

# 疏散扩声系统 阻抗测试

使用 MR-PRO 信号发生器



紧急情况下疏散扩声系统的良好运行能够挽救生命。因此，正确安装、验证和维护这些系统非常重要。

疏散系统的主要功能就是在紧急情况下播放清晰的播报，主要在机场，火车站，会议中心或学校等场所使用。整个系统应该定期验证以确保运行正常。



MR-PRO 信号发生器

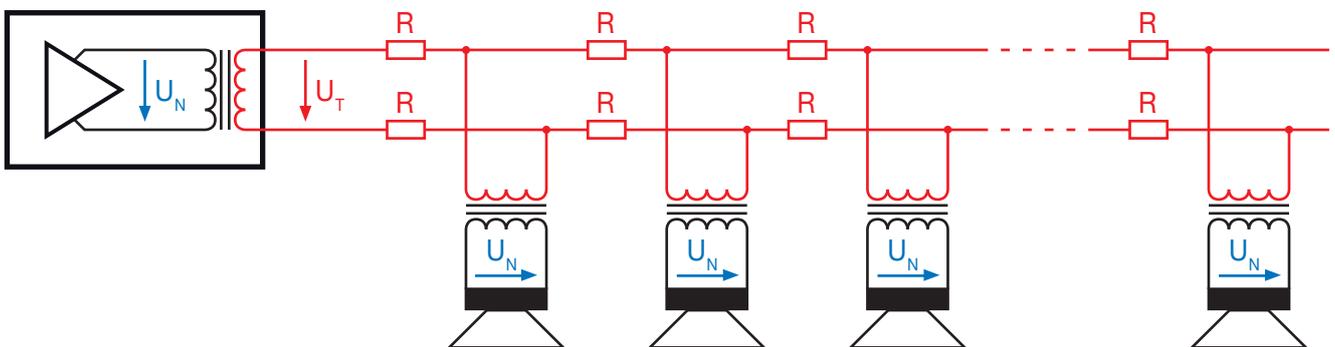
## 目录

简介	2	测试流程	6
— 优缺点	3	— 应用	6
— 系统验证	3	— 测量保护	6
技术	3	— 流程	6
— 相位	3	— 结果显示	7
— 复阻抗	3	— 测量结果理解	7
— 功率, 功率因数	4	范例	8
— 音量控制	4	测量结果	8
测量技术	5	常问问题	9
— 频率相关性	5		
— 速查表	5		

## 简介

疏散扩声系统通常包含一支麦克风和一台驱动一系列扬声器的功放(多个扬声器并联)。线路阻抗造成的电压损耗可能会影响系统性能,尤其在长距离传输情况下。

因此,此类系统(还称作“分布式音响系统”)一般都有一个可以将功放输出电压  $U_N$  转换为更高电压  $U_T$  (如 70.7 V, 100 V 或 140 V) 的变压器,接着,每支扬声器上的变压器再将电压降回标准电压  $U_N$ 。因为电压  $U_T$  较大,传输线路中的电流会降低,从而显著降低功率损失  $P_V = I^2 * R$ 。



疏散扩声系统基本架构

## 优缺点

分布式音响系统有一系列优势：

- 同时控制众多扬声器 (也能防止负载不同)
- 功率损耗更低
- 可长距离传输

当然它也有缺点：

- 使用变压器增加成本
- 安装维护时需做好电压防护

## 系统验证

完整的系统验证既要测量电学参数 (如系统阻抗, 功率消耗等), 也要测量声学特性 (如声压级, 语言清晰度等)。

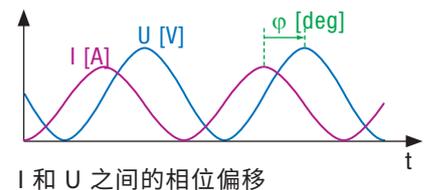
注意 本应用手册仅讨论电学性能的测试。

## 技术细节

### 相位

在交流系统中, 电流  $I$  和电压  $U$  之间存在相位差。

造成这一相位差的原因很多, 比如扬声器电感, 它对阻抗和功率都有影响。

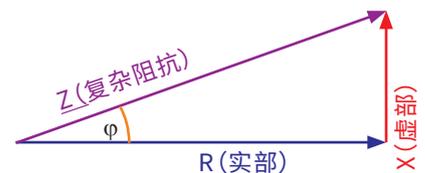


I 和 U 之间的相位偏移

### 复阻抗

整个系统或单个扬声器的阻抗测量对于检测安装缺陷等问题非常重要。这时就需要用到复阻抗  $Z$ , 如图所示, 它由实阻抗  $R$  和虚阻抗  $X$  两部分组成：

$$Z = R + jX$$



复阻抗

实践中, 使用复阻抗的绝对值  $|Z|$  [ $\Omega$ ], 相位  $\varphi$  [deg] 和实部  $R$  [ $\Omega$ ] 的极性图来表现三者关系更为常见：

$$R = |Z| * \cos(\varphi)$$

因此,通过阻抗  $|Z|$  的绝对值和相位  $\varphi$  就能计算阻抗  $R$ 。

除此之外,相位测量结果还可以用来确认负载类型:

$\varphi > 0 \rightarrow$  电感

$\varphi < 0 \rightarrow$  电容

### 功率, 功率因数

一般情况下,功率由电流  $I$  [A] 和电压  $U$  [V] 相乘获得。但之前已经提过,交流系统必须考虑相位差  $\varphi$  造成的影响。实践中,功率分为三个部分:视在功率  $S$  [VA],有功功率  $P$  [W] 和无功功率  $Q$  [var]:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

从右图可以看出,只有视在功率和有功功率 ( $S$  和  $P$ ) 的等效值为正,而无功功率等效值为零 ( $Q = 0$ )。和复阻抗类似,我们可以用以下公式表示三种功率的关系:

$$S = P + jQ$$

视在功率是最重要的参数之一,比如它决定了功放所需输出的功率。所以我们必须测量视在功率以获得待测体 (DUT) 的相关特性。实践中除了视在功率,还会测量功率因数  $\lambda$ 。这个参数描述了视在功率和有功功率之间的关系:

$$\lambda = |P| / S$$

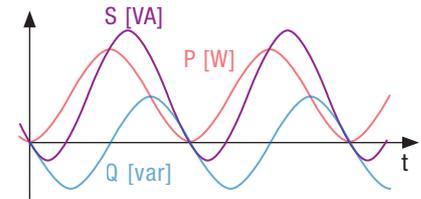
使用正弦波作为测试信号时,功率因数  $\lambda$  可以通过相位差  $\varphi$  计算:

$$\lambda = \cos(\varphi)$$

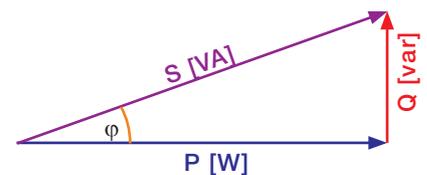
这也直观说明功率因数  $\lambda$  和相位差  $\varphi$  互相关联。

### 音量控制

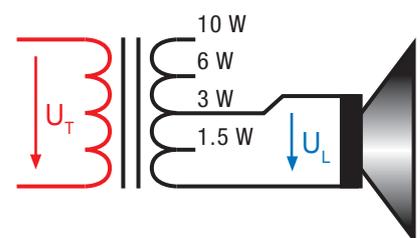
疏散扩声系统还必须考虑扬声器的音量控制。尽管功放的输出功率覆盖了整个线路,每支扬声器还是应该可以单独调节。因此,扬声器的变压器通常提供多个“分压接头”(连接点),这样就能按需调节扬声器电压  $U_L$  (即功率),使其不仅能工作在额定电压  $U_N$  下。



视在功率,有功功率,无功功率



视在功率  $S$  的矢量表示



变压器分压接头实现音量控制

## 测量技术

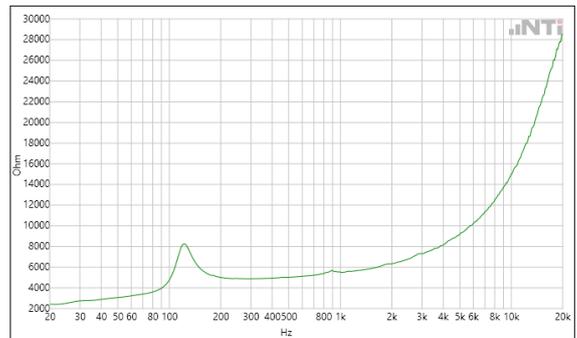
### 频率相关性

无论测量阻抗还是功率, 都要考虑其和测试信号频率的关系。

右图简要展示了一只 100 V 扬声器的阻抗响应。

这种关系会对测量带来两个影响:

1. 测量需要使用交流信号发生器和电压表;
2. 测量结果和频率对应。



100 V 扬声器的阻抗响应

### 速查表

系统电压 U, 功放输出功率 P 和系统阻抗 Z 三者之间的关系如下:

$$U^2 = Z * P$$

这种关系可以直接列成表格:

系统电压				
功率	25 V	70.7 V	100 V	140 V
1 W	625 Ω	5 kΩ	10 kΩ	19.6 kΩ
2 W	312.5 Ω	2.5 kΩ	5 kΩ	9.8 kΩ
4 W	156.3 Ω	1.25 kΩ	2.5 kΩ	4.9 kΩ
10 W	62.5 Ω	500 Ω	1 kΩ	2 kΩ
25 W	25 Ω	200 Ω	400 Ω	784 Ω
75 W	8.3 Ω	66.6 Ω	133.3 Ω	261.3 Ω
150 W	4.2 Ω	33.3 Ω	66.7 Ω	130.7 Ω
500 W	1.3 Ω	10 Ω	20 Ω	39.2 Ω

Z [W] 和 P [W] 与 U [V] 的关系

这张表可从多个角度理解：

1. 有了系统电压 (比如 100 V)，结合功放输出功率 (如 25 W)，就可直接查出所需系统阻抗 (400  $\Omega$ )
2. 或者知道了系统电压 (如 70.7 V) 和系统阻抗 (如 33  $\Omega$ )，就可直接查到所需的最低功率 (150 W)。
3. 如果系统电压较低 (如 25 V)，而功放输出功率很高 (比如大于 100 W)，系统阻抗将降低。这时线路阻抗在整个阻抗中的占比将很大，造成更多的功率损失。

## 测试流程

### 应用

疏散扩声系统的验证通常发生在系统安装完成并投入使用之后。定期的检查主要涵盖以下方面：

- 整个系统与标准的一致性；
- 定期或在特定事件后对比系统前后的性能变化；
- 单个模块或元件的状态。

### 测量保护

测试超过 50 V 电压的交流电必须提前做好防护措施。也就是说：

1. 进行任何测量前都必须断开功放；
2. 使用专为此应用设计的仪器；
3. MR-PRO 提供额外的电压防护适配器，防止电压过大或短路。这样既保护了仪器也保护了使用者。

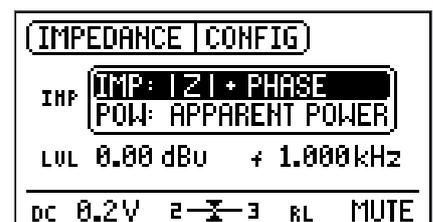


MR-PRO 的 70/100 V 保护适配器

### 流程

典型的电声系统验证流程如下：

1. 关闭功放并断开其输出；
2. 为 MR-PRO 安装 70/100 V 保护适配器并连接到扬声器线路；
3. 打开 MR-PRO，静音并选择“阻抗测量 (IMPEDANCE)”功能；



选择测量功能

4. 进入“阻抗 (IMP)”或“功率 (POW)”模式。可能还需要选择实际的系统电压；
5. 调节测试信号电平和频率 (推荐: -20 dBu / 1 kHz)；
6. 再按静音键解除静音, 如有需要, 调高或调低 MR-PRO 电平；
7. 查看数值结果和图形信息 (-> 见下节)；
8. 将光标转动到“RL”处查看 2 脚和 3 脚之间的阻抗；

提示 您可以手动记录测试结果或截屏<sup>1)</sup>

### 测量结果显示

MR-PRO 将显示测量结果并以数值和图表形式显示更多信息。

#### a) “阻抗”测量结果

- 复阻抗 [ $\Omega$ ]
- 相位 [deg]

#### b) “功率”测量结果

- 视在功率 [VA]
- 系统电压 [V] (由用户设置)
- 功率因数

#### c) 通用信息

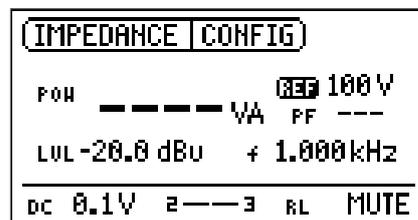
- 负载类型: 感抗或容抗
- 测试信号电平 (可调节)
- 测试信号频率 (可调节)
- 测得直流电压
- 信号对称性
- 负载阻抗

### 测量结果理解

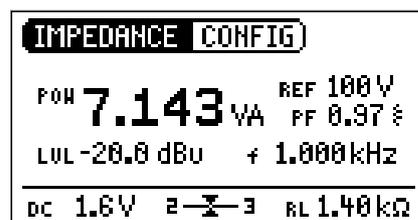
阻抗, 相位和功率测量结果既可以定量也可以定性分析。具体结果的理解需要根据测量应用。

- 与标定值相比有偏差 -> 结果在框限内吗?

<sup>1)</sup> 在 MR-PRO 根目录创建一个名为“screen”的文件夹, 在仪器上同时按下开机键和确认键即可截屏。



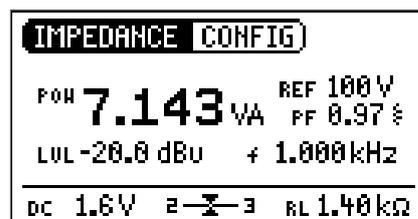
设置系统电压



测量范例



MR-PRO “阻抗”测量结果



MR-PRO “功率”测量结果

- 与上一次测量结果不同 -> 待测系统在这段时间内有什么改动吗?
- 负载类型 -> 电感 ( $\varphi > 0$ ) 或电容 ( $\varphi < 0$ )?
- 系统功率消耗 -> 兼容功放?

建议在系统安装前对每个部件先单独进行测量验证。

安装完成后, 应该测量完整系统特性并正确记录结果, 以便后期验证或除错时有据可循。

### 应用范例: 功率/阻抗测量

下图是一个扬声器线路的验证示例。

- 功放连接已断开;
- MR-PRO 已连接, 并连接了 70/100 V 保护适配器;
- 三支扬声器的额定阻抗为 6.8 k $\Omega$ , 额定功率为 8 W @ 1 kHz;
- 计算得出扬声器线路的功率为  $3 \times 8 \text{ W} = 24 \text{ W}$ , 阻抗为 2.27 k $\Omega$ 。

### 测量结果:

- 在“功率”模式下, MR-PRO 测得总功率为 23.15 VA, 和理论上三支扬声器的总功率接近;
- 在“阻抗”模式下, 测量结果为 2.26 k $\Omega$ , 约为扬声器阻抗的 1/3;
- 因此可以得出结论, 三支扬声器运行正常, 系统安装正确。



MR-PRO 阻抗/功率测量范例

## 常问问题

*问:可以记录扬声器线路的阻抗响应吗?*

答:可以!比如,通过 MR-PRO 记录一系列频率下的阻抗值,再将其作成曲线,或者直接通过我们的 FX100 音频分析仪测量阻抗曲线。

*问:MR-PRO 的阻抗测量范围是多少?*

答:从 4  $\Omega$  至 50 k $\Omega$

*问:缆线的质量重要吗?*

答:更好的缆线(比如阻抗更小)造成的功率损失更小。

*问:怎样确定满足功率要求的缆线粗细(横截面积)?*

答:通过电流,有了系统电压和功率,可以精确计算电流,从而确定缆线粗细。

*问:怎样测量疏散扩声系统的整体功率?*

答:直接使用 MR-PRO。此外,如果所有扬声器阻抗都相同,还可以测量单个扬声器功率 PS,再计算总功率 PG:PG = PS x 扬声器数量

*问:功放需要输出多大功率?*

答:推荐功放输出功率比计算出的系统功率高 10% 至 20%,留下足够的余量。

*问:疏散扩声系统一般需要多少扬声器?*

答:这取决于扩声所需覆盖的面积和环境特性(背景噪声,反射声等)。总目标是让整个区域获得均匀的声压级分布。所以更多的扬声器以较低声压级工作比少数扬声器工作在大声压级更好。

*问:我的扬声器分压接头在变压器输入端(主)而不是输出端(从) - 这有什么区别吗?*

答:没有,两种设计是一样的。