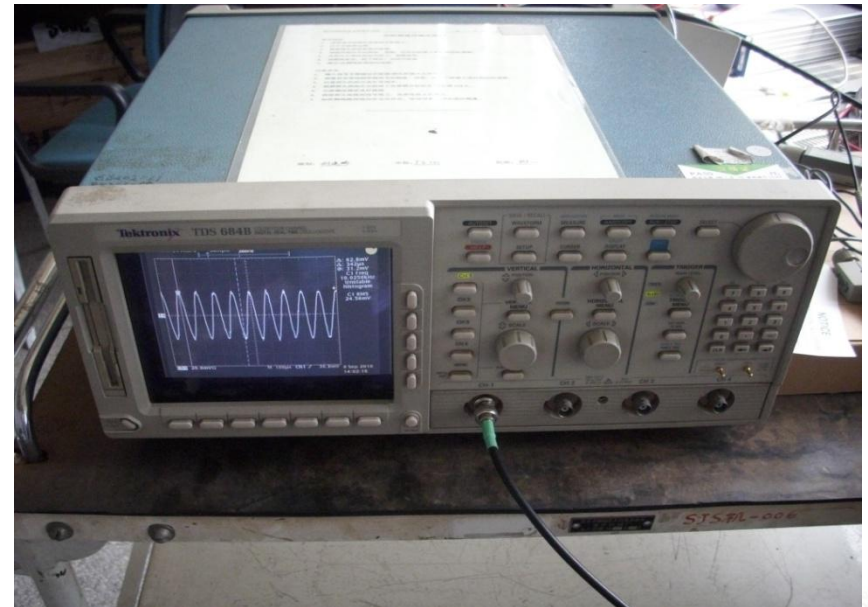
- 校准：信号源在10kHz、100kHz、2MHz和10MHz频点上施加信号，信号电平低于GJB151A限值6dB；
- ——利用示波器检查电流波形是否是正弦波；
- ——比较测量接收机读数+LISN系数和信号源输出值之间的误差，应在 $\pm 3\text{dB}$ 之内；

# CE102试验-校准框图



信号施加在LISN输出端子与地之间

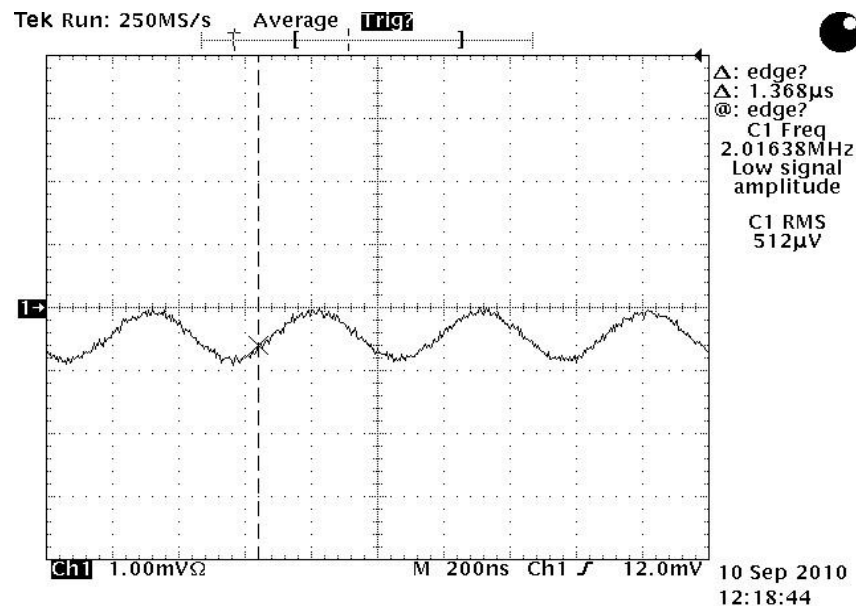
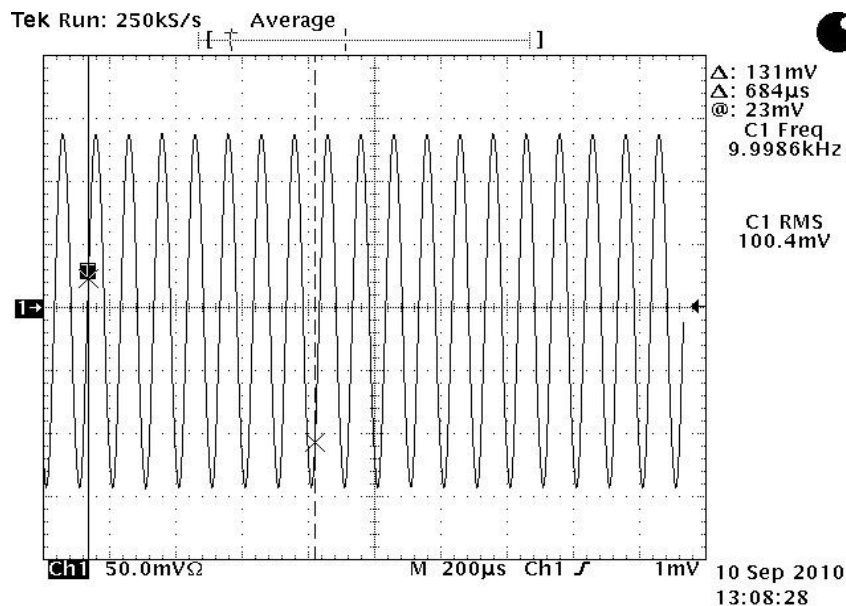
# CE102试验-校准图片



**LISN**是否接地影响不大，但建议接地。



# CE102试验-校准图形

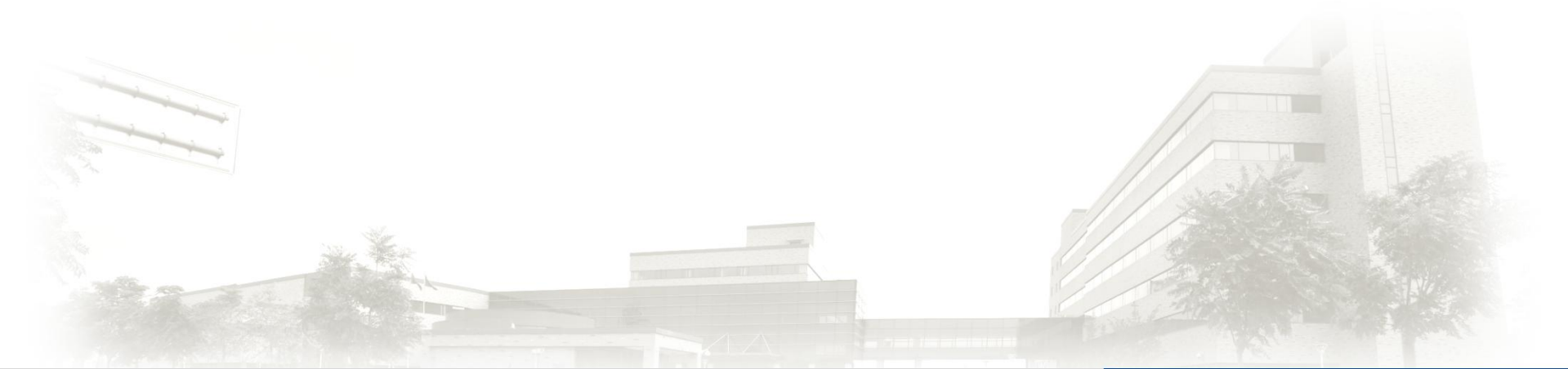


示波器设置指标：耦合方式（DC）、采样方式（sample）、内阻（50Ω或高阻均可）、上升沿触发；

# CE106-系数



1. 电缆损耗;
2. 衰减器损耗;
3. 预放的系数;
4. 定向耦合器的系数。



# CE106-发射机（发射状态）校准步骤

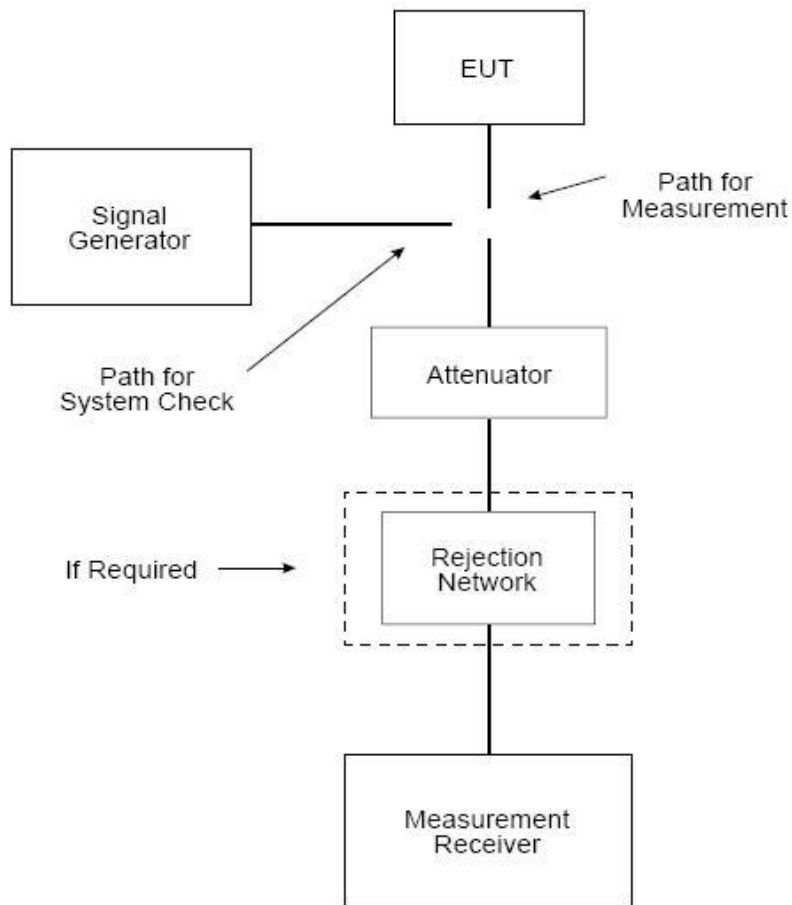


- 分别在整个测试频率范围的两个端点频率和中心频率上施加已知电平的校准信号；
- 检查测量接收机上的读数与预期电平之间的误差是否在 $\pm 3\text{dB}$ 之内。

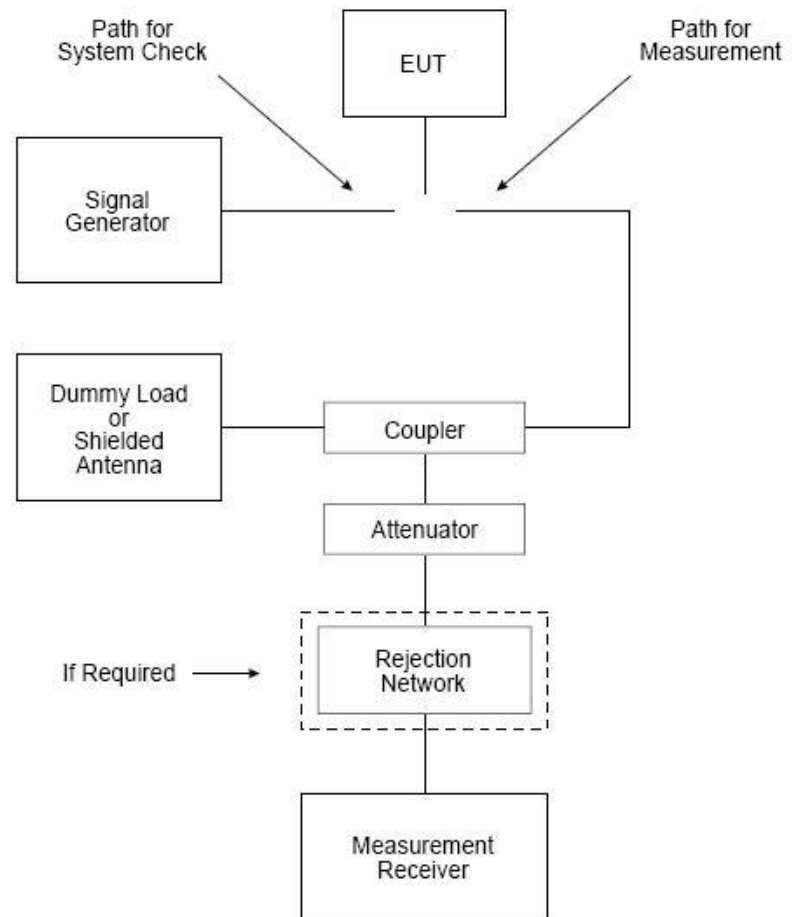


# CE106-发射机（发射状态）校准/测试框图

## 小功率发射机



## 大功率发射机

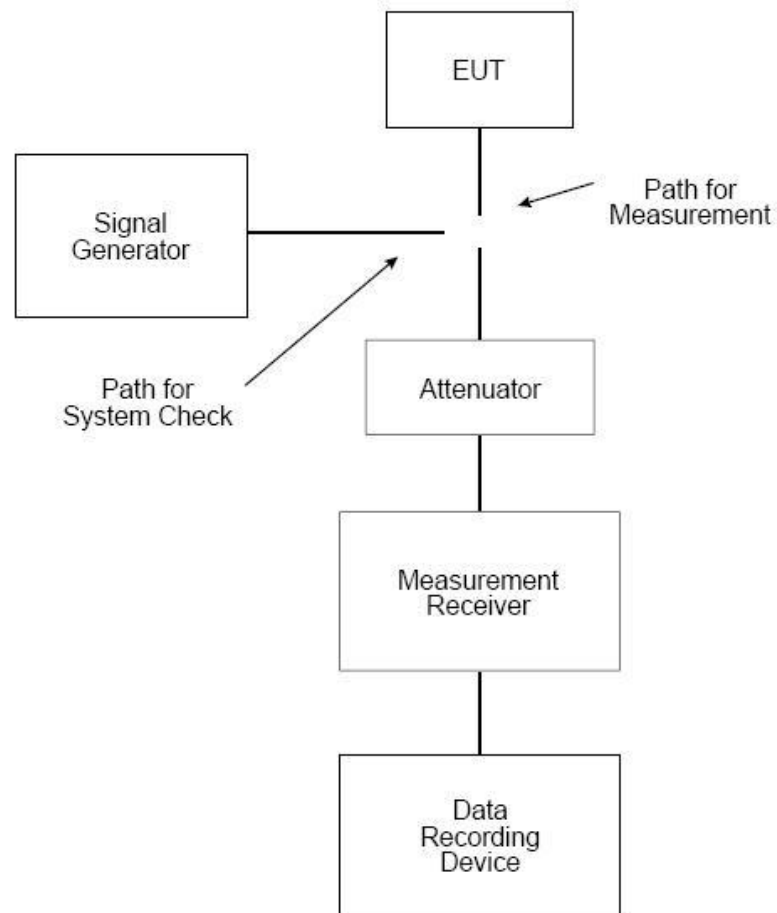


- 分别在整个测试频率范围的两个端点频率和中心频率上施加**28dB $\mu$ V**的校准信号；
- 检查测量接收机上的读数与**28dB $\mu$ V**之间的误差是否在 **$\pm 3$ dB**之内。





# CE106-发射机（待发状态）和接收机校准/测试框图



# CE106一致性问题-校准注意事项



- 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 $110\text{dB}\mu\text{V}$ 以上。
- 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。
- 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<br>(dBm) | 对应电压<br>(dB $\mu$ V) | 衰减器<br>dB | 使用后对应电<br>压(dB $\mu$ V) |
|-------|-------------|----------------------|-----------|-------------------------|
| 1W    | 30          | 137                  | 20        | 117                     |
| 10W   | 40          | 147                  | 30        | 117                     |
| 100W  | 50          | 157                  | 40        | 117                     |
| 1000W | 60          | 167                  | 40        | 127                     |

# CE106一致性问题-发射机（发射状态）

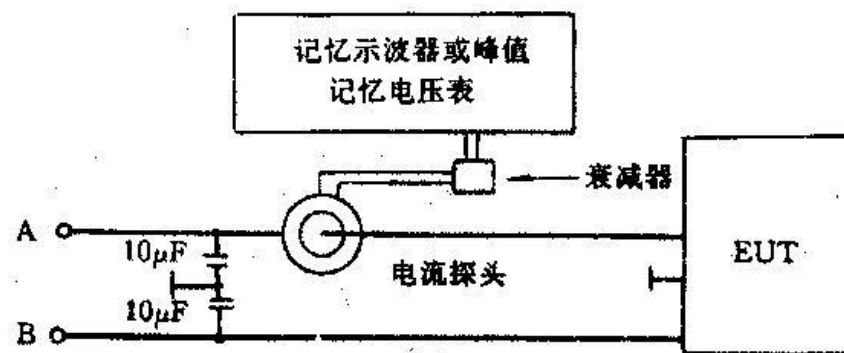


- 在整个测试频率范围内以标准规定的带宽和最小测量时间进行扫描；
- 记录下基频的功率电平、谐波频率、乱真发射频率和基频测量时测量接收机的带宽；
- 保持测量接收机带宽不变，对谐波频率和乱真发射频率进行测量，记录功率电平；
- 在谐波频率和乱真发射频率点上重新校准路径损耗，再加上记录的功率电平值才为最终的测量值。

- 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；

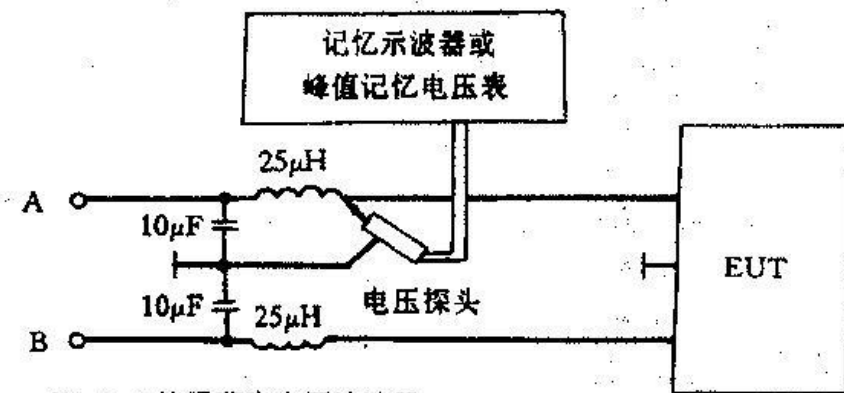


# CE107-校准/测试框图



注：A、B 接屏蔽室电源滤波器

图 CE107-1 电源线尖峰信号(时域)测试配置(闭路)



注：A、B 接屏蔽室电源滤波器

# CE107-校准照片



直通



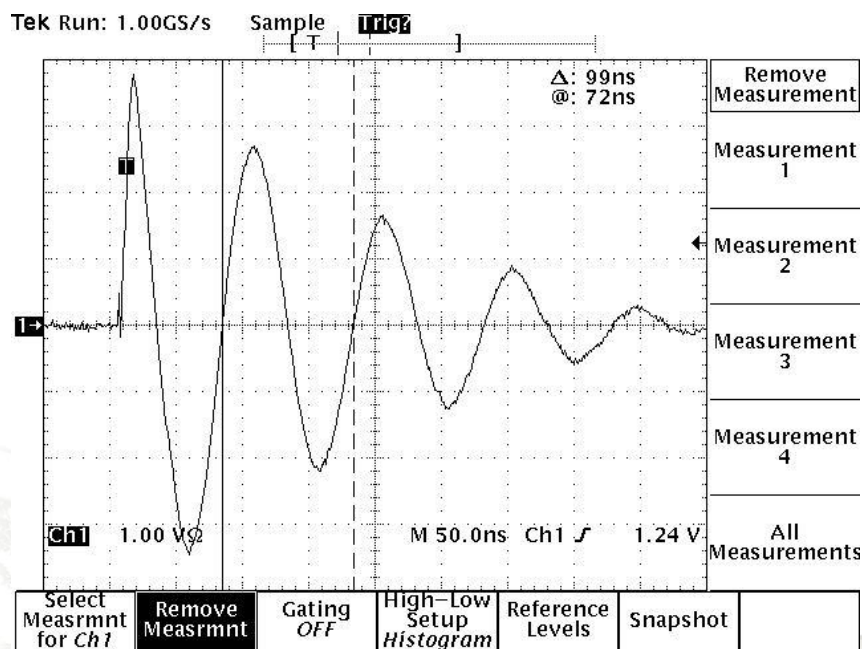
经过LISN



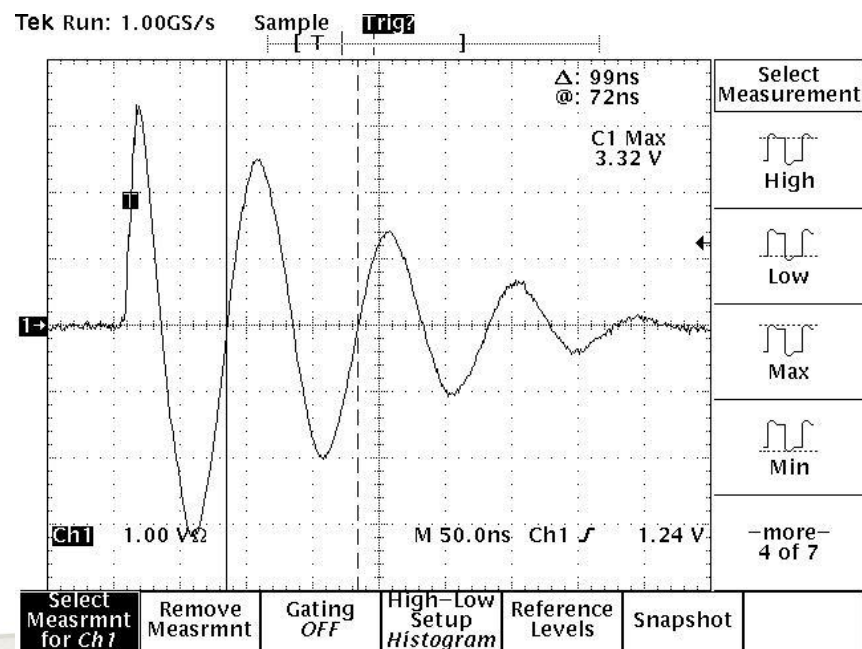
# CE107-校准图形



直通



经过LISN



# CE107一致性问题-测试



两个指标：电源线上的尖峰电流或电源线与地之间的尖峰电压；

两种布置：10 $\mu$ F穿心电容和LISN（测电流）；

10  $\mu$ F穿心电容+25 $\mu$ F电感组合和LISN（测电压）。

使用LISN测量电压时也未考虑LISN的系数；

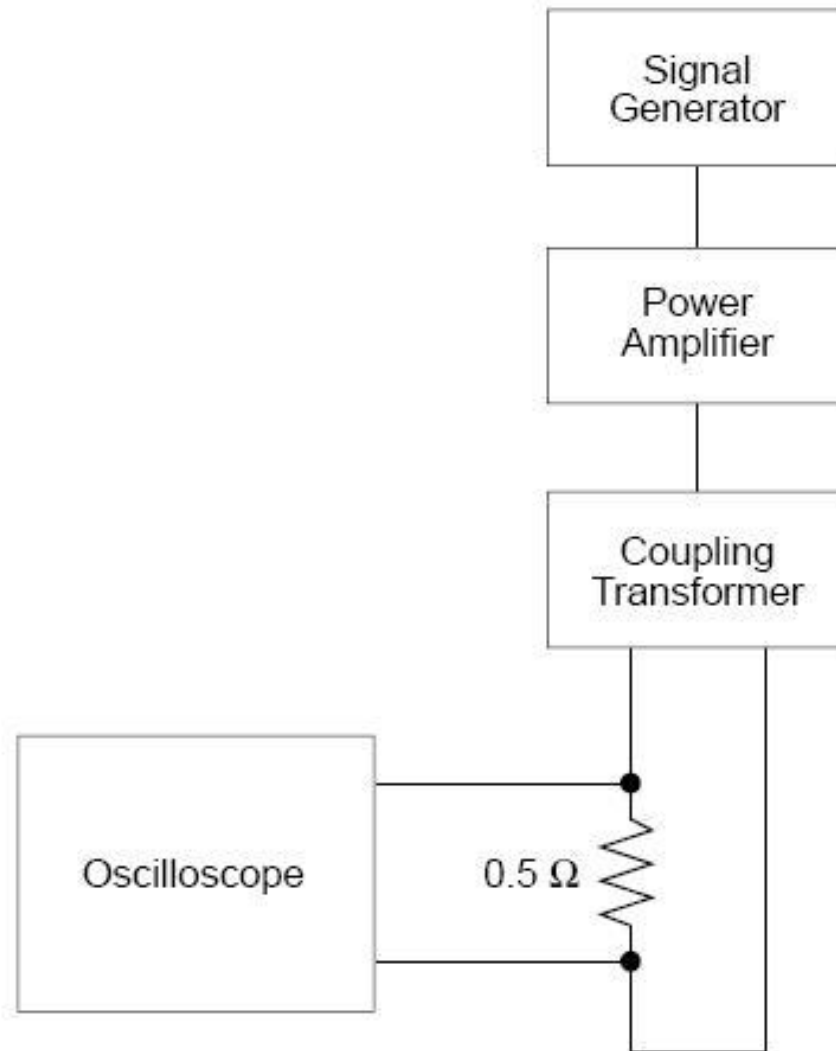
需要利用示波器抓获峰值信号，与测量工程师的经验有直接的关系。



- 校准要求：在标准要求的频率范围内进行扫描，要确保在每个频点上，示波器上的电压读数达到限值的要求。当达到限值的要求时，记录下此时信号源的输出电平；
- 同时观察波形是否是正弦波。
- 使用步进式扫描大约需要**13分**。
- 使用模拟式扫描大概需要**387**个点，大约**6分半**。



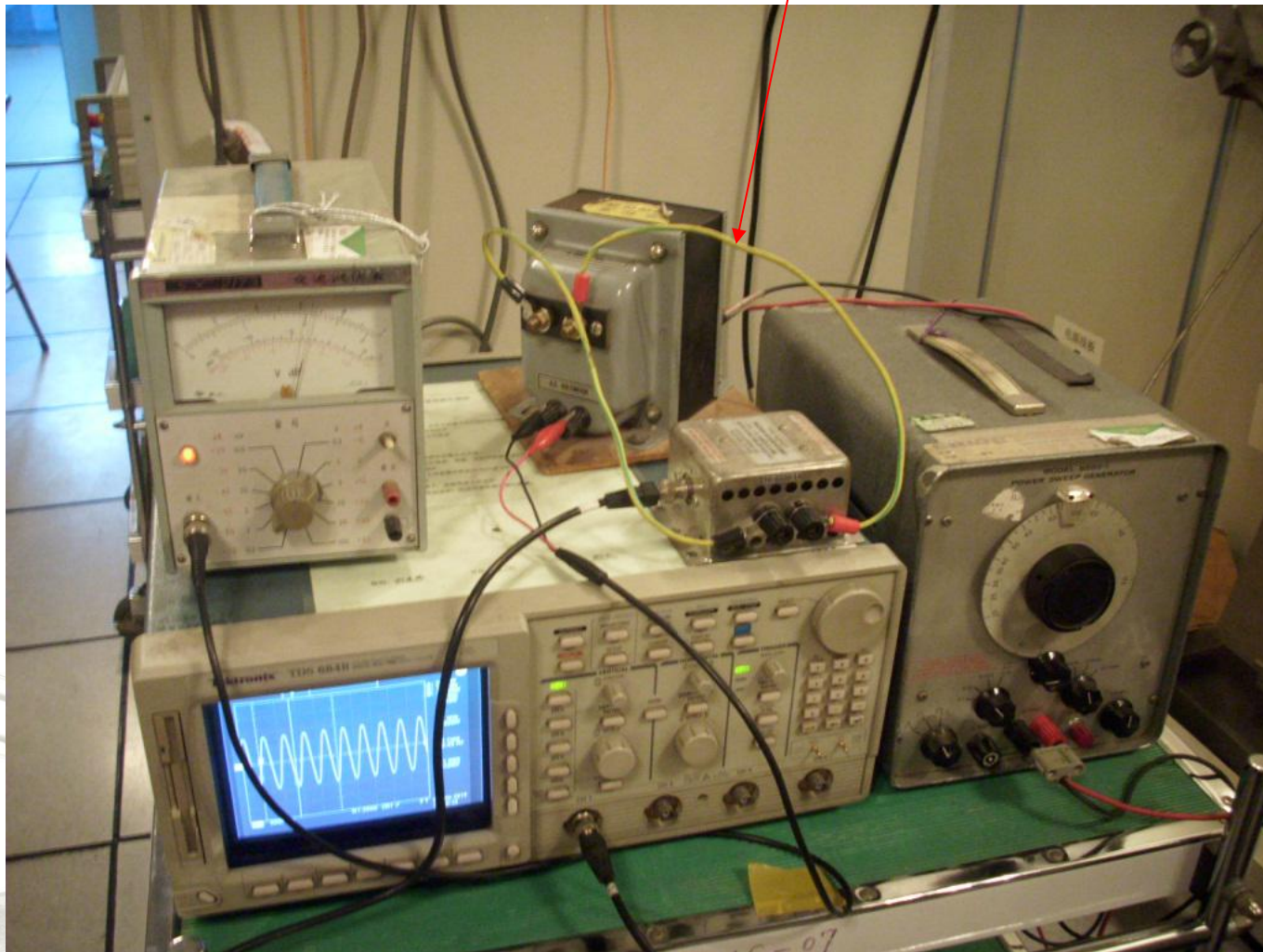
# CS101-校准框图



# CS101-校准布置照片



尽量短，良好接触

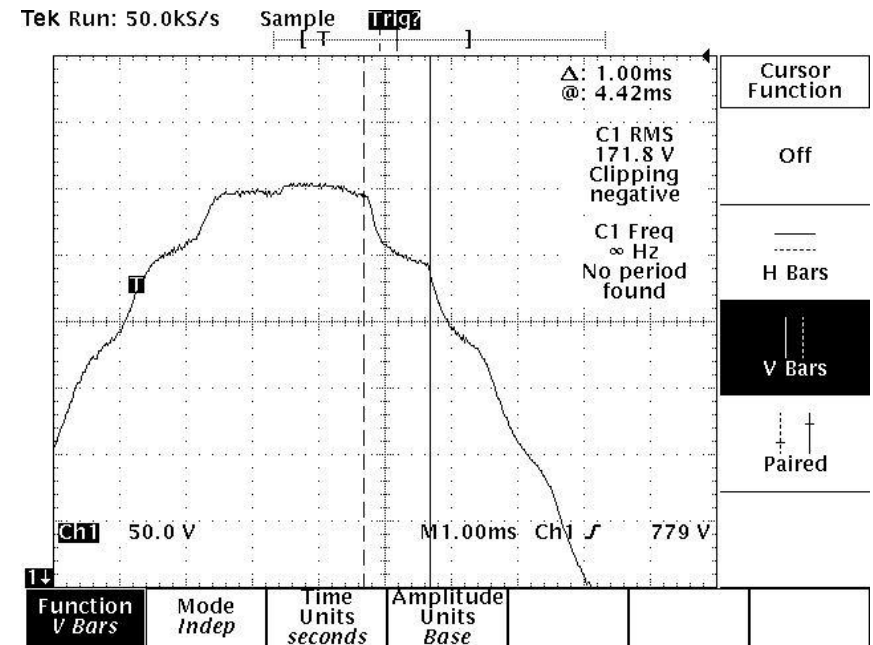
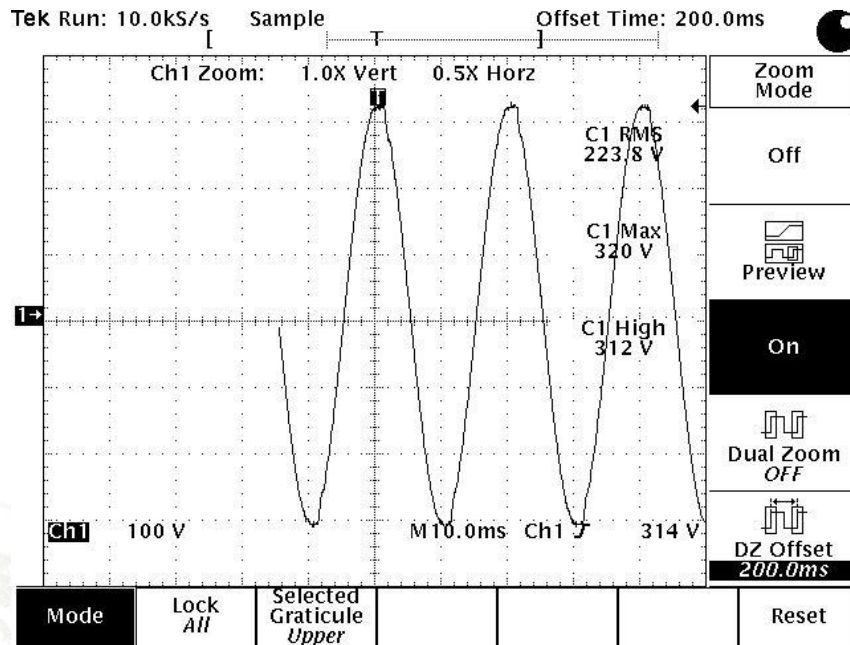


# CS101-试验布置照片

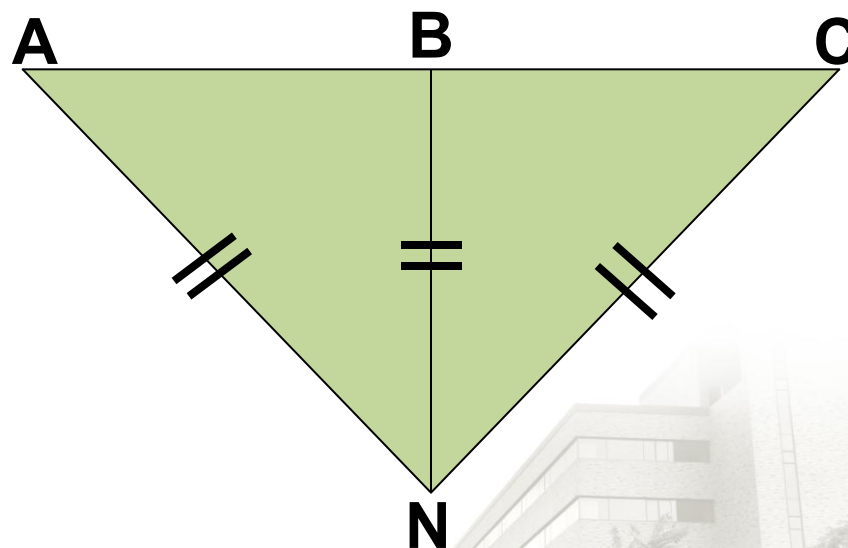
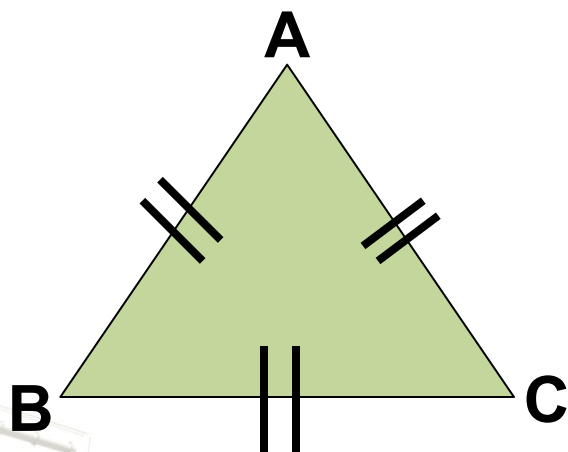




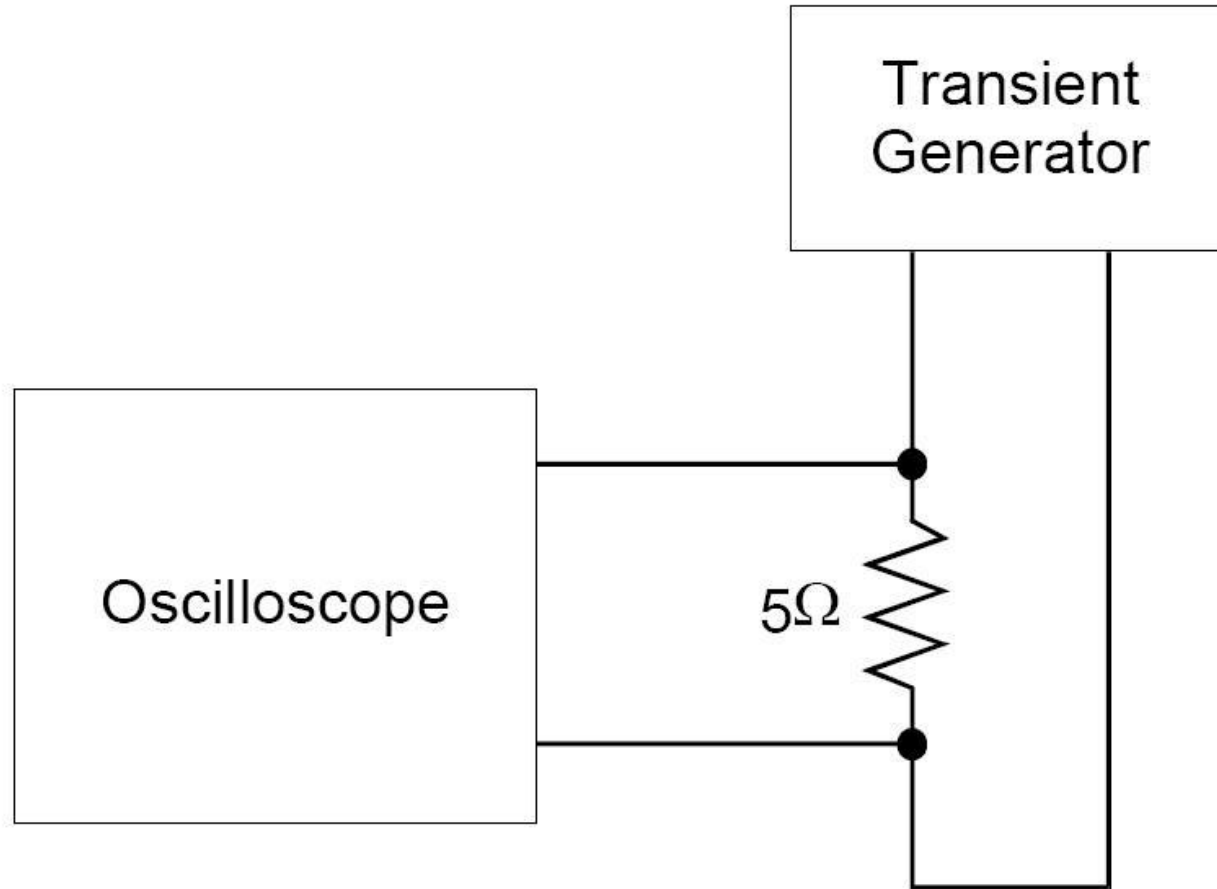
# CS101-试验监测波形



- $10\mu\text{F}$  delta电容和WYE电容的用法。



# CS106-校准框图

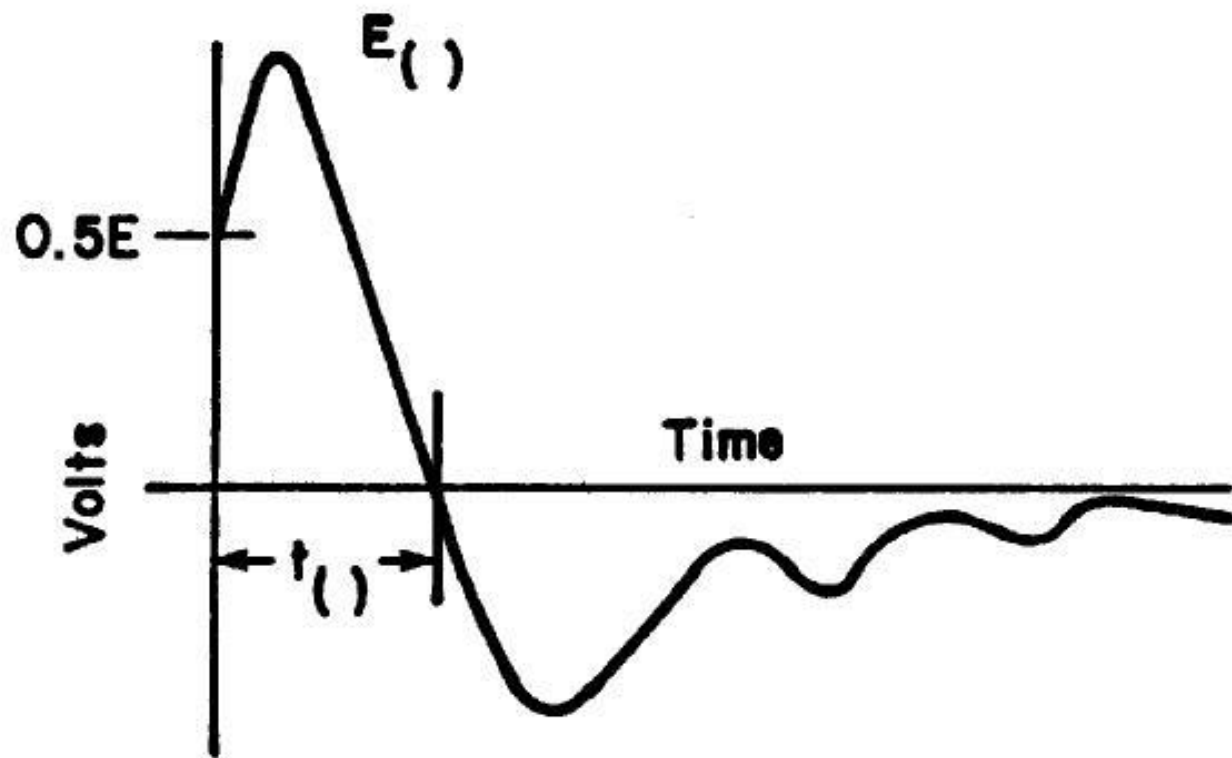




# CS106-校准照片



# CS106-校准波形



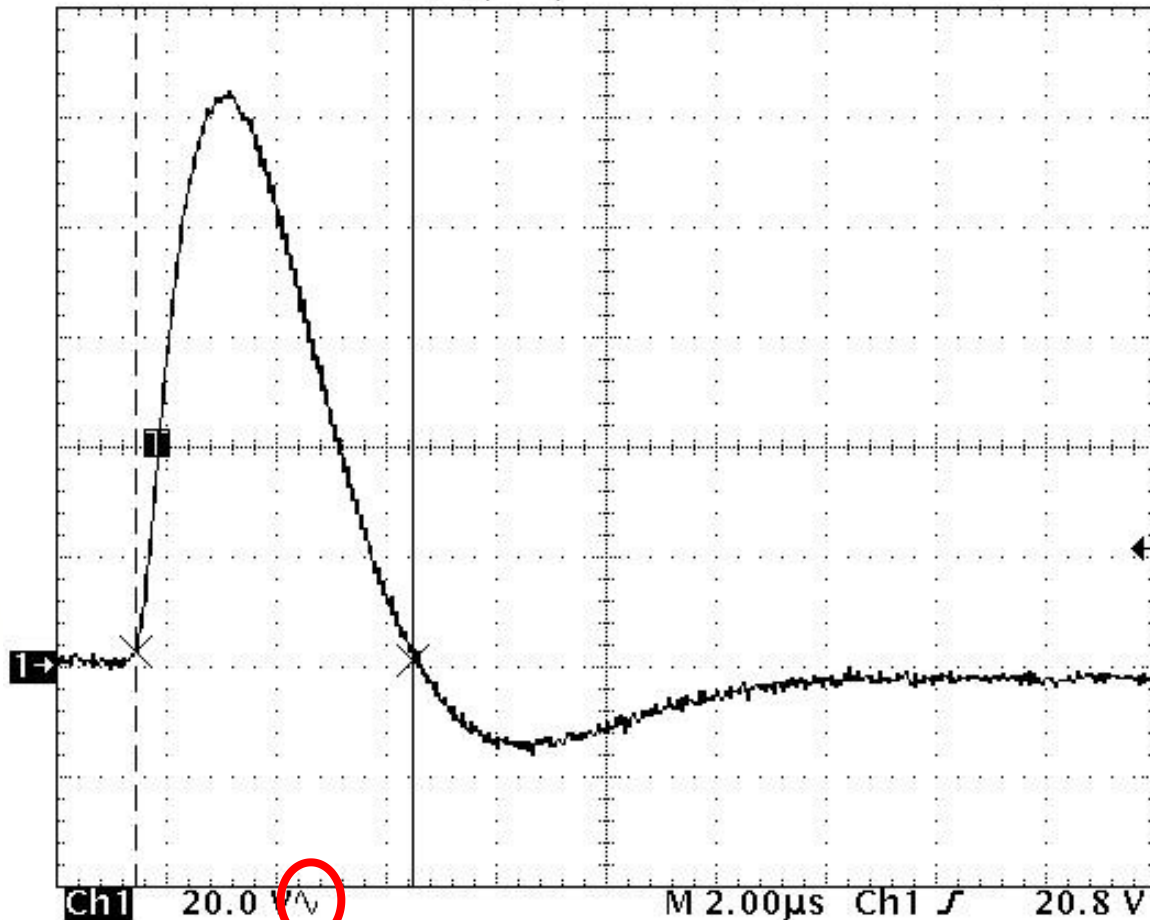
- 观察尖峰信号的幅度、上升时间、持续时间和波形

# CS106-校准波形



Tek Run: 12.5MS/s

Pk Detect **Trig?**



Δ: 1.60 V  
Δ: 5.04µs  
@: 400mV

C1 Rise  
992ns  
Unstable  
histogram

C1 Fall  
2.464µs  
Unstable  
histogram

C1 Max  
104.8 V

17 Sep 2010  
13:26:23

注意选择高倍衰减的探头



# CS106-测试布置

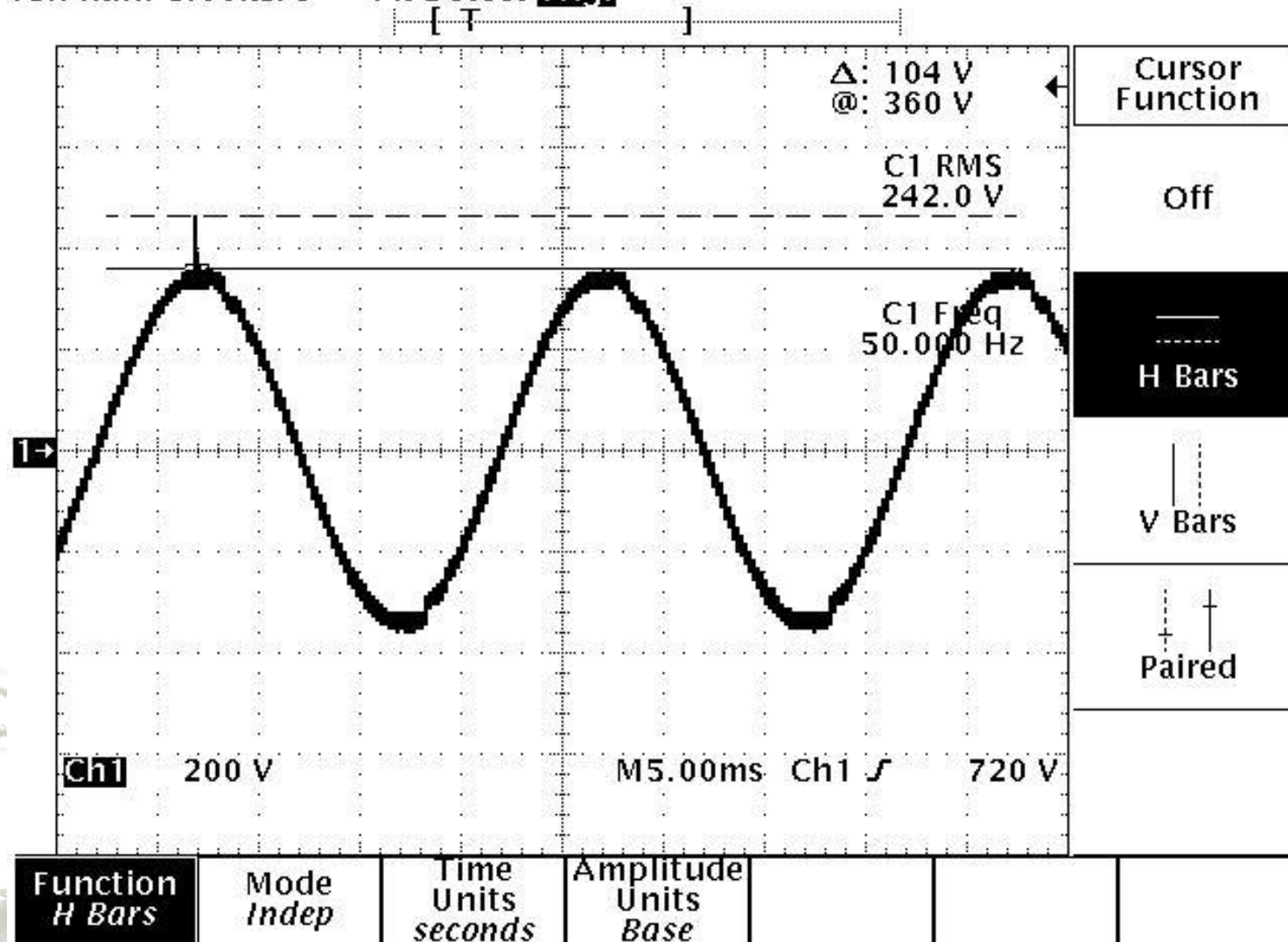


# CS106-监测波形

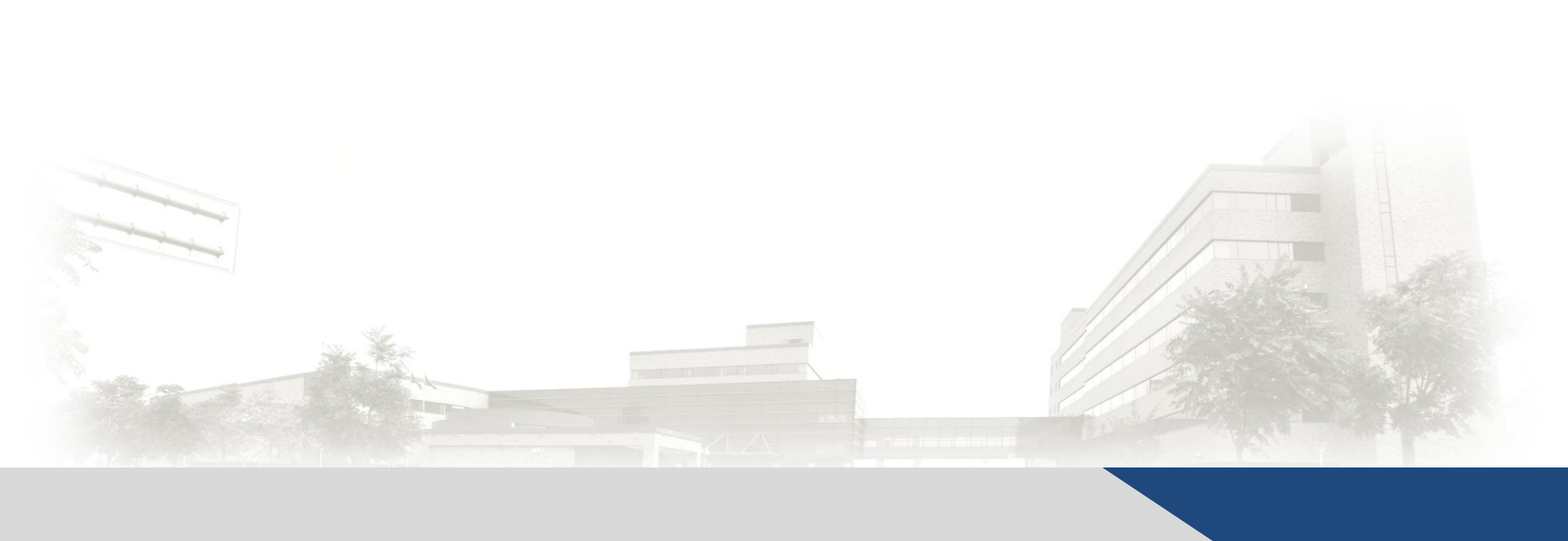


Tek Run: 5.00kS/s

Pk Detect **11192**

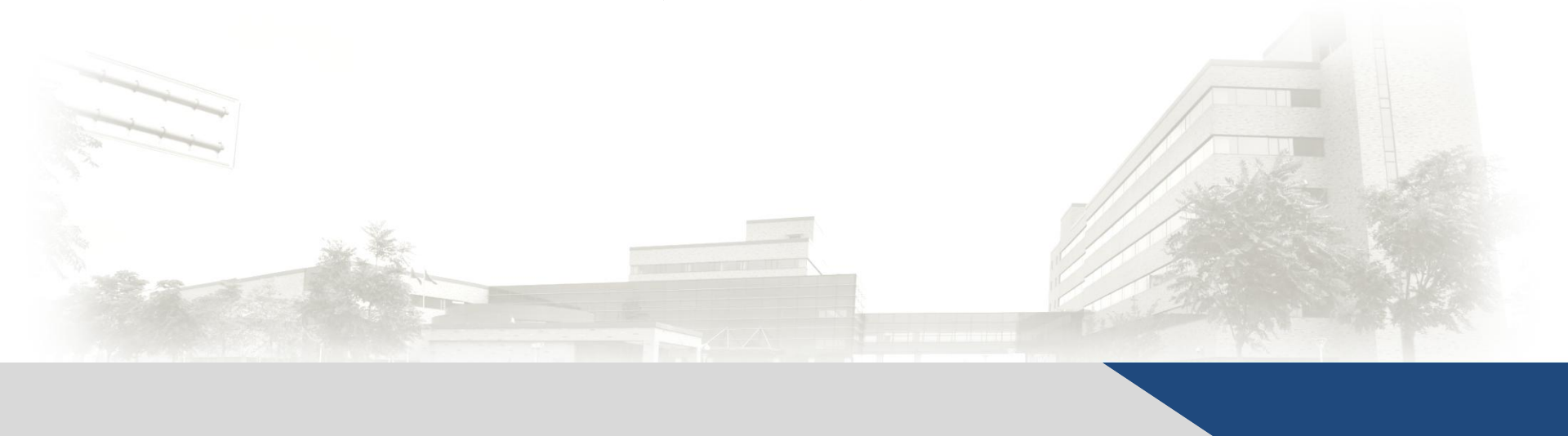


- 无校准要求。



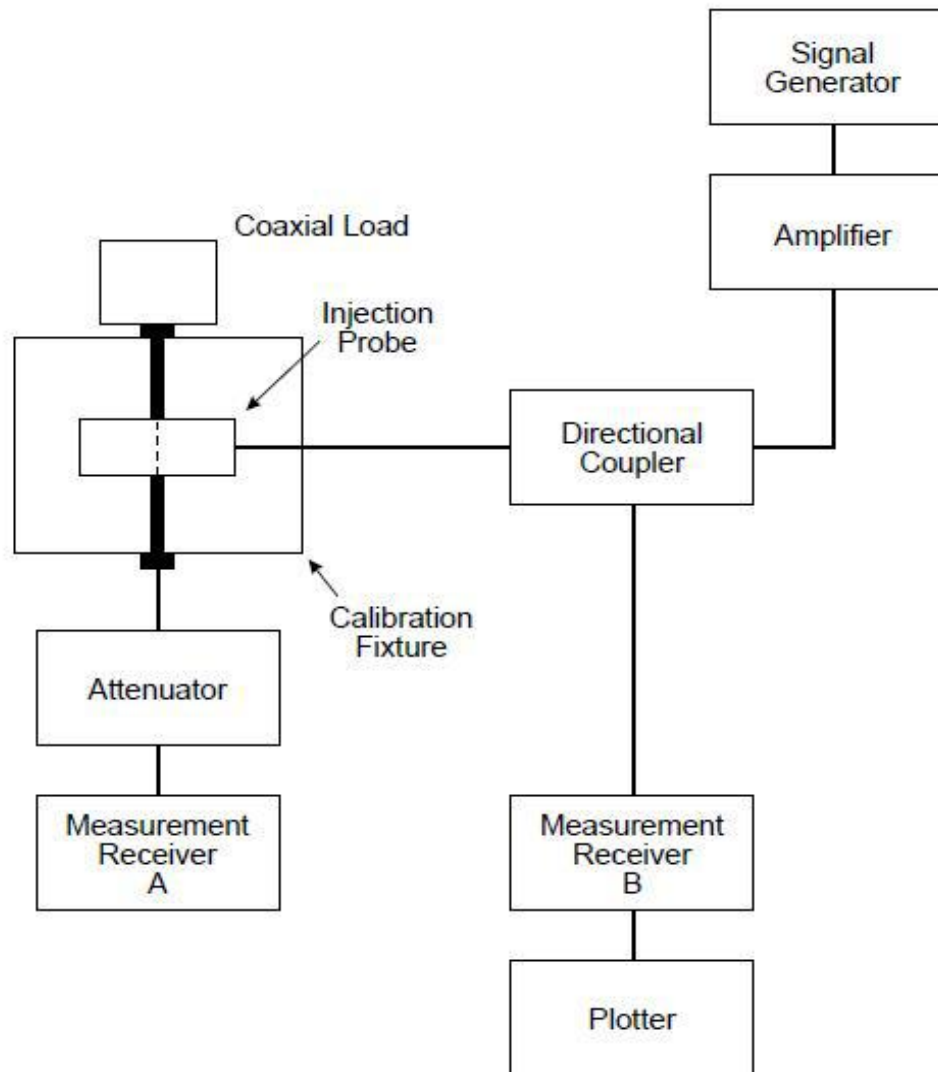


- EUT表面测试点的选择：1组、4组、6组还是12组？
- 由于标准中未明确给出倾向于采用6组。

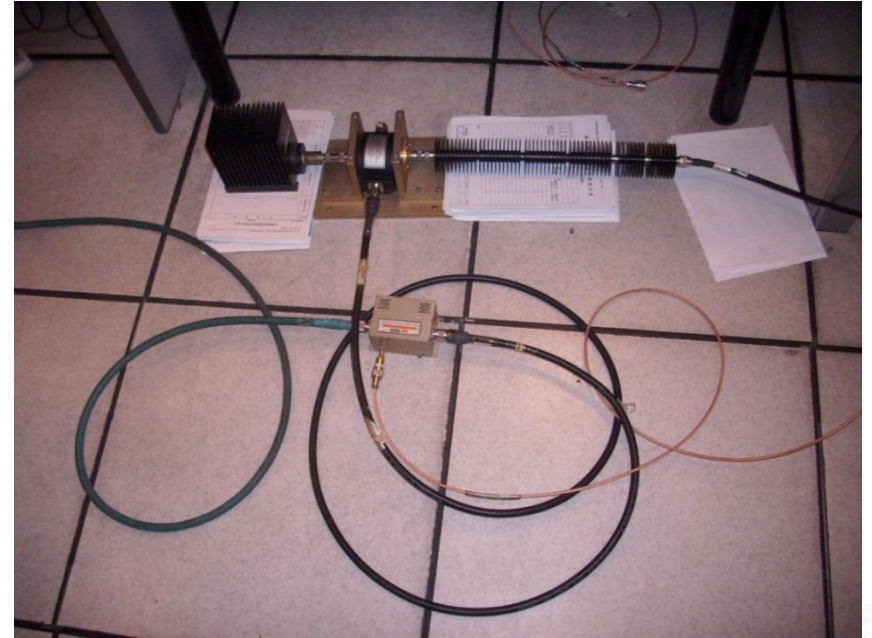
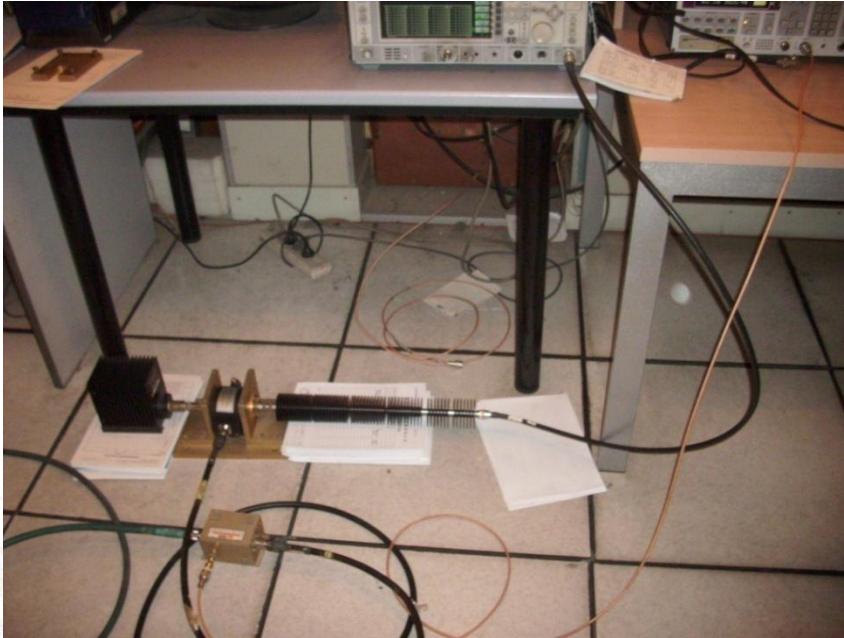


- 注入探头的传输阻抗和插入损耗；
- 监测探头的传输阻抗；
- 插入损耗：是当探头安装在校准装置中时，施加到探头上功率和连接在装置中的 $50\Omega$ 负载之一上的损耗功率之比。
- 插入损耗 (dB) = 34 - 传输阻抗 (dB)

# CS114—校准框图



# CS114—校准布置照片



# CS114—环路阻抗特性确定

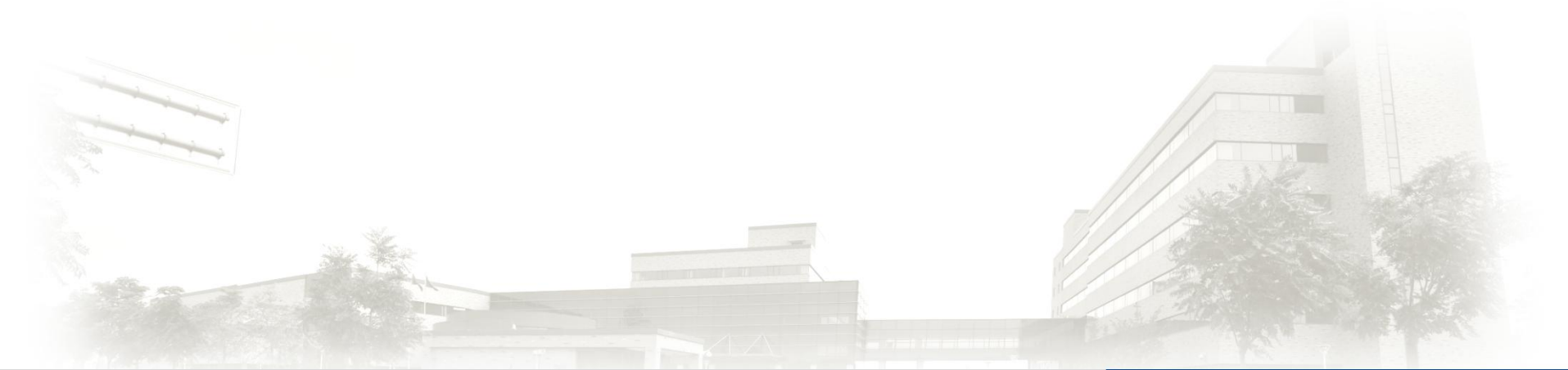


- 全频段扫描，注入信号不加调制；
- 施加约1mW的功率信号到注入探头，记下测量接收机**B**的读数（功率），并折算到注入探头的输出界面；
- 同时记录下测量接收机**A**的读数（电流I）；
- 两者之比归一化到(A/W)，即 $I_A/(0.001)^{1/2}$

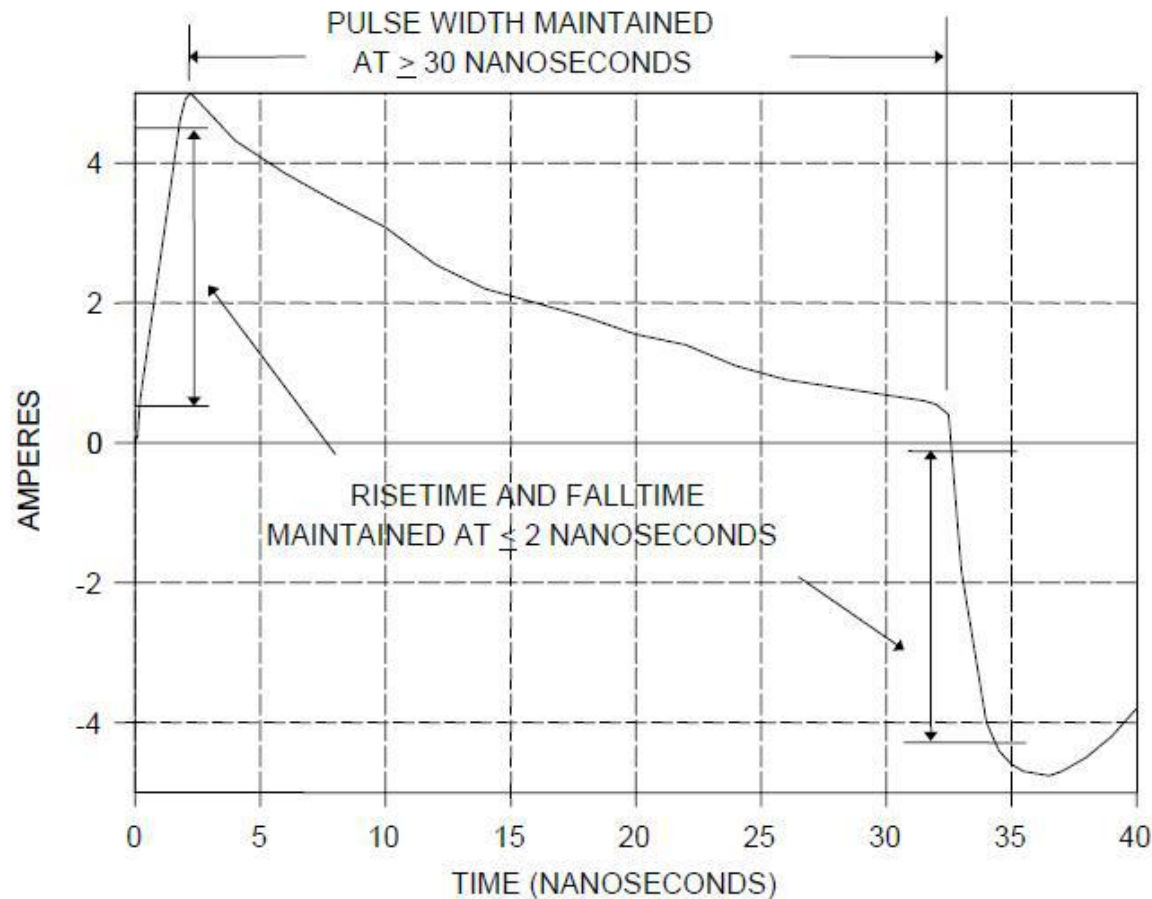
# CS114一致性测试—线缆测量



- 非屏蔽电源电缆;
- 屏蔽电源电缆;
- 信号输出电缆。

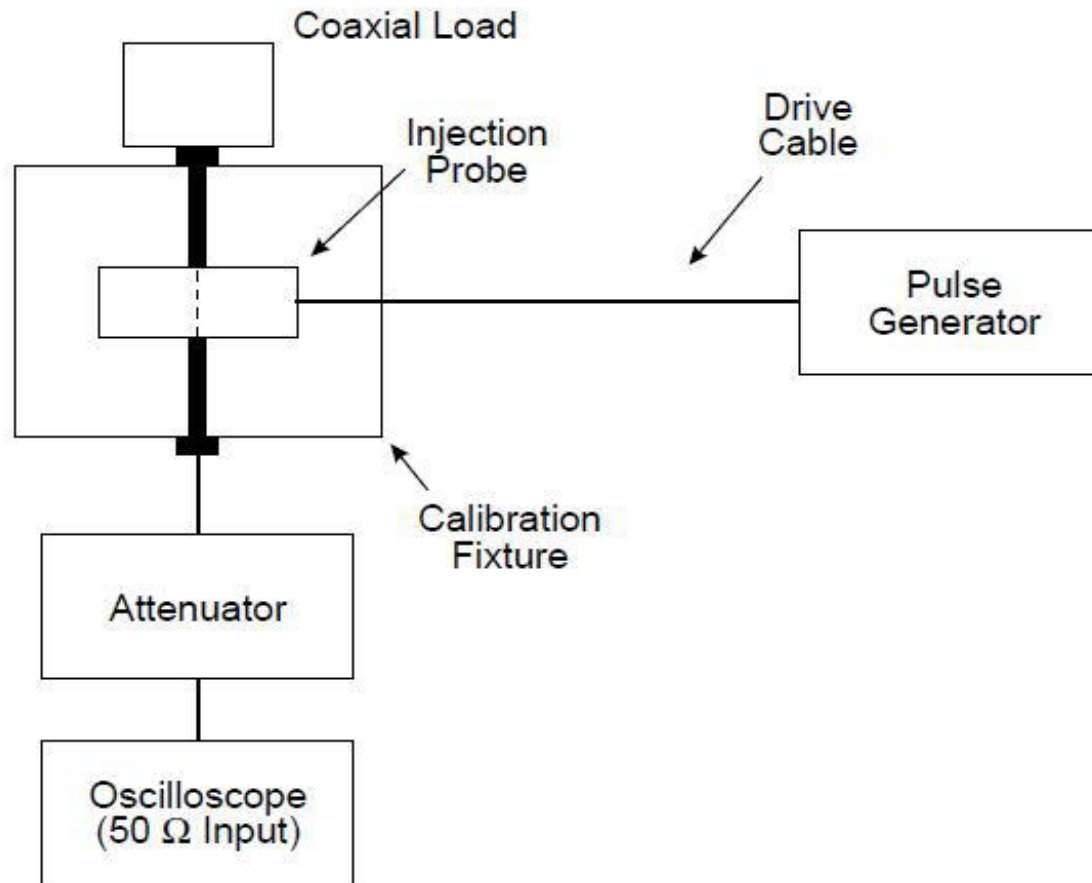






测量指标：上升时间、下降时间、脉宽和脉冲重复频率

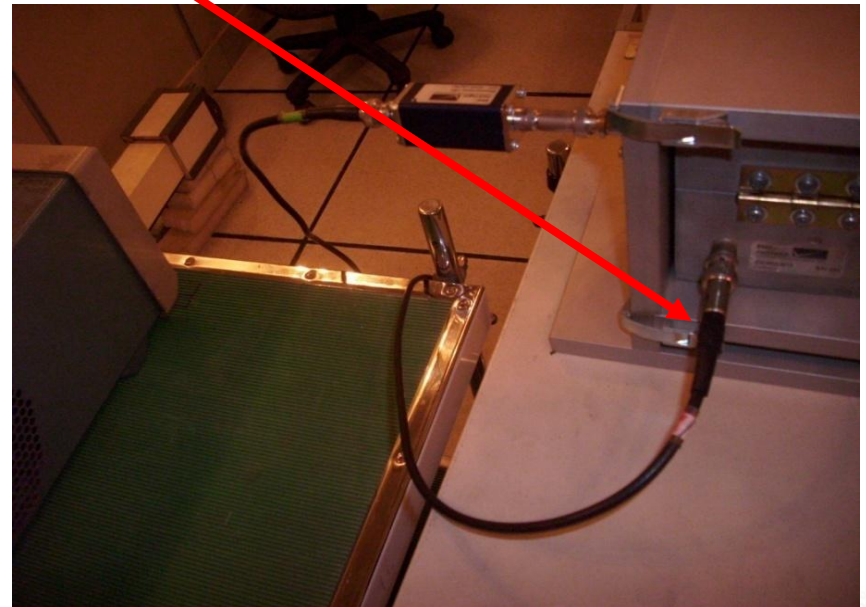
# CS115-校准框图



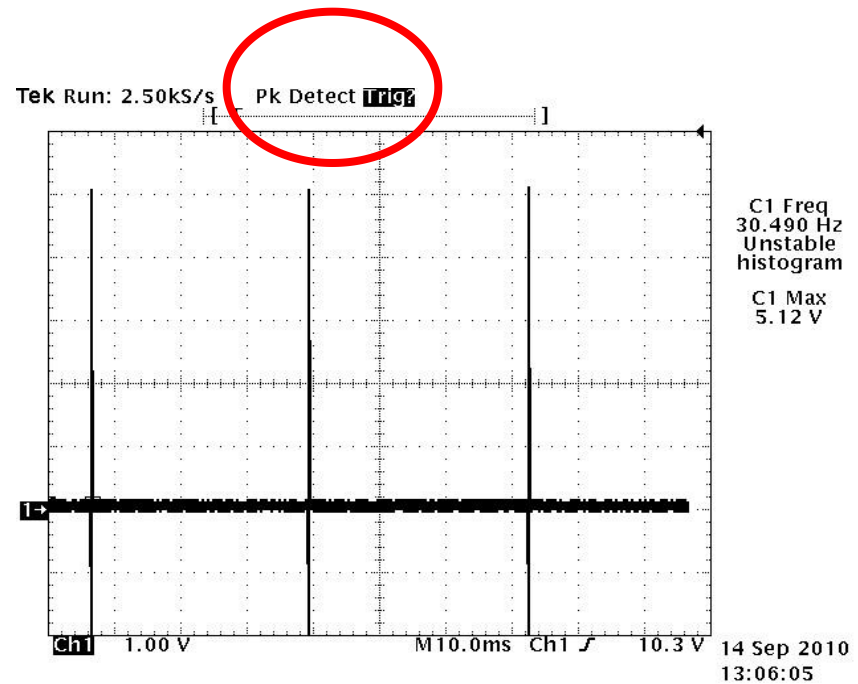
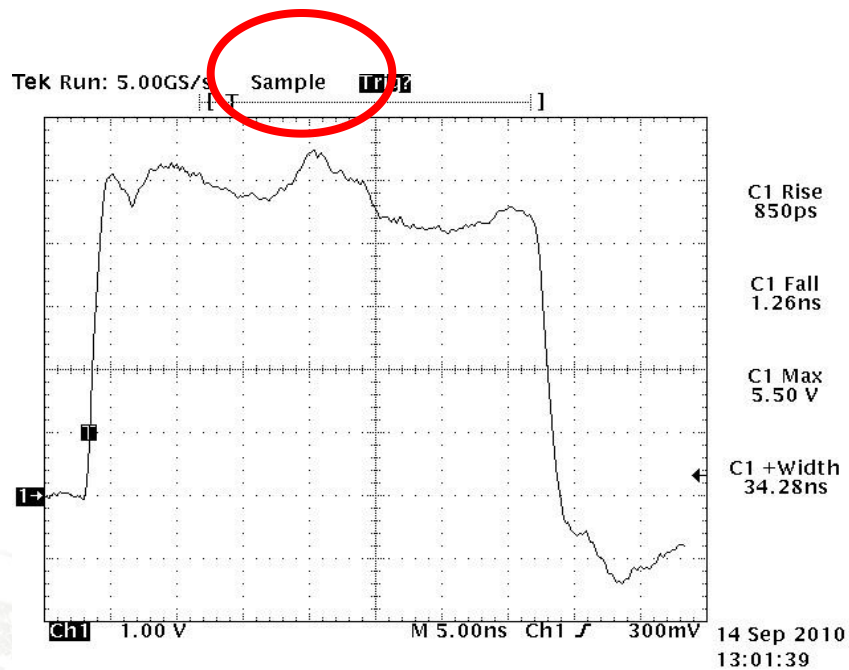
# CS115-布置照片



注意电流探头的注入方向！



# CS115-校准图形



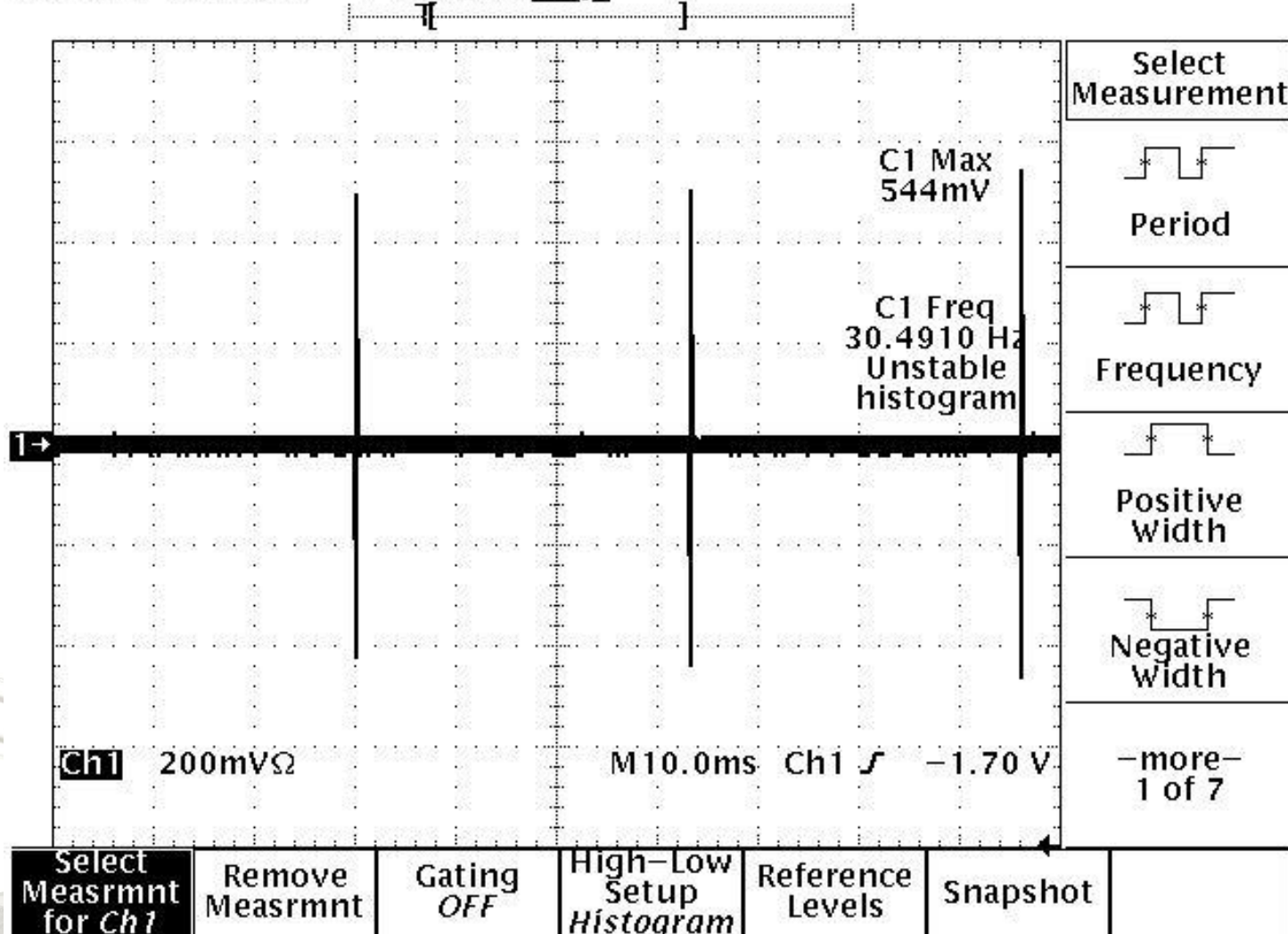
校准时，示波器内阻为高阻。

# CS115-监测波形



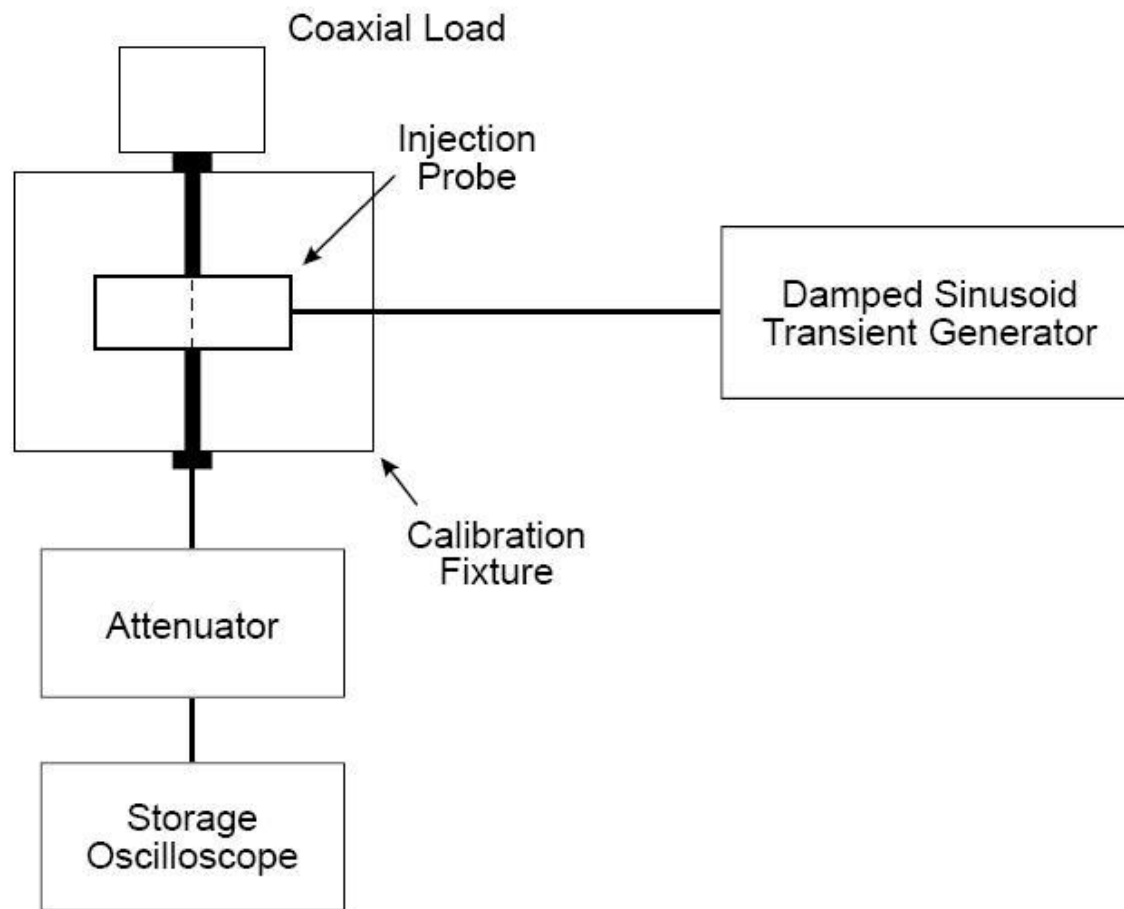
Tek Run: 2.50kS/s

Pk Detect **Trig?**

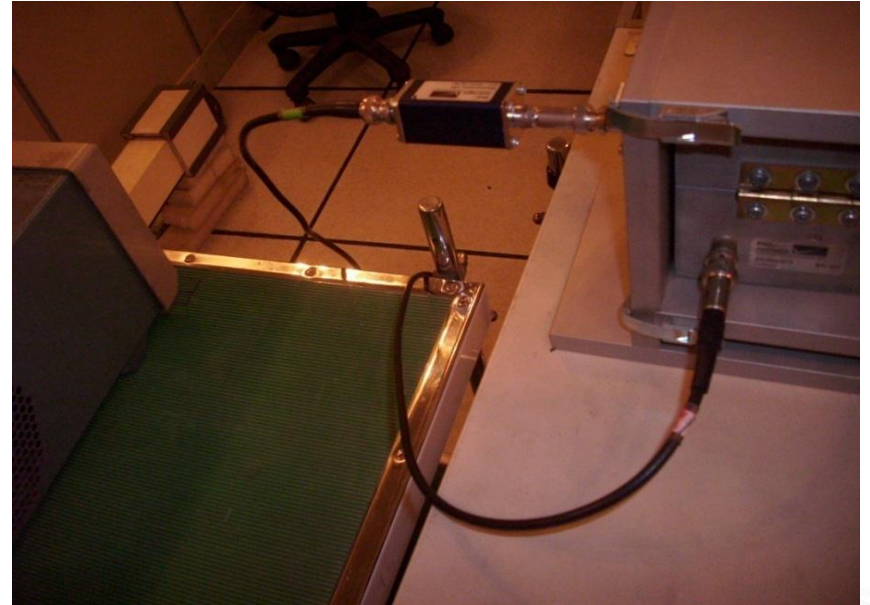




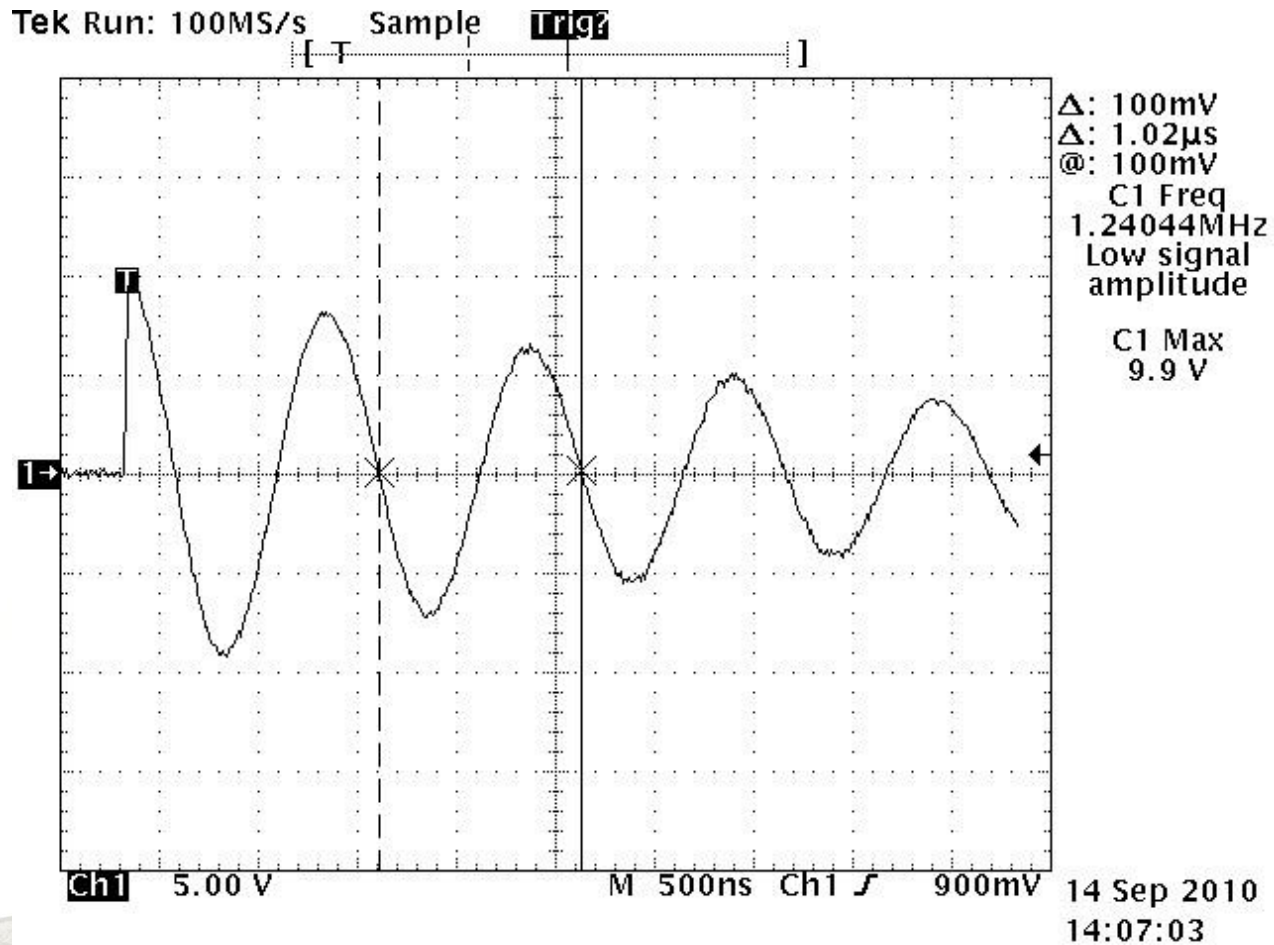
# CS116-校准框图



# CS116-布置照片



# CS116-校准曲线



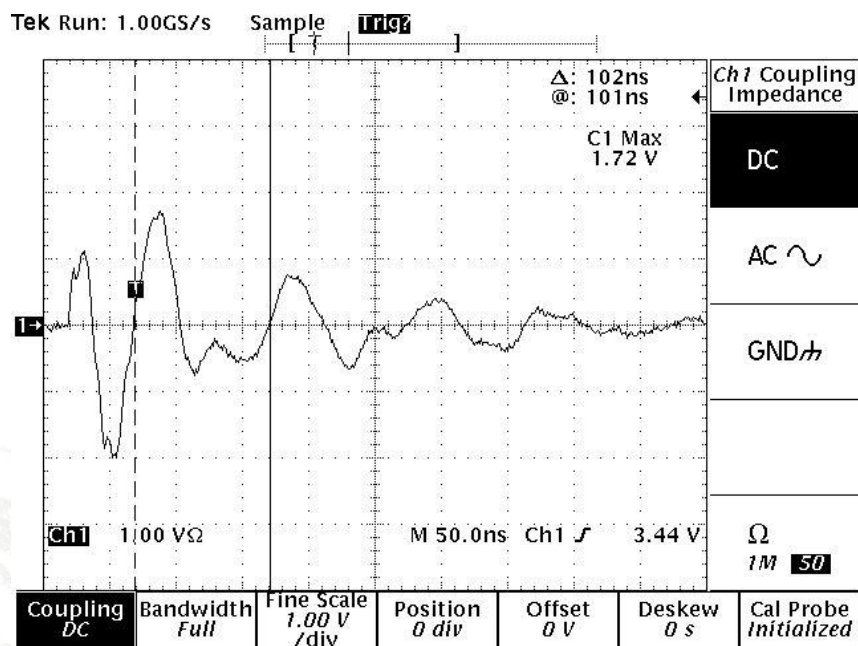
- 分别在10kHz、100kHz、1MHz、10MHz、30MHz和100MHz六个频点上外加环路阻抗特性确定中阻抗最大和最小的两个频点上进行阻尼正弦信号波形的校准。



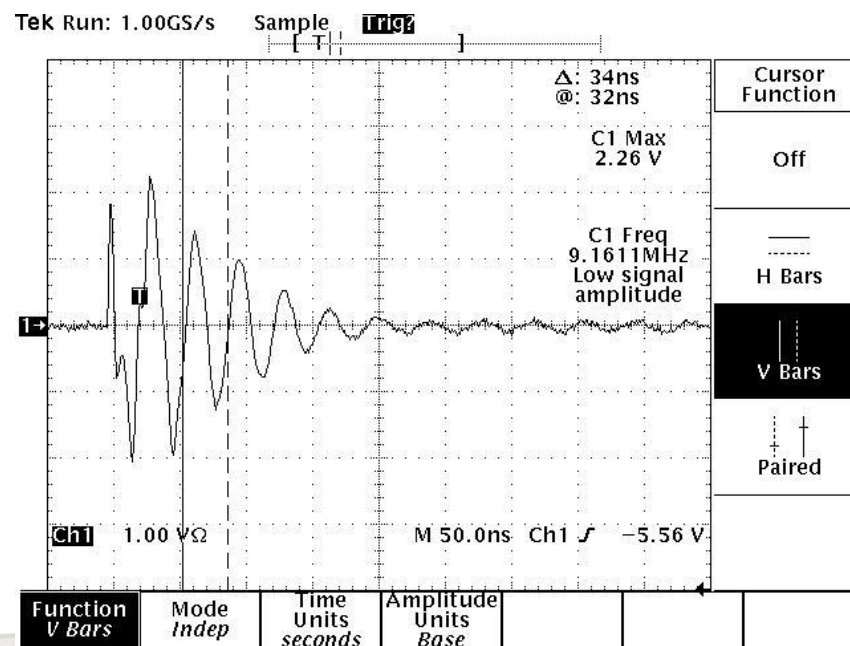
# CS116-监测波形



## 10M波形



## 30M波形

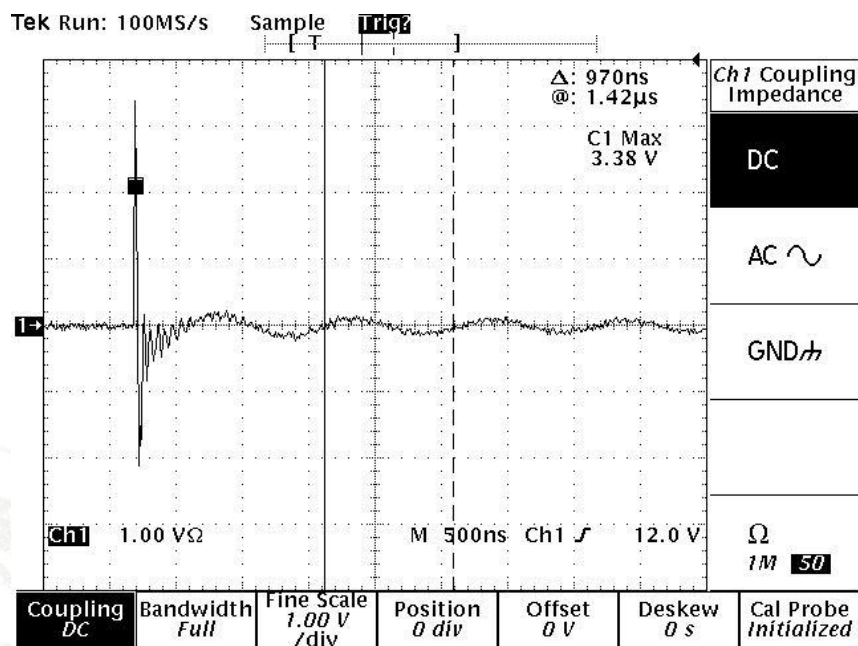




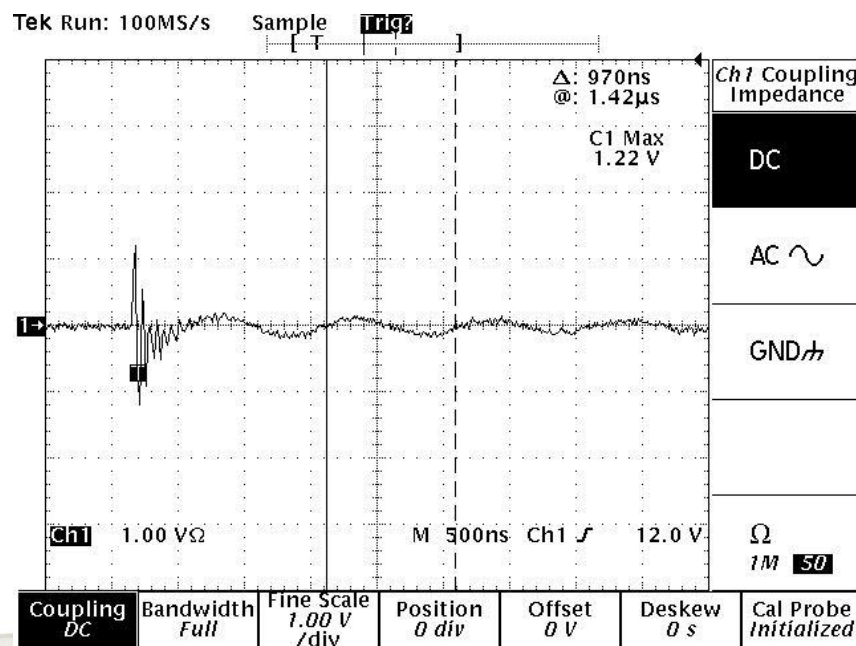
# CS116-监测波形



## 1M波形



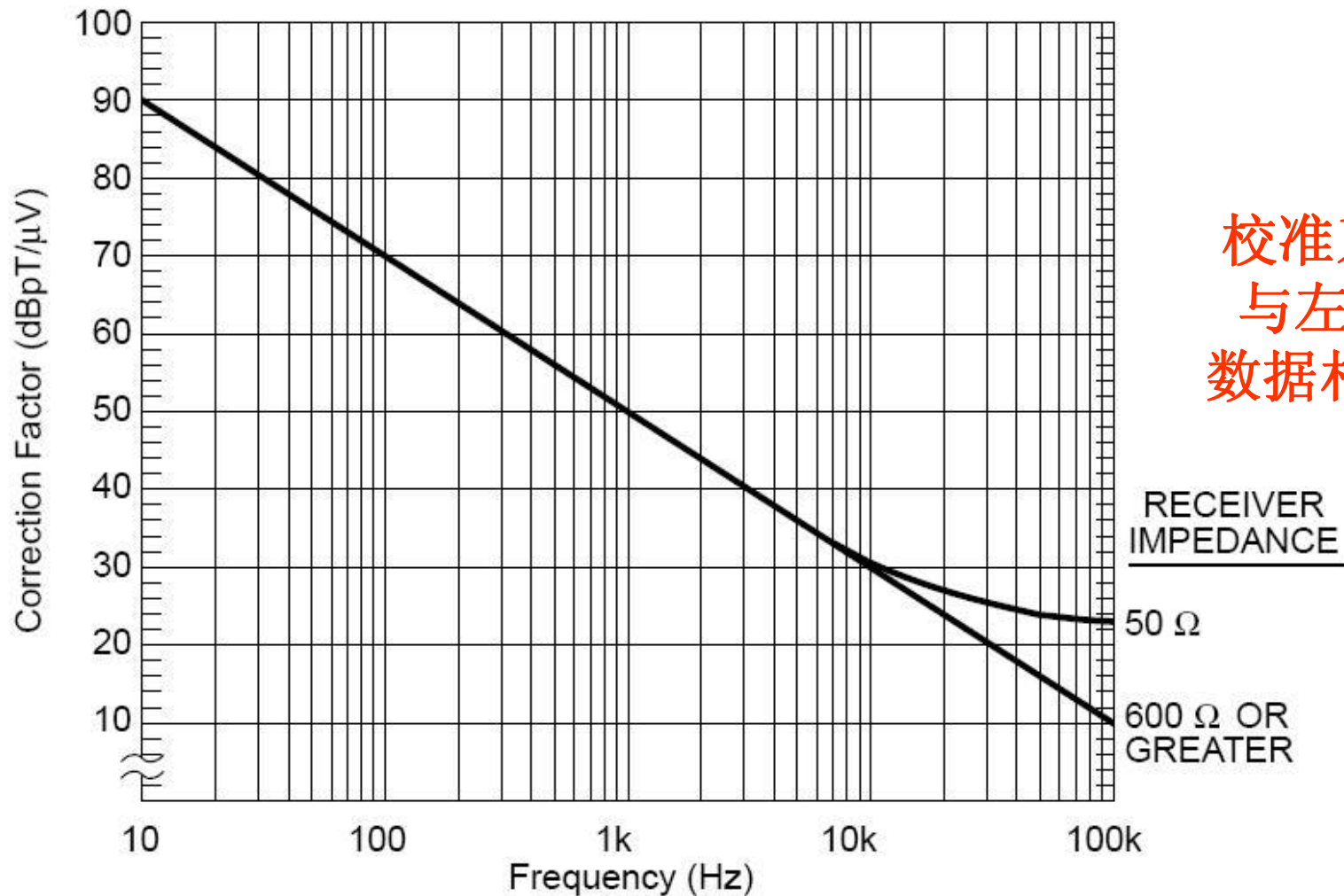
## 1M波形



- 线缆测量问题：非屏蔽电源电缆、屏蔽电源电缆、信号输出电缆；
- 在EUT切断电源的情况下是否还需要进行测试？



# RE101——环天线系数



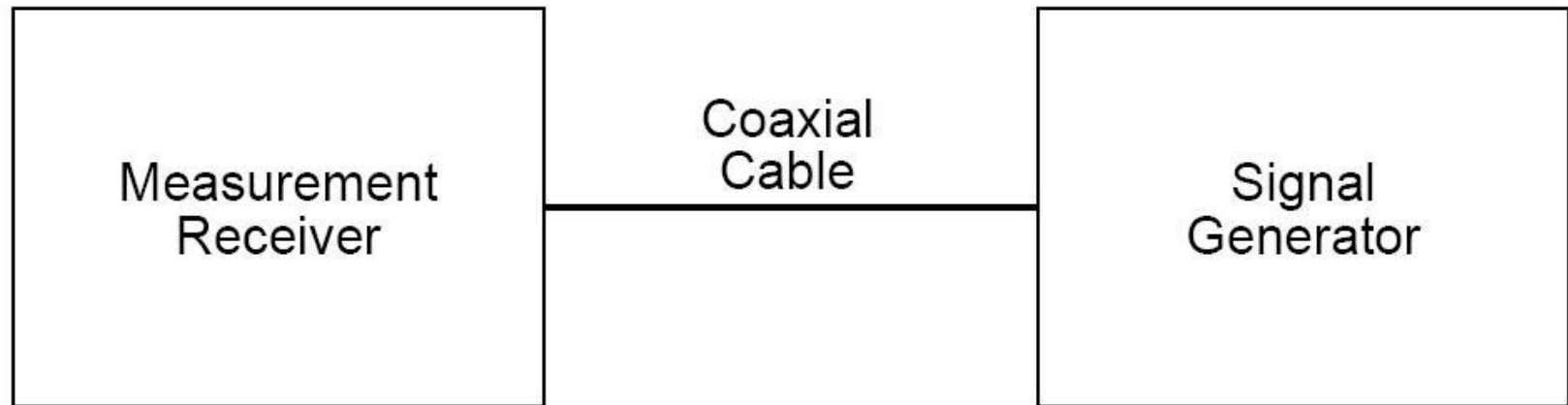
校准系数  
与左表  
数据相吻合

# RE101-环天线系数



- 校准时可以利用**RS101**的发射环天线作为发射天线校准，两天线间距**27cm**，发射环天线中电流**1A**，然后改变频率。设接收机的读数为**M**，则环天线的系数：
- 电场系数： $AF=165-M$ ；
- 磁场系数： $C=115.5-M$ 。
- 环天线的系数**C**，反映的是电压与磁通密度的关系，有如下公式： $B=M+C$ ；

# RE101——校准框图





# RE101-校准要求

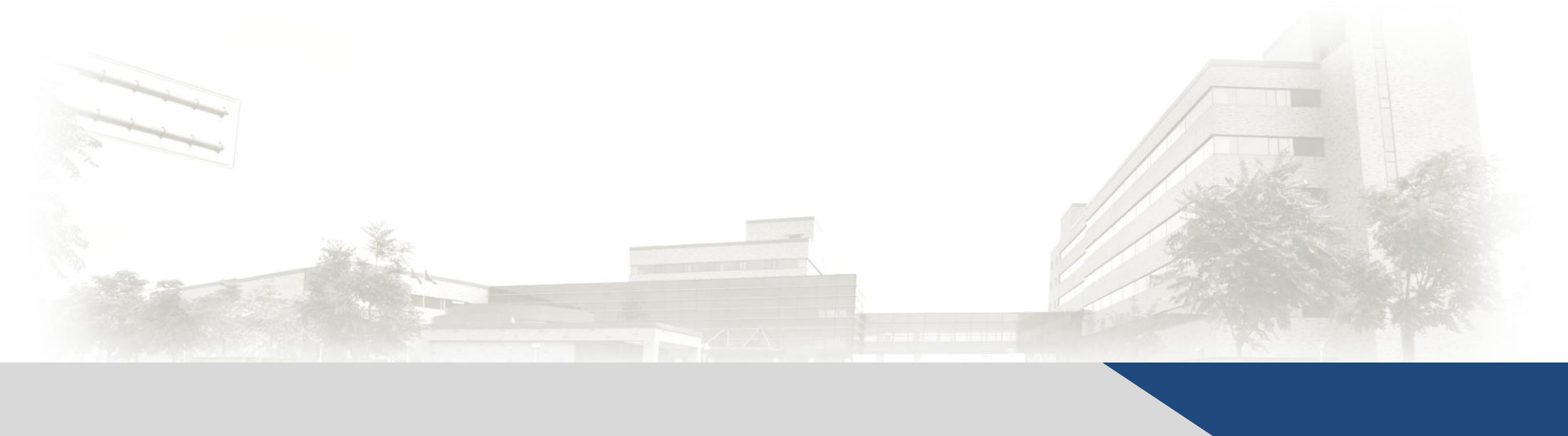


- 在50kHz频点上施加一个校准信号，电平低于标准要求6dB，利用测量接收机进行测量，观察测量值是否在注入信号电平的 $\pm 3\text{dB}$ 之内。

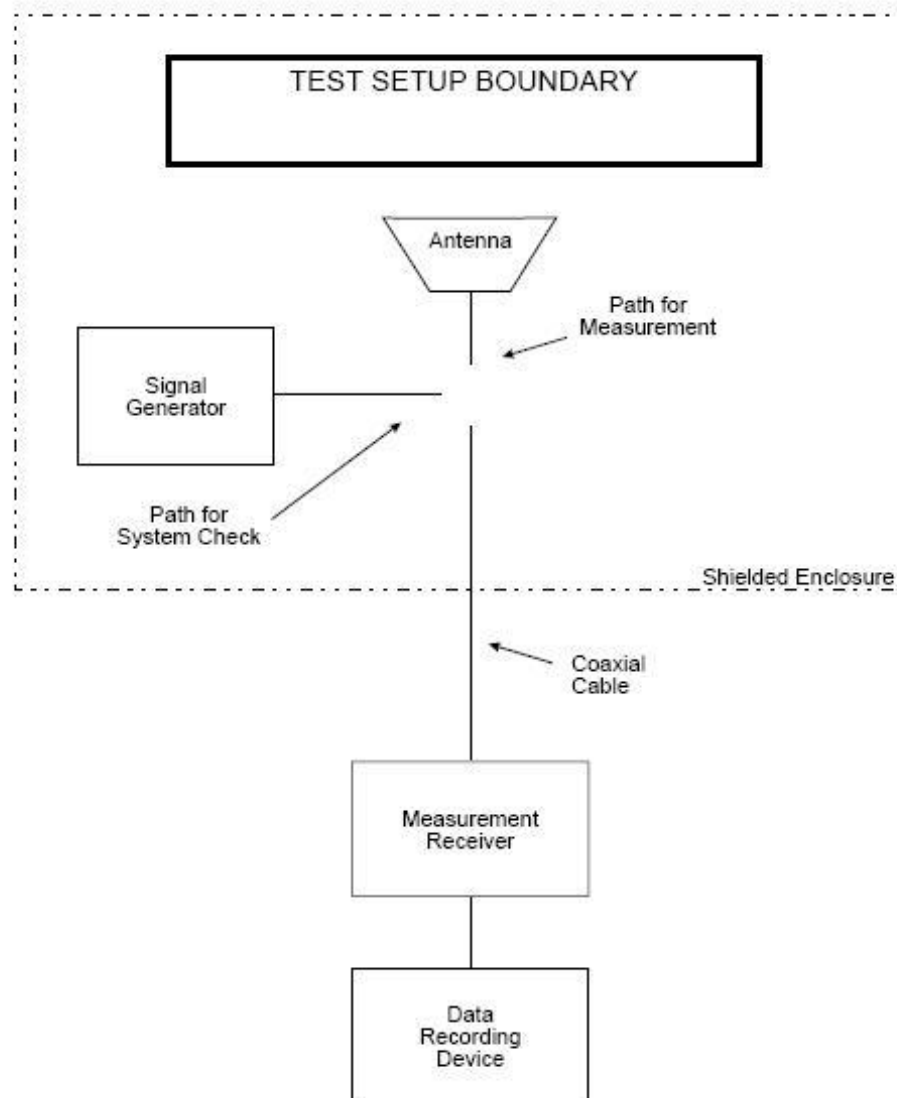
| 限值(dBpT) | 校准电平(dBpT) | 信号源输出电压值(dB $\mu$ V) |
|----------|------------|----------------------|
| 84       | 78         | 54                   |
| 50       | 44         | 20                   |
| 115.9    | 109.9      | 85.9                 |
| 81.9     | 75.9       | 51.9                 |

- 该问题出在可操作性上。
- 如果严格执行标准则1个面要在33个频率点上给出测量值。
- 对每个面和每条电缆都要重复上述过程。
- 推荐做法：
  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？

1. 杆天线、双锥天线和双脊喇叭天线的系数，将场强测量问题转化为测量天线输出电压问题；
2. 双脊喇叭天线的**3dB**波瓣宽度（方向图）。



# RE102——校准框图



1. 首先检查暗室的背景是否满足要求;
2. 对测量路径的评估:

在每个天线的最高使用频点上施加校准信号，其电平比标准限值减天线系数低**6dB**，观察测量接收机读数，误差应在**3dB**范围内。

注：对使用无源匹配网络的杆天线来说，应该在使用频率范围的中心频点进行测量。



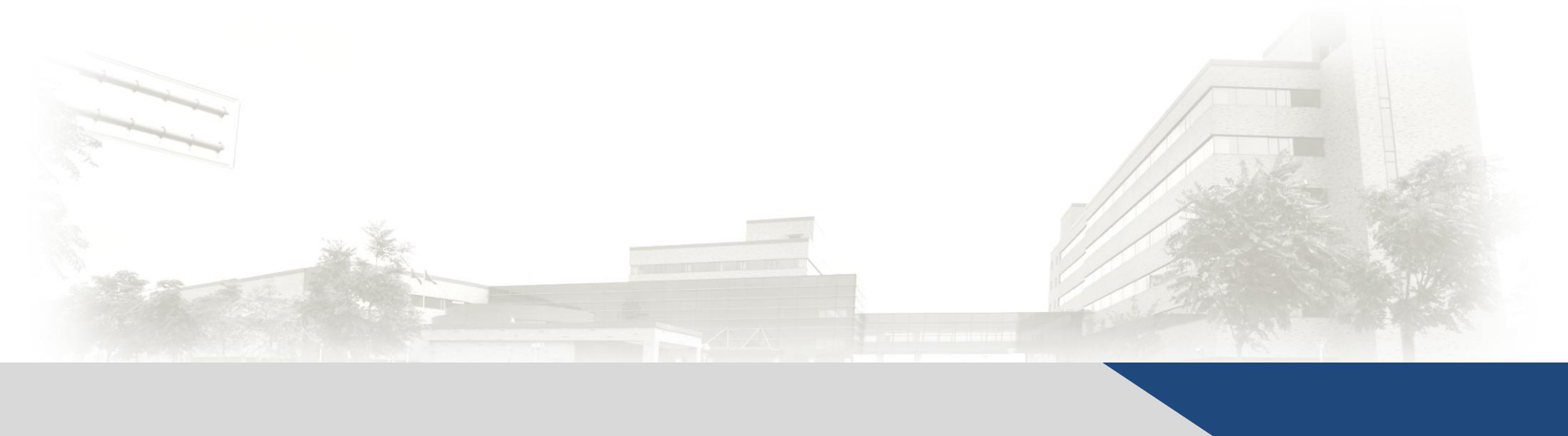
对杆天线校准来说：

去掉拉杆，通过连接到基座的**10pF**电容向天线匹配网络施加信号，观察测量接收机的读数，误差应在**3dB**以内。



## 3. 对测量系统的校准:

采用收发天线的模式，在每种天线的最高使用频率上检查接收到信号的大小是否适当。



- 200MHz以下，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；
- 实际如何操作？垂直方向上如何解决？

# RS101——需要确定的系数



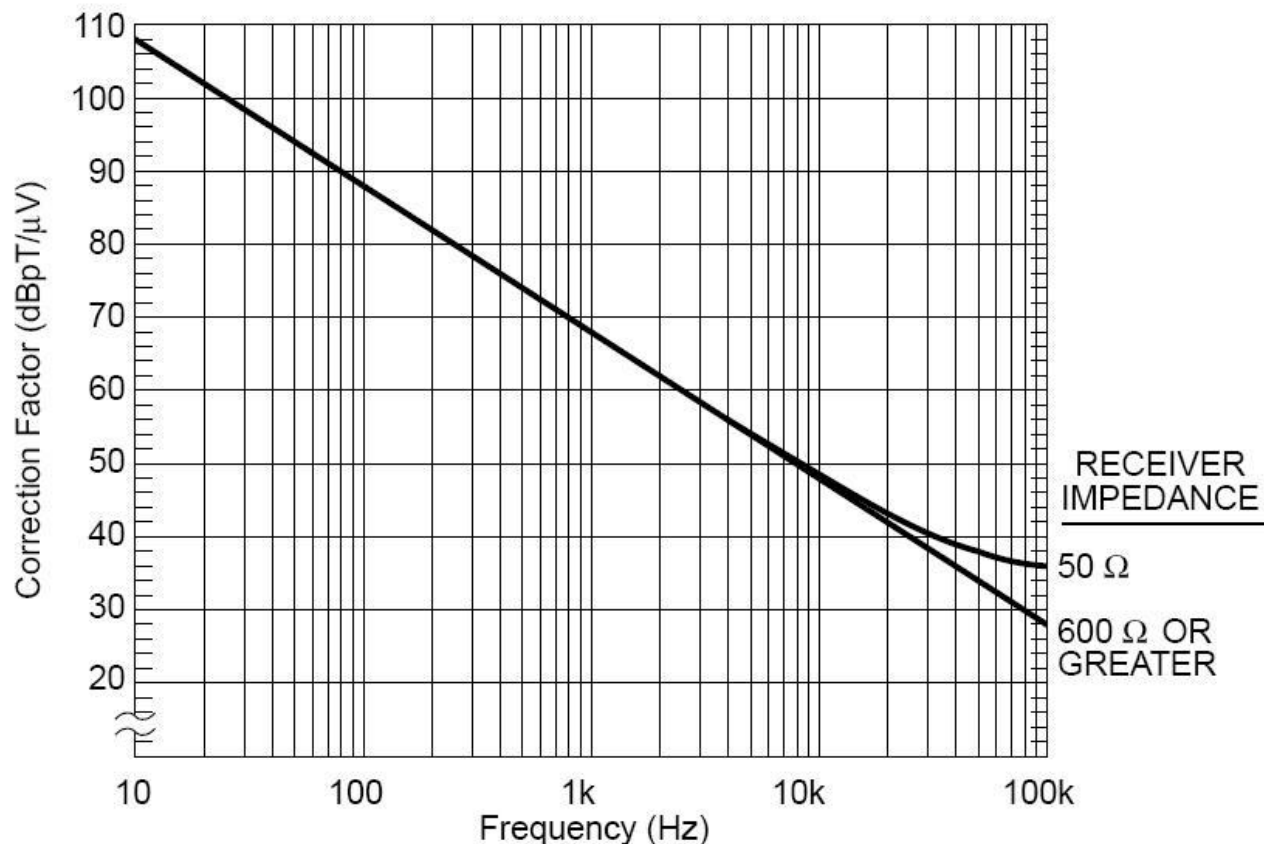
- 1. 电流探头的传输阻抗;
- 2. 发射环天线上电流与磁通密度的关系, 在 50cm处产生的磁通密度为 $9.5 \times 10^7 \text{pT/A}$ ;



# RS101——需要确定的系数

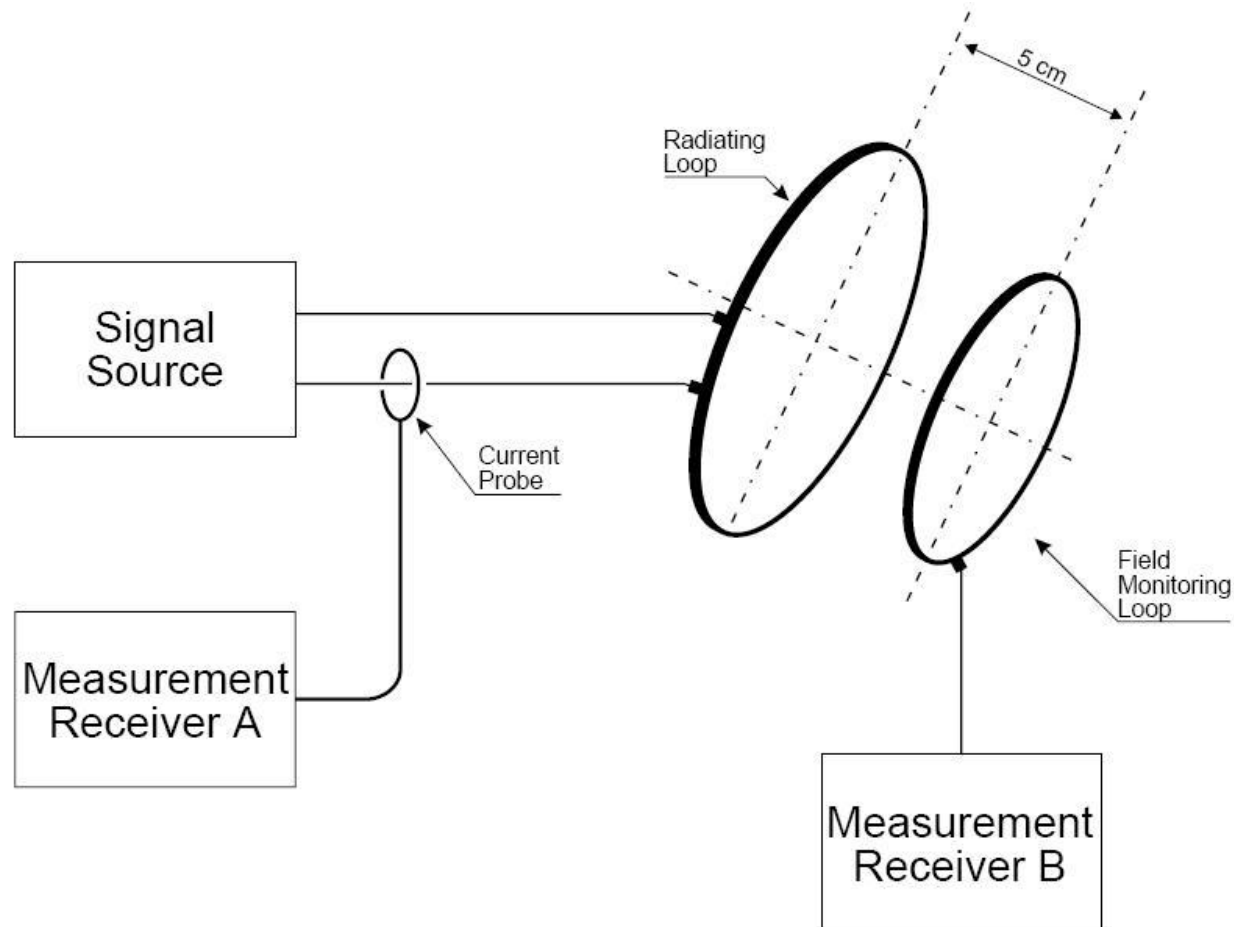


- 3. 接收环天线的系数C，反应的是电压与磁通密度的关系，有如下公式： $B=M+C$ ;

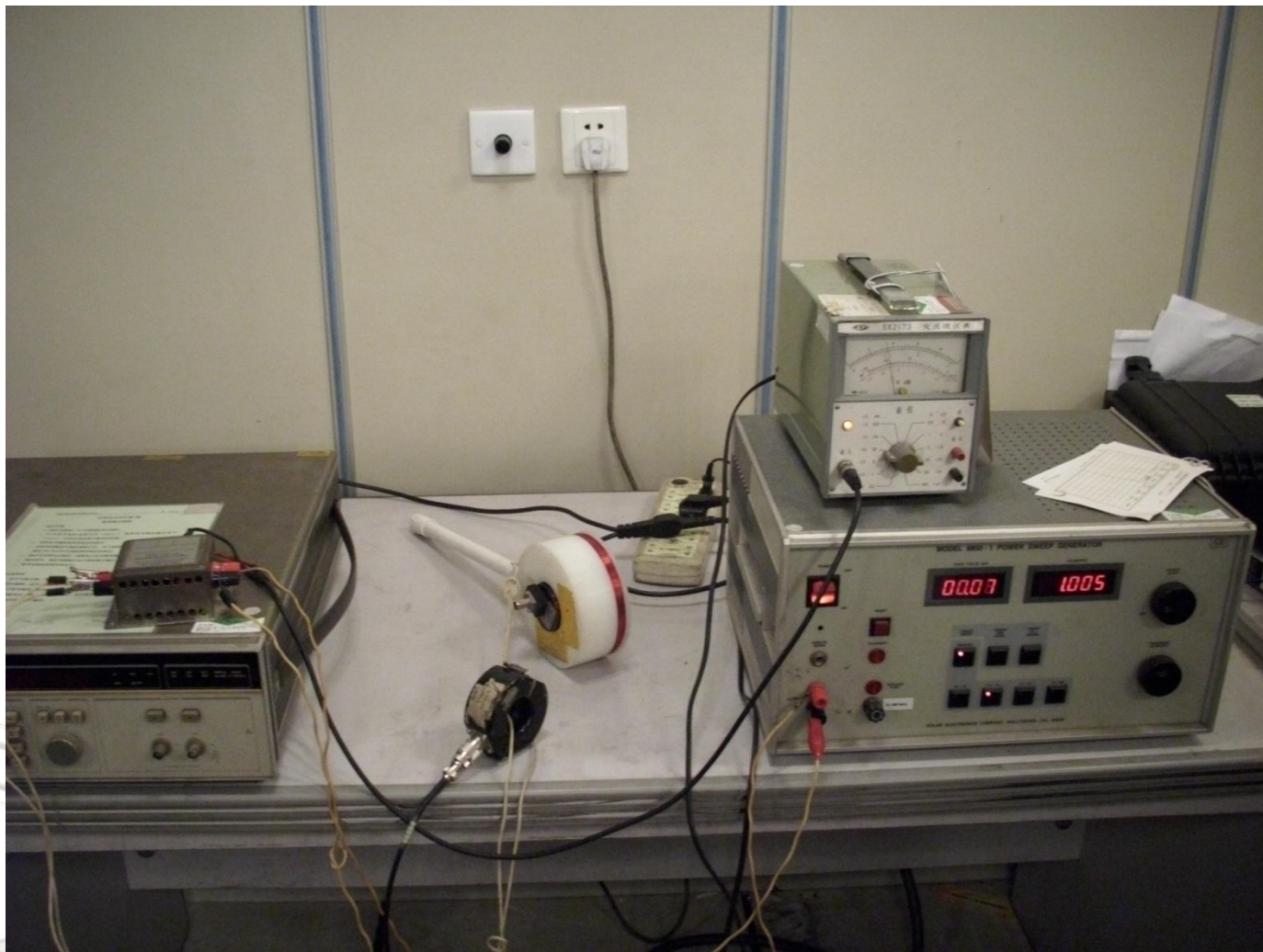




# RS101——校准框图



# RS101——校准布置照片



# RS101——校准过程



- 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 $\mu$ V $\pm$ 3dB**范围内。



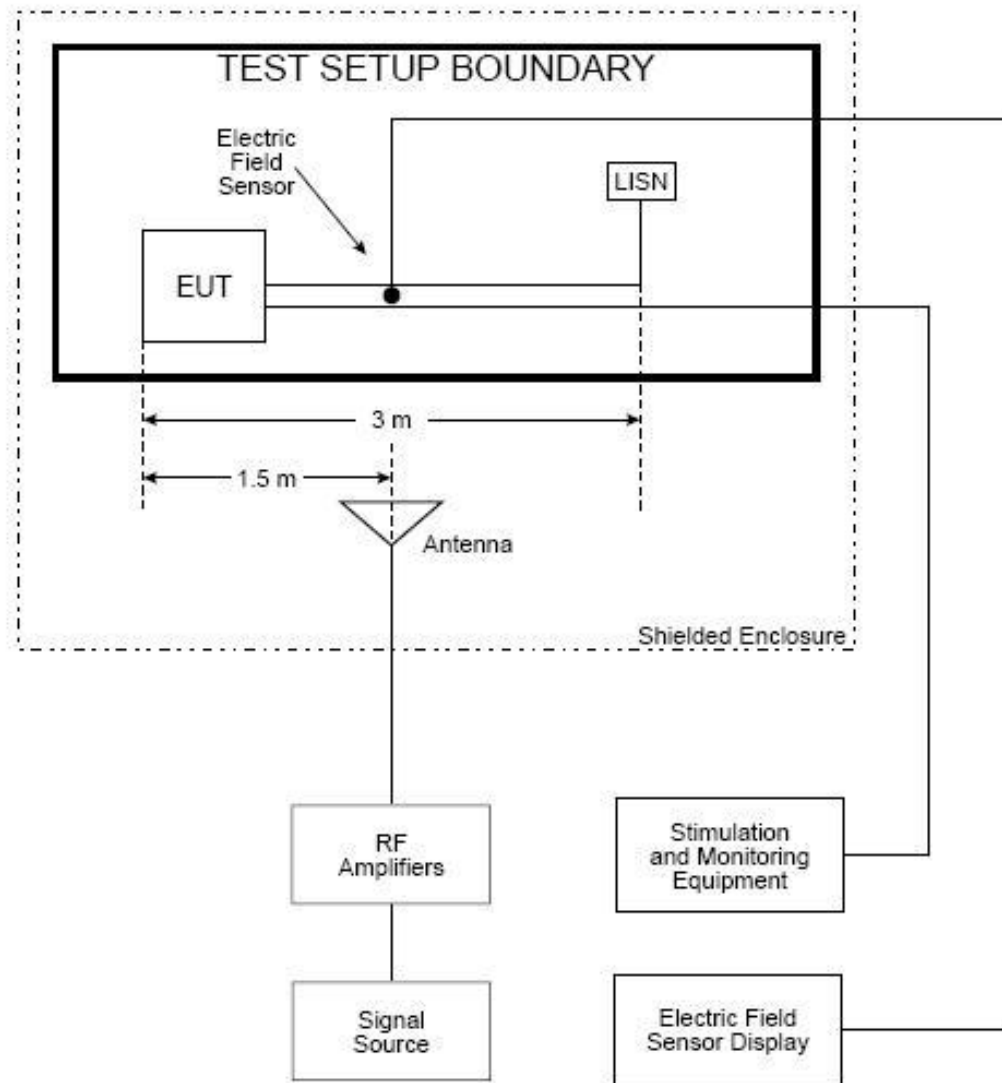
# RS101——测试可操作性问题



- 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。



# RS103——校准及测试框图





# 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；

# 谢谢!

