

公司简介

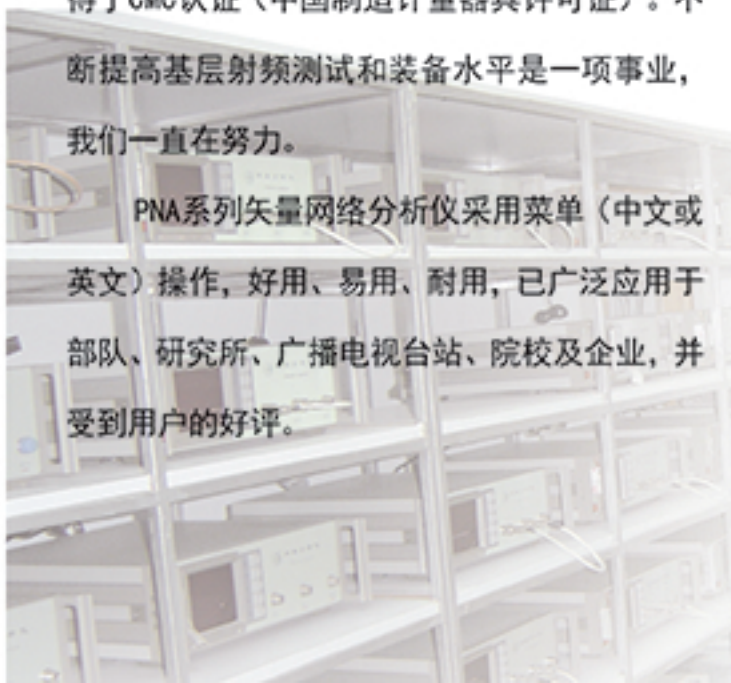
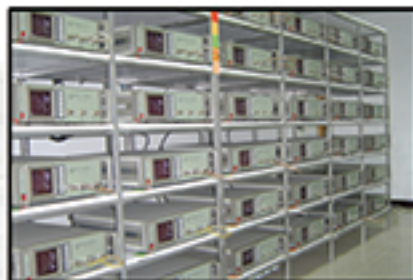
Company Profile

Popular Portable Phasor Network Analyzer

南京普纳科技设备有限公司成立于1995年，为一高科技实体，研制与批量生产普及型矢量网络分析仪及相关系列产品。PNA为公司注册商标，普纳寓意于“PNA”的谐音，“PNA”为 Popular Portable Phasor Network Analyzer的缩写。

矢量网络分析仪被誉为仪器之王，是视频到微波段内的最有效的测试仪器，其测试功能十分强大。它最早出现在20世纪60年代，80年代基本成熟。对于许多基层射频工作者，想拥有一台矢量网络分析仪是一种奢望。集数十年雷达，天馈线研制及射频测试经验，普纳公司另辟蹊径，成功开发了具有自主知识产权，功能齐全性能稳定的，测试记录一体化的普及型矢量网络分析仪。公司通过了ISO9001-2000认证，获得了CMC认证（中国制造计量器具许可证）。不断提高基层射频测试和装备水平是一项事业，我们一直在努力。

PNA系列矢量网络分析仪采用菜单（中文或英文）操作，好用、易用、耐用，已广泛应用于部队、研究所、广播电视台站、院校及企业，并受到用户的好评。



前 言

无线电发送设备的天线系统一般都应包括两部分——天线及馈电部分，统称为天馈系统。平时我们提及的 50Ω 、 75Ω ——系统是指主馈线的特性阻抗，电路中的发射机输出阻抗与主馈线的输入阻抗，主馈线的输出阻抗与天线的输入阻抗应尽量做到处处连续，不连续处会产生反射波。由此可见，天线系统的工作特性不仅取决于天线性能，而且还与馈电系统以及二者之间的有效耦合、匹配状态有关。

天馈系统的匹配包含两个方面：一是平衡不平衡的转换（简称平衡变换），二是阻抗变换。当对对称天线采用同轴线馈电时，就需要这种平衡变换装置，有些平衡变换装置还兼有阻抗变换作用，阻抗变换是天线与馈线阻抗匹配的重要装置。

天线的输入阻抗一般为复阻抗，少有能直接与主馈线相匹配，而是通过网络实现阻抗变换和平衡变换的。以匹配网络的结构特征来区分，则可分为集总参数网络、分布参数网络、集总参数与分布参数相结合的匹配网络。

中波调配网络（有称天调网络）由电抗元件（L、C）组成，其形式有 T 形、 Γ 形、 Π 形等，元件为集总参数。网络求解常用方法有解析法和 Smith 圆图图解法。解析法是通过立方程式解答案或用计算机软件求解。Smith 圆图图解则是运用传输线基础知识，通过分布电路分析技术实现集总参数电路表示，网络的匹配元件性质、参数，匹配路径，阻抗轨迹等都很清晰、准确。

短波频段的匹配及平衡变换网络则是集总参数与分布参数相结合的形式，典型的就算传输线变压器了。集总参数变压器与分布参数传输线相结合，绕组中的分布电容和漏感都必须在工程中加以考虑。平衡及阻抗变换装置在短波发射传输电路中，有的安装在主馈线（双线）的输入端，有的安装在主馈线（同轴线）的输出端，其目的就是实现对水平对称天线的平衡馈电。对平衡器的技术考虑，更多关注是它的共模抑制比（CMMR），也就是差分端对“地”平衡程度。

平衡器的类型较多，有些也不容易读懂，详细阐述请阅胡树豪先生于 2003 年由电子工业出版社出版的《实用射频技术》一书。该书首次对平衡器的类型进行归纳分类，并对其作用机理进行了理论上推导和描述。

目 录

中波部分

- 基本电路模型 (P1-P2)
- 中波天馈系统射频测试设备与测试内容 (P3-P6)
- 天线输入阻抗及传输线匹配 (P7-P11)
- L、C 双元件阻抗匹配过程示例 (P12)
- L、C 双元件用于中波网络匹配操作步骤 (P13-P14)
- 三元件匹配中波网络 (P15-P18)
- 干扰环境下中波天馈系统射频测试 (P19-P20)

短波部分

- 水平对称振子天线 (P21)
- 短波水平天线与架高 (P22)
- 镜像分析方法简介 (P23)
- 短波水平天线阵 (P24)
- 水平对称振子天线及同相水平天线阵的馈电 (P25)
- 短波天馈系统射频测试 (P26)

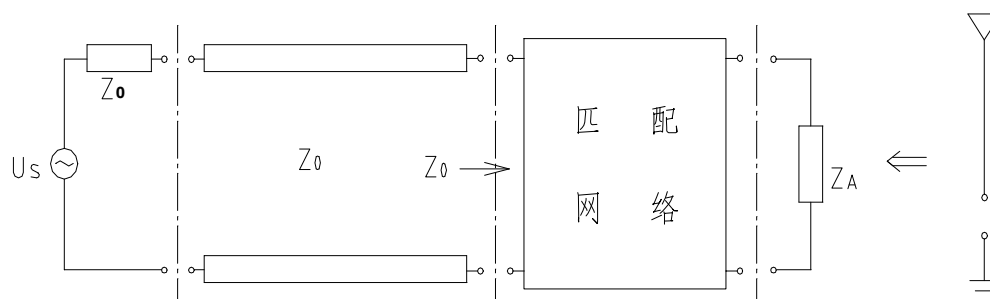
- 驻波比、回损与反射系数对照表 (P27)
回损、驻波比与反射系数对照表 (P27)
- 功率、dBm 与 50Ω 线上电压对照表 (P28)

中波部分

中波天馈系统射频测试

关键词： 阻抗 匹配

一、基本电路模型



●传输线匹配包括源阻抗匹配，负载阻抗匹配和共轭匹配，现在讨论的是负载阻抗匹配，上述电路中，中波天线即为“负载”。

●一般情况下天线的输入阻抗不等于馈线的特性阻抗，工程上是通过匹配网络，将天线输入阻抗变换为馈线的特性阻抗(Z_0)。

●有关特性阻抗(Z_0)，输入阻抗(Z_{in})，反射系数(r)，驻波系数等一系列有关参数及表达式，请阅《PNA 系列矢量网络分析仪用户手册》及电子工业出版社出版的《实用射频技术》一书。

二、中波天馈系统射频测试有关内容

1、反射测试 —— 天线输入阻抗、网络匹配、馈线特性阻抗、L.C 元件参数、电长度……；

2、传输测试 —— 阻塞、陷波、滤波网络幅频特性，衰减、隔离、增益、相移……；

- 3、时域故障定位——同轴馈线故障定位、测电长度；
- 4、干扰环境下的中波天馈系统抗干扰测试。

三、传输线的阻抗匹配（三种）

最基本的匹配——负载阻抗匹配（确保没有从负载方向来的反射波）

四、中波天线输入阻抗的匹配方法之一 Smith 圆图图解法（通过分布电路分析技术，实现集总电路参数表示是很实用的）

1. 工程上采用双元件匹配网络的优点
 - a. 以最低成本和最可靠的方法实现系统要求；
 - b. 不需复杂的计算，省时；
 - c. 通过 Smith 圆图观察到匹配（变换）过程，体会到每个电路元件对特定匹配状态的贡献；
 - d. 元件类型与参数方面任何错误都可在 Smith 圆图上反映出来，易于调整、验证。
2. 双元件（L，C）的两大类八种组合
3. Smith 圆图图解步骤

在某频率下天线输入阻抗（导纳）实际值→归一化处理→确定圆图上阻抗（导纳）点的位置→选择匹配路径、元件类型及其参数。
4. Smith 圆图图解 L.C 双元件网络匹配点滴
 - a. 匹配网络的用途就是实现阻抗变换，就是将给定的阻抗变换成其他适合的阻抗。
 - b. 电抗元件与复阻抗串联，阻抗圆图上相应的阻抗点沿等电阻圆移动；电抗元件与复阻抗并联，导纳圆图上相应的导纳点沿等电导圆移动。
 - c. 选择匹配路径时注意：复阻抗的实部大于 Z_0 （实部）先并后串；复阻抗的实部小于 Z_0 （实部）先串后并。
 - d. 选择匹配元件类型（L.C）时会发现匹配元件类型有时不是唯一的。

PNA 矢量网络分析仪

测 试 功 能

频率范围：0.001-6000MHz，仪器按频段和测试端口分为 14 种型号
(用于中波测试型号为 PNA3628DP，频率范围为 0.001-120MHz)

一、反射测试

包括：测驻波、回损、阻抗、反射相位、电长度、具有 Smith 圆图测试功能、可选介电常数 ϵ 测试功能。

二、传输测试

包括：测幅频特性、插损、相位增益、群时延，可选天线方向图测试功能。

三、时域故障位



PNA 矢量网络分析仪

测 试 附 件

附件类型主要分为：

50 Ω N 型、75 Ω N 型、SMA 型、中波段 150 Ω 、230 Ω 、短波 300 Ω 、抗干扰的各频段电桥系统。

常规配置含（每套）：

反射电桥、短路器、开路器、精密阳头负载、衰减器、双阳连接器、双阴连接器、保护接头、测试电缆。



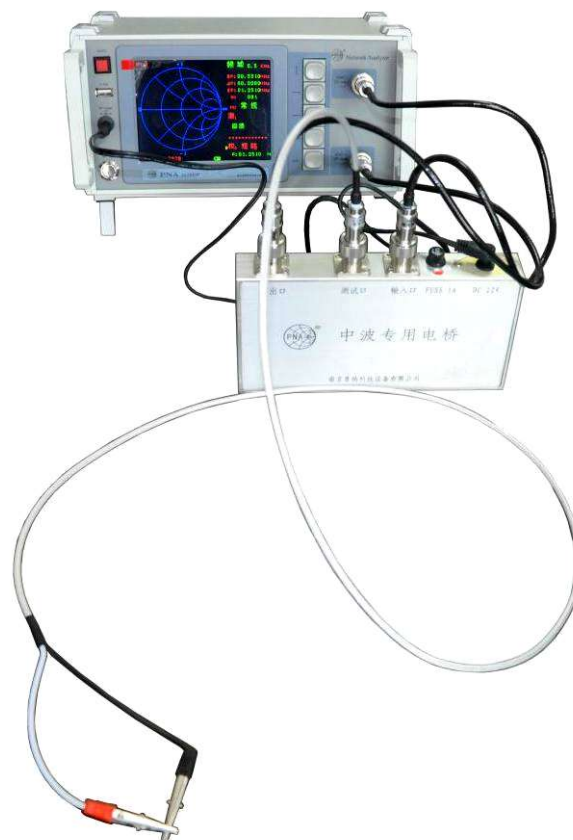
反射测试连接与校准

(适用中波频段)

校 准：校开路 校短路 校零

测试项目有：

测天线输入阻抗($R + jX$),由匹配网络入口调试天馈系统匹配, 测驻波, 测 L、C 元件电抗值, 测馈线特性阻抗(Z_0)及其电长度, 也可调试阻塞及陷波网络的谐振点。



传输测试连接与校准

(适用中波频段)

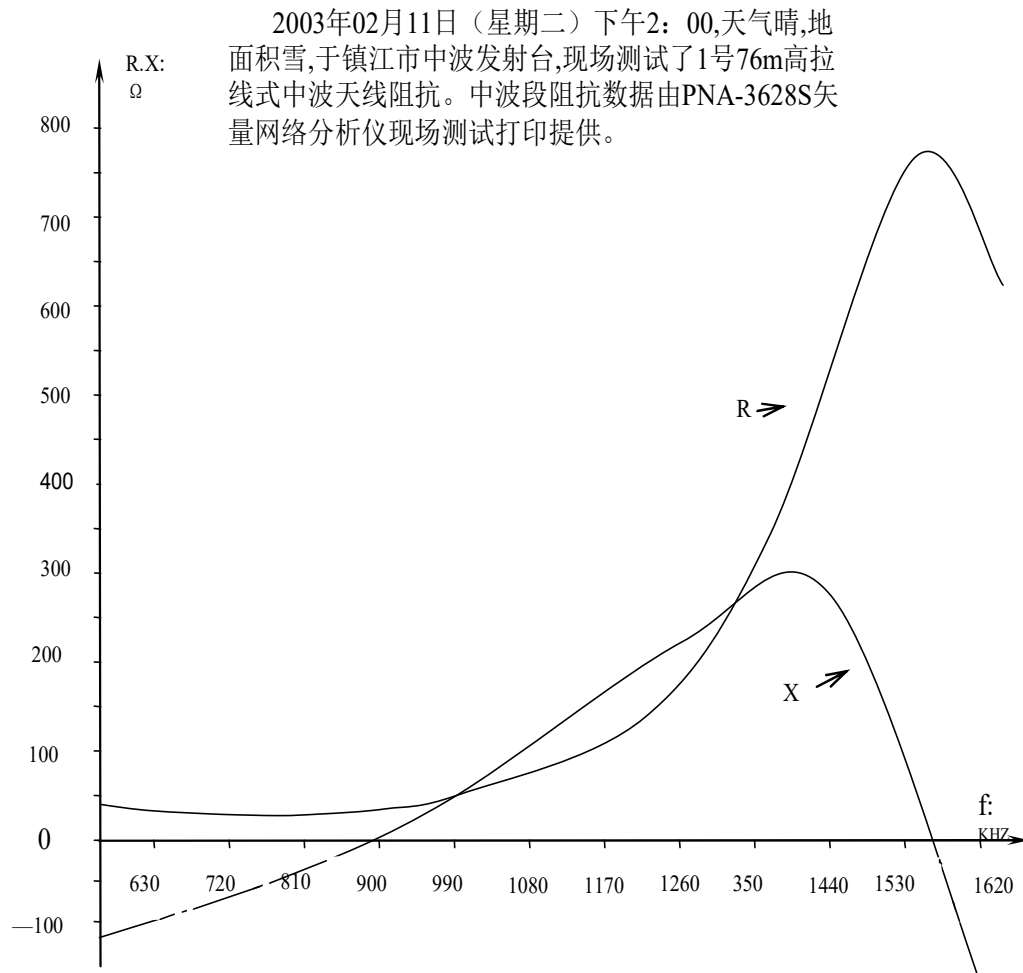
校 准： 校直通

测试项目有：

测阻塞,陷波等网络的幅频特性(隔离、阻塞、衰减、插损 dB 值),
测馈线的衰减及其电长度。



某中波天线输入阻抗

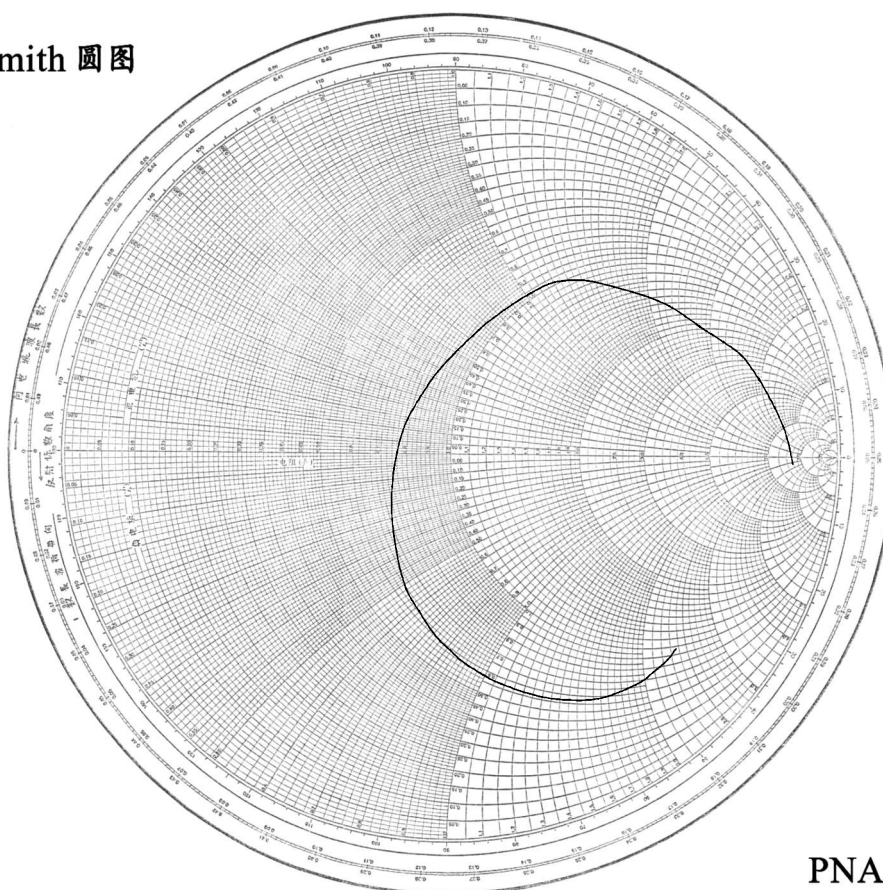


- 天线是一种传输线导引波与自由空间波之间的转换器件或换能器，是电路与空间的界面器件。
- 天线辐射的有功功率，以及吸收这一功率“视在”的辐射电阻 R ，只和天线的远区场(辐射场)有关；而辐射功率的无功分量以及和它对应的辐射电抗 X ，则和天线周围的近区场(感应场)有关。
- 天线输入阻抗曲线是这副天线的资料档案。

某中波天线输入阻抗轨迹

——未加匹配网络——

Smith 圆图

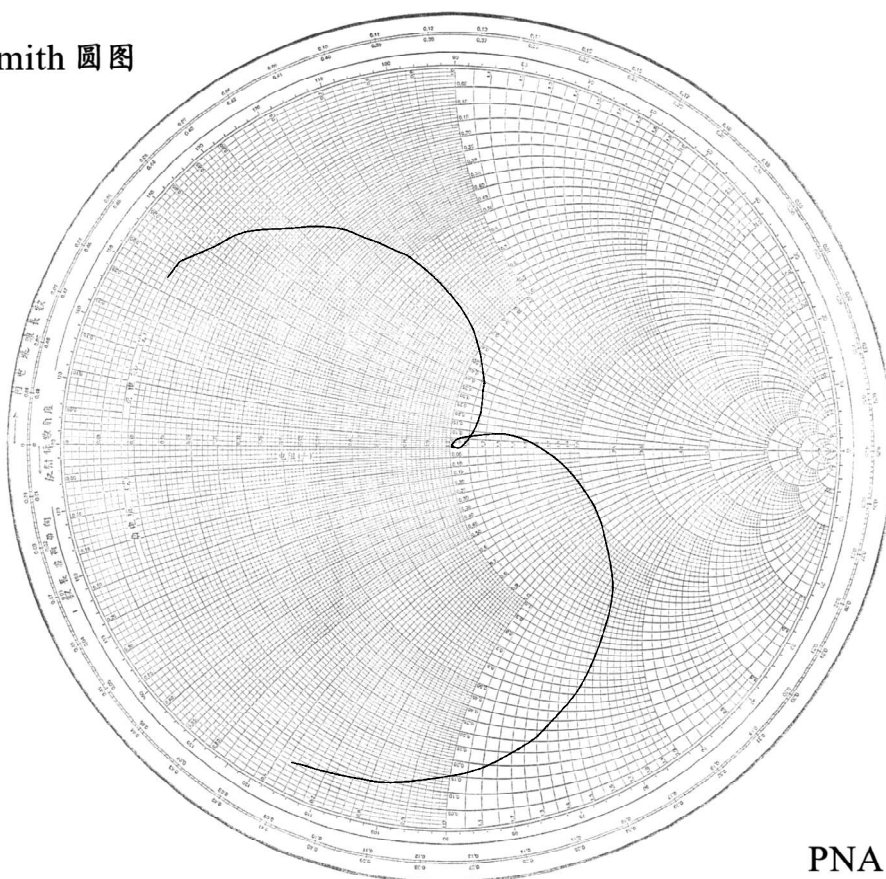


若确定了天线工作的中心频率，便知该频点天线输入阻抗的实部与虚部，经归一化后即确定了该阻抗点在圆图上的位置由此便很容易选择匹配路经和网络元件及其参数。

某中波天馈线阻抗轨迹

——由匹配网络入口测试——

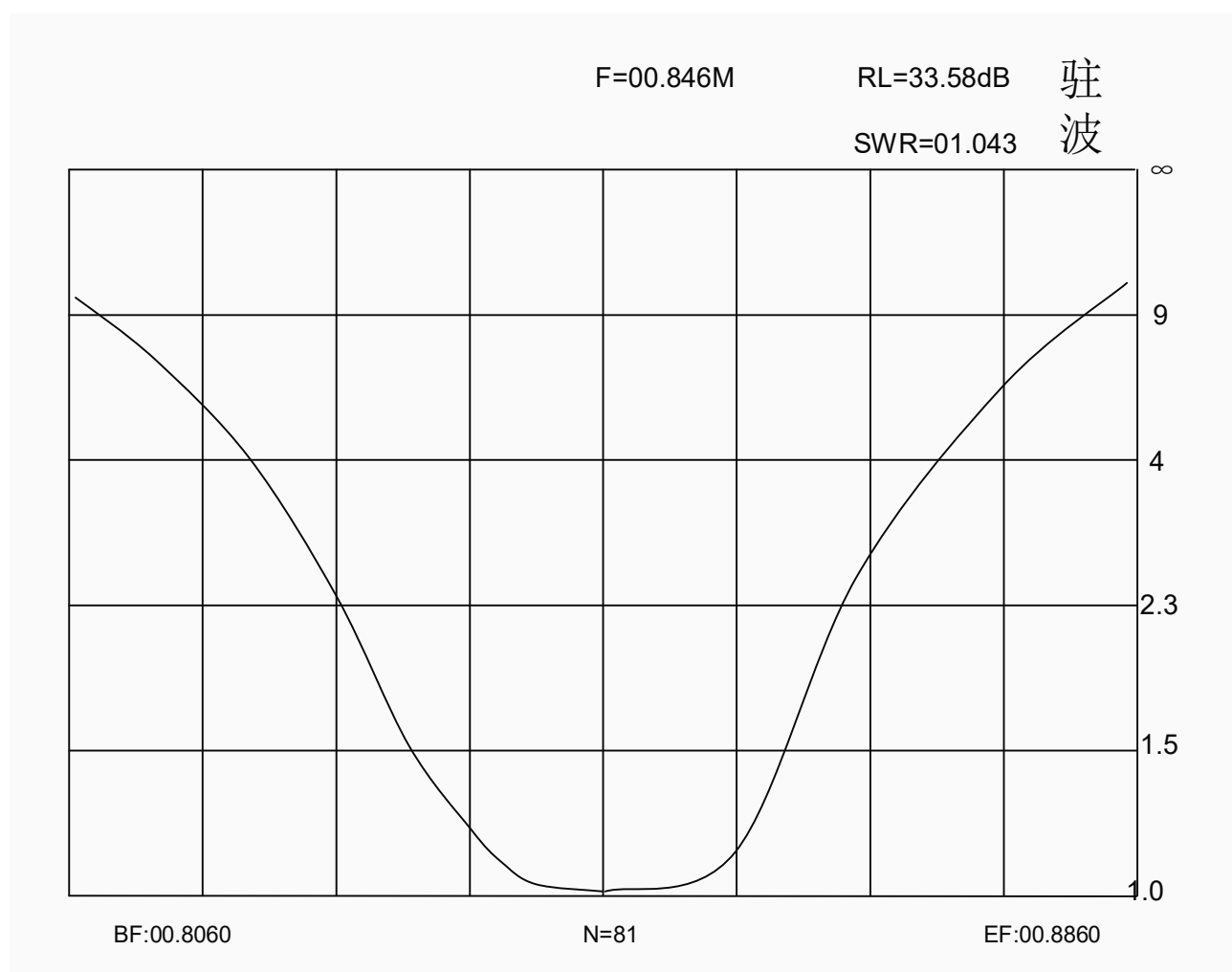
Smith 圆图



对以上天馈线的阻抗轨迹，我们关心的是匹配点附近的连续的频点，它表明天线的工作带宽和匹配状态。也可以观察到匹配的过程和每个 L、C 网络元件的贡献。

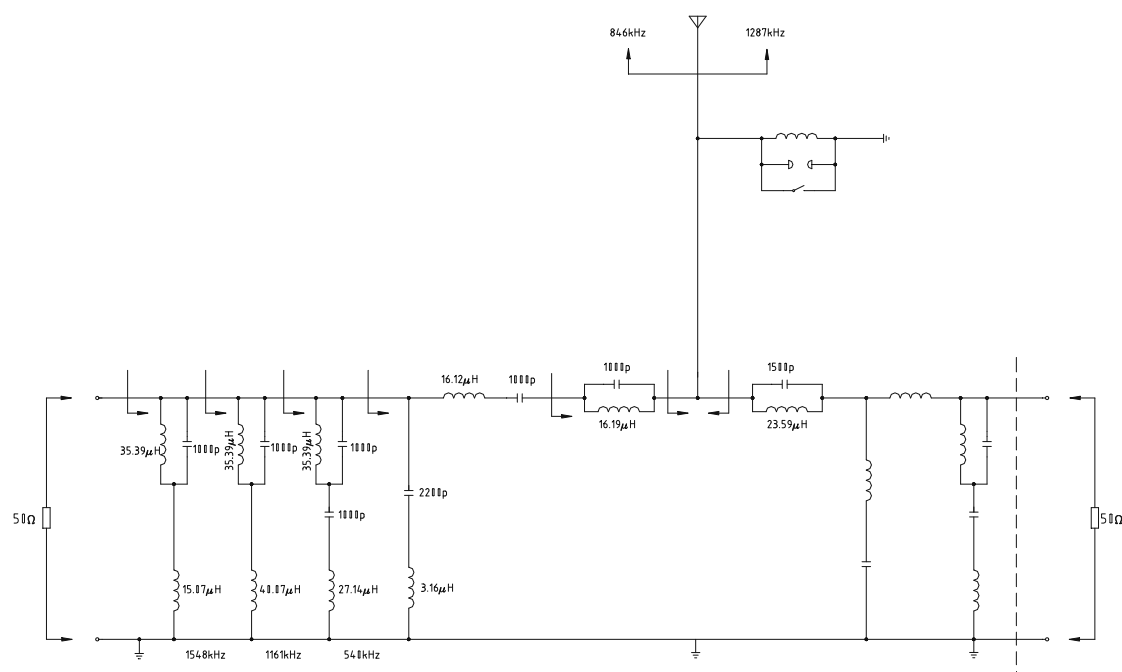
某中波天馈线驻波曲线

——由匹配网络入口测试——



从以上驻波曲线可看出，该付天馈系统的驻波与工作宽均调得较好，中心频率处的反射功率仅为万分之四。

某双频共塔中波天馈系统线路

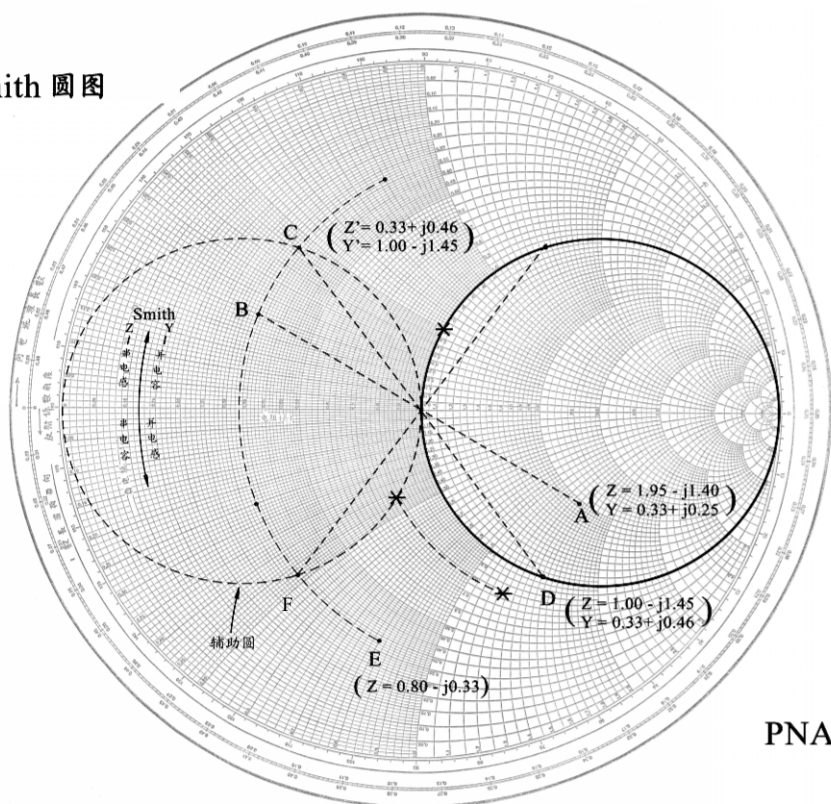


以上电路调试步骤：

1. 将阻塞网络并联的 L、C 调试在阻塞信号中心频率的谐振点上；对陷波网络,先将并联 L、C 部分调试在主路信号中心频率的谐振点上，此时并联谐振对主路信号呈高阻抗，对邻频该网络呈失谐状态而具有容抗或感抗，此时只调试与并联部分相串联的 L 或 C，使其串联谐振在邻频点上。这时整个串并联网络对干扰的邻频信号呈旁路接地而滤除，而又使主路信号不受影响。
2. 在调试好阻塞和陷波网络后，再调试匹配网络，此时阻塞、陷波网络不宜再作调整，仅对匹配网络作调试。
3. 匹配网络理应在其他网络之后，而本例恰在陷波网络之前。

L、C 双元件阻抗匹配过程示例

Smith 圆图



PNA

- 用 smith 圆图图解双元件(L、C)匹配网络，其物理概念清晰，匹配过程清楚，结果准确，避免烦琐计算。
- 匹配过程示例(由 PNA 矢量网络分析仪测试，一天线输入 $Z_{in}=97.5\Omega-j70\Omega$ ，即图中 A 点): 步骤(1)将 Z_{in} 阻抗的实部与虚部分别以 50Ω 归一化($Z_{in} \rightarrow Z$)，则 $Z=1.95-j1.40$; (2)于阻抗圆图上， $R=1.95$ 等电阻圆与 $X_c=1.40$ 等容抗曲线相交于 A 点; (3)因 A 点实部值大于 50Ω ，只能并电抗元件，并联计算需在导纳圆上进行。于是找 A 点的对称点 B，此时 B 点示值为天线的输入导纳，圆图视为导纳圆，此时并电抗元件，相应的导纳点就沿等电导圆上下移动至 C 点或 F 点(C,F 点落在辅助圆上，而该辅助圆上任何一点的对称点都会落在电阻或电导为 1 的圆上，这为后续匹配作准备); (4)若取 C 点，则 C 点的对称点为 D 点，此时又回到阻抗圆上，D 点的示值 $Z_D=1.00-j1.45$; (5)D 点示值表明， $R=50\Omega$ ， $X_c=72.50$ ，此时只要串一只 $X_L=72.50\Omega$ 的电感,D 点就沿 50Ω 等电阻圆移至匹配点。

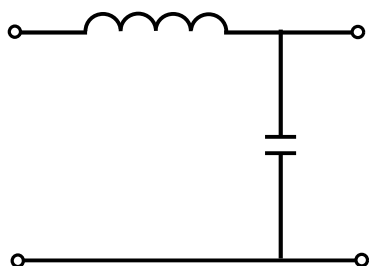
用 LC 双元件中波网络匹配操作步骤

若已测出的天线塔的输入阻抗为 $R \pm jx$ 共有 6 种 LC 组合。

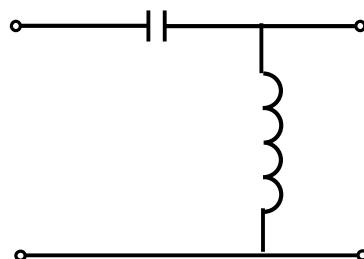
1、 $R=50\Omega$ ，只需视 X 的正负串入相应的电容或电感即可。

2、 $R > 50\Omega$ ，在圆图上阻抗点迹在 $R=50\Omega$ 的圆圈内，匹配方法是先并后串。调配时要用阻抗看。

2-1 并电容使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的下半圆上，再串电感使其匹配。



2-2 并电感使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的上半圆上，再串电容使其匹配。



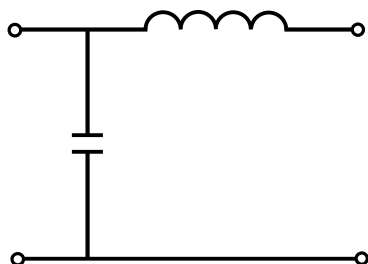
2-3 具体做法 由于先并后串，适于将圆图看作阻抗圆图。

- 测试端口（或测试电缆末端）开路时，做开路校正。短路时做短路校正。
- 接上待配负载，调节并联元件使得测试的中频点迹落在 $R=50\Omega$ 的恒阻圆上。
- 调节串联元件，使得测试的中频点迹到圆图中心即 $R=50\Omega$ 的点附近。
- 反复调节两元件，使得中频的驻波比最小并且全频带内比较匀称。

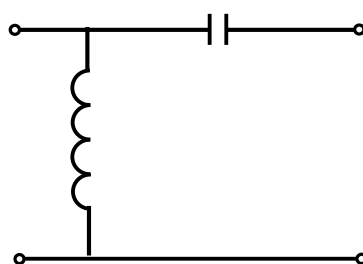
3、 $R < 50\Omega$ ，在圆图上阻抗点迹在 $R=50\Omega$ 的圆圈外，匹配方法是先串后并。且调配时要用导纳看（最后一个元件是并联）。

3-1 点迹在 $R=50\Omega$ 圆内（注意：显示值为 $R \geq 50\Omega$ ，实为 $G \geq 0.02$ 姆欧，下同）

3-1-1 串电感使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的下半圆上，再并电容使其匹配。

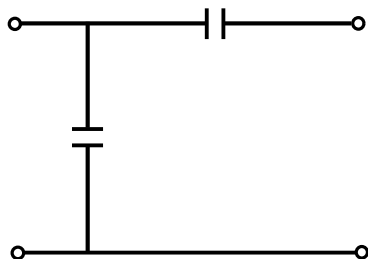


3-1-2 串电容使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的下半圆上，再并电感使其匹配。

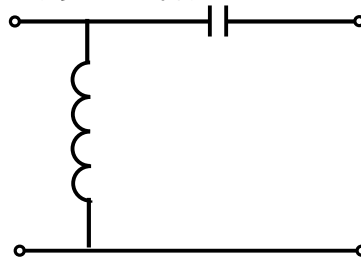


3-2 点迹在 $R=50\Omega$ 圆外， X 为负。

3-2-1 串电容使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的下半圆上，再并电容使其匹配

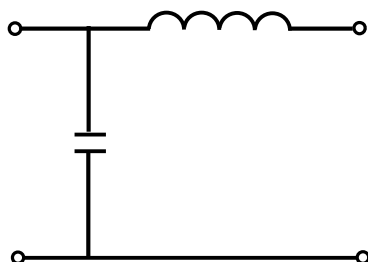


3-2-2 串电容使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的上半圆上，再并电感使其匹配
(与 3-1-2 同)

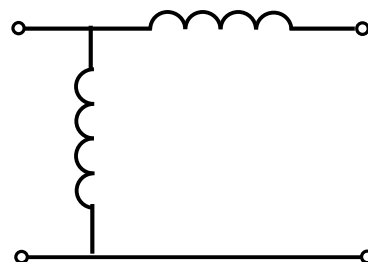


3-3 点迹在 $R=50\Omega$ 圆外， X 为正

3-3-1 串电感使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的下半圆上，再并电容使其匹配。
(与 3-1-1 同)



3-3-2 串电感使点迹落到 $R=50\Omega$ 圆的上半圆上，再并电感使其匹配。



3-3-3 具体做法 由于先串后并，适于将圆图视作导纳圆图

· 测试端口（或测试电缆末端）短路时，做开路校正。开路时做短路校正；此时显示的圆图已是导纳圆图了。

· 接上待配负载，调节串联元件使得测试的中频点迹落在 $R=50\Omega$ 的恒阻圆上（注意，实为 $G=0.02$ 的等导圆）。

· 调节并联元件，使得测试的中频点迹到圆图中心即 $R=50\Omega$ 的点附近。

· 反复调节两元件，使得中频的驻波比最小并且全频带内比较匀称。

三元件匹配中波网络

中波 π 型匹配网络的调配

1、原理图

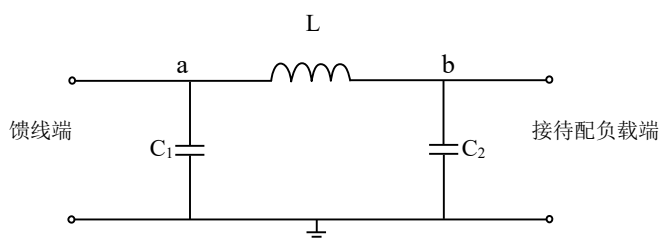


图 1-1

2、匹配思路及各元器件的作用

由于 C_1 是并联，所以圆图宜置导纳状态。

C_1 为正电纳，所以要使 C_1 起作用 (C_1 的作用：是将在 $g=1$ 的右下半圆弧上的待配参数，调整到圆心)，必须 a 点在未并 C_1 之前，待配参数在 $g=1$ 的下半圆弧上，如图 1-2 所示。

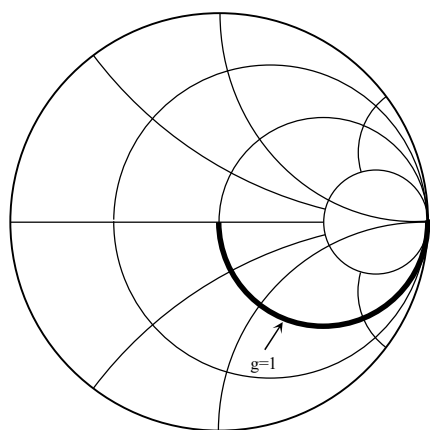


图 1-2 圆图在导纳状态

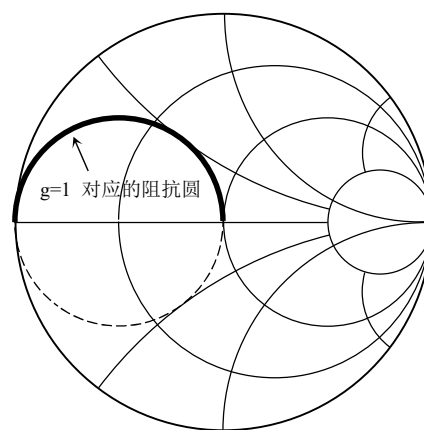


图 1-3 圆图在阻抗状态

由于 L 是串联，将圆图置阻抗状态，此时， $g=1$ 的下半圆在圆图上如图 1-3 所示，圆图呈阻抗状态，右下半圆弧变成左上半圆弧。

L 为正电抗，要到达 $g=1$ 的阻抗状态（左上半圆弧），b 点在不接 L 的情况下的阻抗必须在下半鱼形阴影内，才能串 L 到达左上半

圆弧上，如图 1-4 所示。圆图是阻抗状态，空白处是不能匹配的。

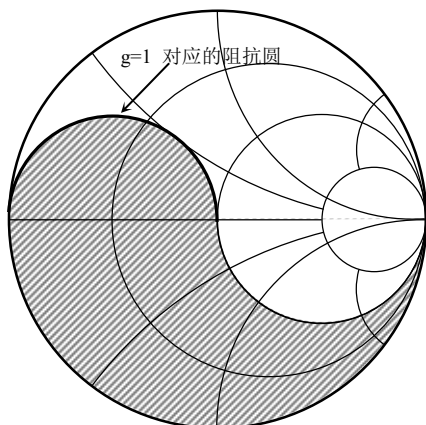


图 1-4 圆图在阻抗状态

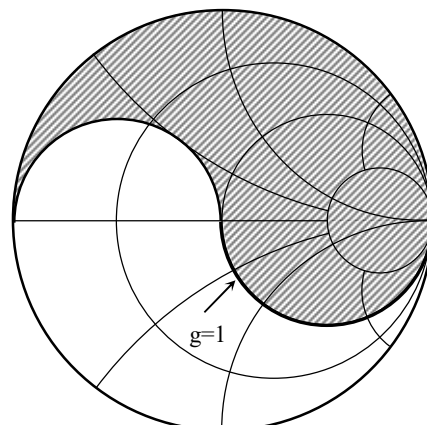


图 1-5 圆图在导纳状态

由于 C_2 是并联，宜用圆图置导纳状态看。如图 1-5。

此时，图 1-4 转换成图 1-5，下半鱼形阴影转换成上半鱼形阴影。

C_2 的作用就是将待配轨迹赶入鱼形阴影区。

3、调配步骤

设置中心频率： $f_0 \pm 4.5\text{KHz}$ ， ΔF ：

0.5KHz。

测试时开路校短路，短路校开路，即将圆图置导纳状态（因最后一个元件 C_1 是并联）。如图 1-6。

断开 C_1 在 a 点测试，调节 L 使得待测轨迹落在右下半圆弧上，（显示屏上显示 $50\Omega - jx$ ），若调不到则要改变 C_2 值。

接上合适 C_1 ，轨迹落到匹配点（即圆心附近）。

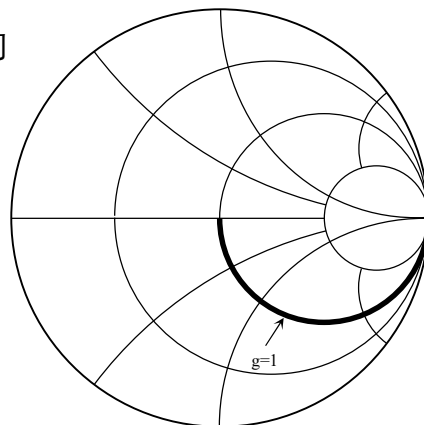


图 1-6 圆图在导纳状态

注意：三元件匹配的解不是惟一的，

因此可试几套方案，择带宽宽者用之。测试时带夹子线有芯线和地线之分，不要接反。

中波 T 型匹配网络的调配

1、原理图

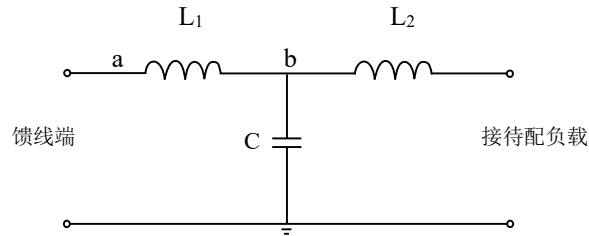


图 1-1

2、匹配思路及各元器件的作用

由于 L_1 是串联，所以圆图宜置阻抗状态。

L_1 为正电抗，所以要使 L_1 起作用 (L_1 的作用：是将在 $R=50$ 即 $r=1$ 的右下半圆弧上的数值，调整到圆心)，必须 b 点在未串 L_1 之前，数值在 $g=1$ 的下半圆弧上，如图 1-2 所示。

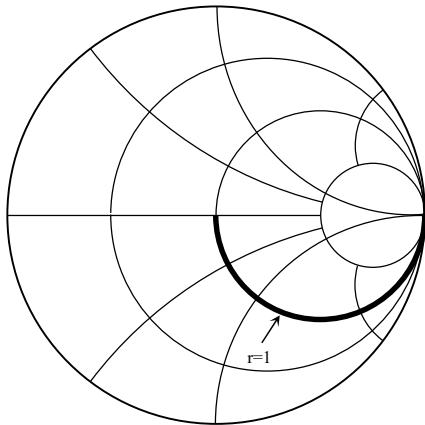


图 1-2 圆图在阻抗状态

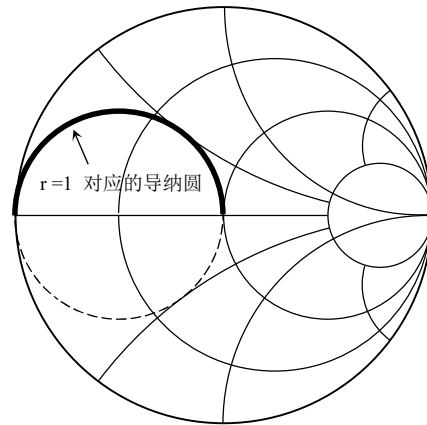


图 1-3 圆图在导纳状态

由于 C 是并联，要用导纳看，此时 $r=1$ (即 $z=50\Omega-jx$) 的下半圆在圆图上如图 1-3 所示，圆图呈导纳状态，右下半圆弧变成左上半圆弧。

C 为正电纳，要到达 $r=1$ 的导纳状态 (左上半圆弧)， b 点在不接

L_1 、 C 的情况下的导纳必须在下半鱼形阴影内，才能并 C 到达左上半圆弧上，如图 1-4 所示。圆图是导纳状态，空白处是不能匹配的。

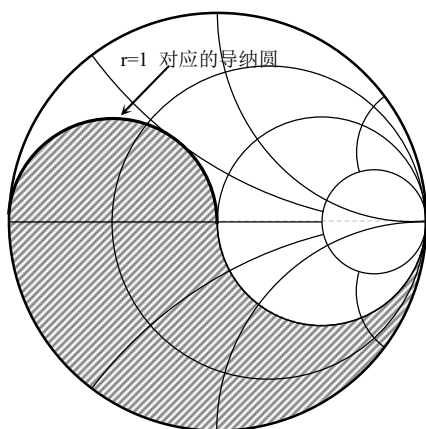


图 1-4 圆图在导纳状态

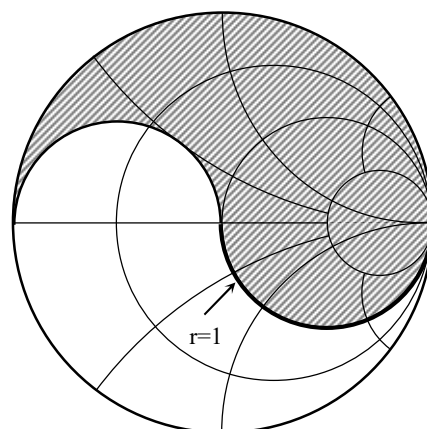


图 1-5 圆图在阻抗状态

由于 L_2 为串联，宜用阻抗看，圆图置阻抗状态。此时，图 1-4 转换成图 1-5，下半鱼形阴影转置换成上半鱼形阴影。 L_2 的作用就是将待配轨迹赶入鱼形阴影区。

3、调配步骤

设置中心频率： $f_0 \pm 4.5\text{KHz}$ ， ΔF ：
0.5KHz。

测试时开路校开路、短路校短路，圆图置于阻抗状态（因最后一个元件 L_1 是串联）。

在 a 点测试，调节 L_1 为最小值（ L_1 短路状态），调节 L_2 使测试值为 $z=50\Omega-jx$ ，即用 L_2 调实数，若调不到就得换 C 。再调节 L_1 使虚数为 0，即得匹配。

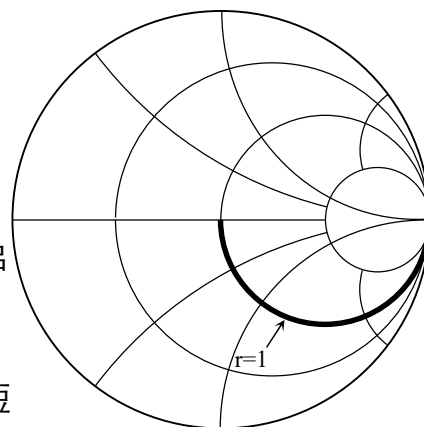


图 1-6 圆图在阻抗状态

注意：三元件匹配的解不是惟一的，因此可试几套方案，择带宽宽者用之。测试时带夹子线有芯线和地线之分，不要接反。

干扰环境下中波发射天线的测试

一、引言

在进行中波发射天线测试时，只有在邻台全部关机的情况下，才能将仪器连接到天线上，否则外界信号会由天线收进来，倒灌到仪器中以至烧毁仪器。因此，只好每周安排一个下午为测试维修时间，各发射机一律关机，此时仪器接到天线上就能正常工作了。显然，这样作效率是不高的。尤其是调配一个新天线，半天是远远不够的。因此很需要一种能在邻台不停机的情况下，仍能进行测试的仪器或方法。另外，即使是停了机，也还有干扰问题需要处理。

下面介绍如何在有干扰的情况下，用 PNA3628DP 普及型矢量网络分析仪进行测试的方法。

二、判断干扰的性质

1. 检查是否有火花

当用地线去碰待测天线的引出端时，若有火花出现，则必然属强干扰，此时不能贸然接上仪器，否则仪器有烧毁的可能。

2. 量干扰电压

用频响优于 1.6MHz 的交流电压表(不能用普通三用表，不妨自己自制一个)，测天线入口的电压在 2V 以上时，即属强干扰。也可用示波器进行测试，由于示波器显示值为峰一峰值，此时在 6V 以上时，即属强干扰。

三、干扰下的测试

当判断为弱干扰时，即可将电桥测试端接到待测天线上，按正常使用方法进行测试。若测试数据不稳定时，可采取以下措施；各个措施之间并不矛盾，需要时可同时加上。

1、加衰减器

在仪器输入端与电桥输出端间，串 10dB 或 20dB 衰减器，以减小干扰信号对仪器的影响。

2、采用精测

仪器为全相参接收机，对异频有 40dB 的抑制能力，对同频干扰采用精测模式此时约有 30dB 的抑制能力。

3、采用平滑

由于我们只对中心频率 F_0 的阻抗感兴趣，有人只测 F_0 点频，这就可能受到干扰。此时若改用中心频率左右各加几点的扫频方案测试，若只有中心频率受到干扰，即可利用 F_0 两边之值采用平滑方法（在 Smith 圆图上）得到中心频率的阻抗值。

4、采用中波反射电桥

在三项措施皆不起作用时，可采用 RB-PA 中波反射电桥，该中波反射电桥口有较强的抗干扰作用，从而提高了该系统的信杂比，使得读数比较稳定。

中波反射电桥使用方法与反射电桥完全相同，只不过要加 220V 交流电源而已。注意：要先连接好同轴电缆，再插入电源电缆。用完后要先拔下电源电缆，再拔下同轴电缆。

四、结 束 语

采用上述方法后，一般可在白天远台发射的情况下进行测试了。但对异频干扰在 20V 以上，这种情况下，仍然只好等干扰停机后，才能测试。当然也不排除特殊情况，特殊处理。用户若有什么要求请直接同我们联系。

在邻台发射的情况下，也能测中波天线，但要对邻台发射作降功率处理（一般播出功率降至 2—3 千瓦），若万一仪器测试时被烧毁，公司信守对本公司产品十年内免费保修的承诺，用户可放心使用。

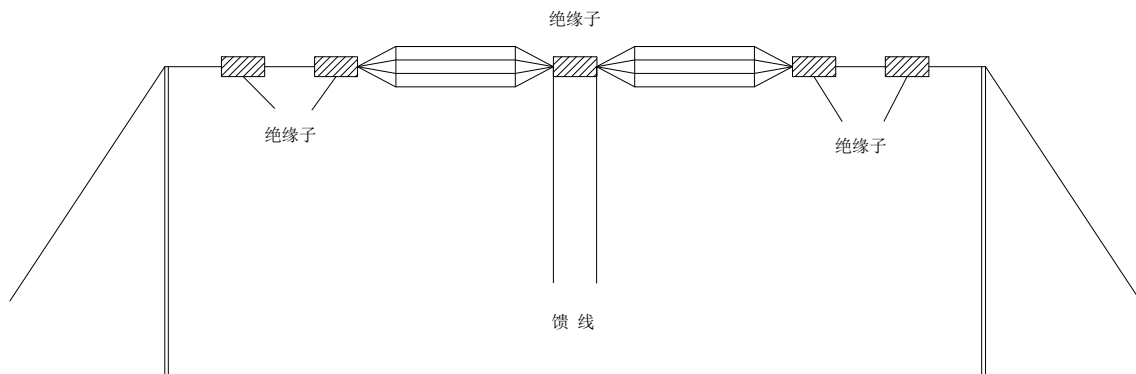
短波部分

短波天馈系统射频测试

关键词： 阻抗 匹配 平衡变换

在短波波段，因为表面波衰减较大，除短距离外一般都依靠空间波传输，远距离通讯则是依靠电离层反射进行传播的。在多数情况下要求有强的方向性。由于电离层随昼夜、季节变化，因此必须变换工作波长，并要求天线的方向性和阻抗特性随工作波长变化比较小，以保证通讯的稳定。

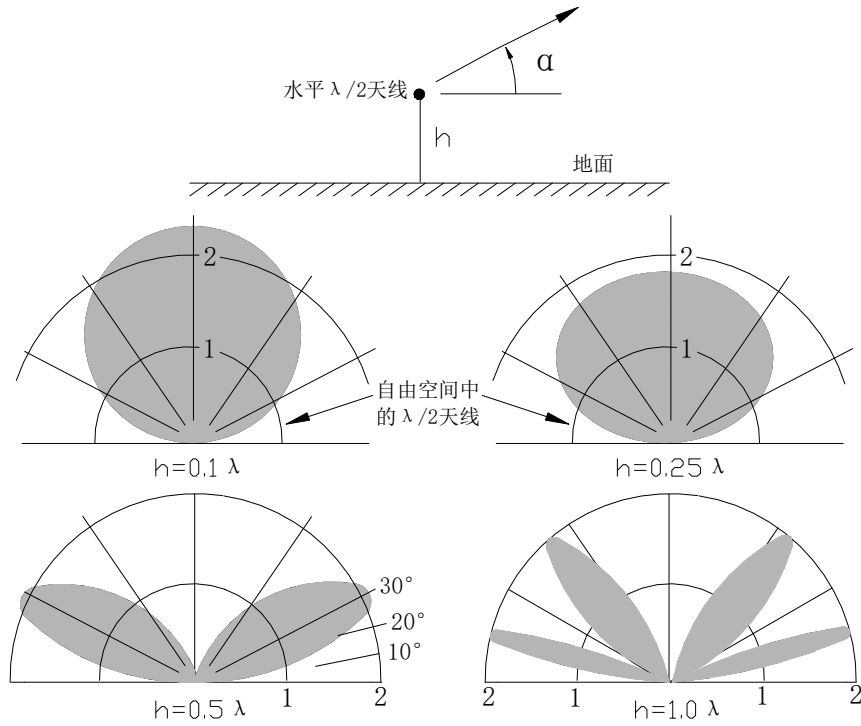
一、水平对称振子天线



笼形水平对称振子天线

- 多数短波天线为水平架设的对称振子天线，中心对称点利用双线馈电；
- 天线垂直（俯仰）方向图与水平架高有密切关系；
- 地面对水平极化波的反射系数很大（接近全反射），而且反射系数和仰角、频率与土壤电参数的关系不大，比较稳定；
- 短波天线要求具有宽频带特性，工作波长将在 3-5 倍的范围内变化仍能保证稳定通讯；
- 水平对称振子采用笼形结构以加“粗”振子，从而获得宽频带特性；
- 无线电波最强辐射方向首先由反射层高度及电路设备的距离来决定的，为使经过电离层反射到达接收点的信号最强，就应使天线仰角适应于电波传播所需仰角；
- 天线架好后，架高（h）是固定不变的，天线波束的仰角将随工作波长（频率）的变化而变化。

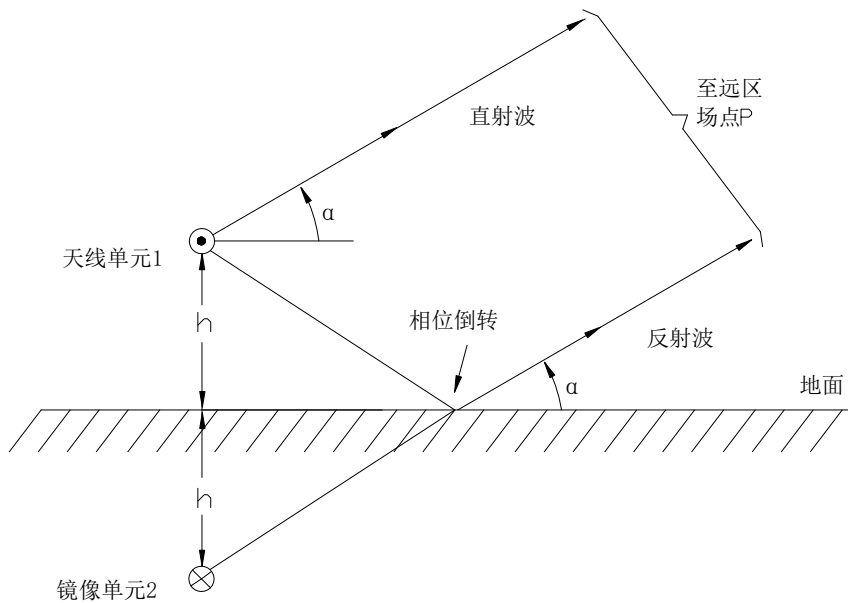
二、短波水平对称振子天线与架高



水平 $\lambda/2$ 偶极子在离理想导电地面不同架高 h 时的铅垂面场波瓣图

- 短波水平天线的架高引起垂直方向图变化的原因是由于地面的存在。地面（接近于理想导体）的反射波与天线直射波叠加会使场强增加一倍，地面作用时，水平对称振子天线方向系数可达自由空间对称振子方向系数的四倍。由于地面的作用，使得单元水平对称振子天线在某方向上聚积能量能力比自由空间强很多。
- 水平天线垂直平面方向图随天线架设高度 h/λ 而变， h/λ 愈大则主瓣最大值仰角愈低（电离层高度、通讯仰角与通讯距离的关系曲线均可由相关资料查得）。
- 随着天线架设高度的增加，垂直方向图会出现副瓣，当天线架设高度非常高时，地面作用消失，镜像分析方法及二元阵条件不满足，将完全是自由空间的分析方法。

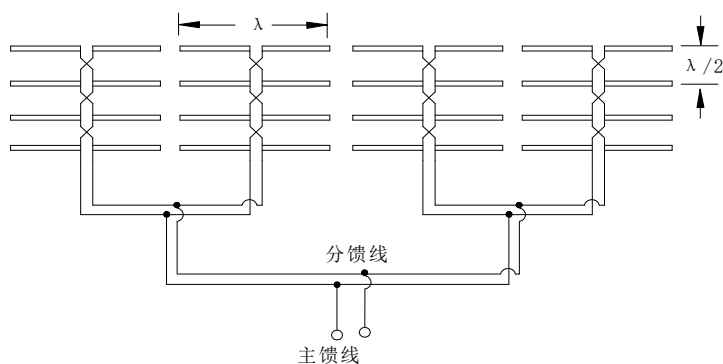
三、镜像分析方法概述



地面上方的天线及镜像所表示的直射和反射波

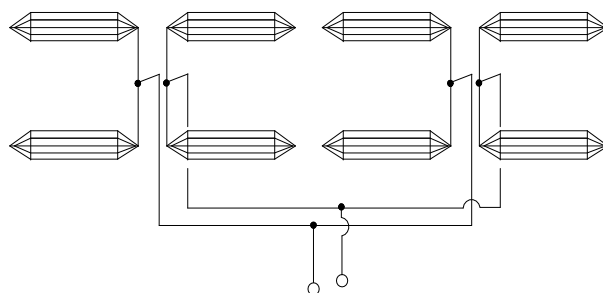
- 根据理想导体面边界条件，天线辐射出的电磁波在导体面将被全反射，入射波和反射波在导体表面应满足边界条件：切向电场应等于零。据此，可将反射波看成是原天线的镜像天线所辐射，基于这种设想就可以利用二元天线阵理论来求解远区的场强等问题。
- 在原天线一侧的辐射场是原天线直射场与镜像天线辐射场（实际是地面反射波的场）的叠加，可利用二元阵理论来求解，这种用镜像天线代替理想导体面的反射影响，就称之为镜像原理。本质上是对所讨论的问题进行变换，即用地面下方距离 h 处的镜像取代地面。
(主瓣仰角： $\sin\alpha = \lambda/4h$)
- 地面影响存在时，天线的方向性应该是天线本身的方向性与地面反射所引起的阵因子（二元阵因子）相乘的结果。（有关方向图乘积定理于众多天线论著中均可查阅，其意是，相似元天线组成的天线阵的总方向性图应是单个天线的方向性图（单元因子）乘以阵因子。

四、短波水平对称振子天线阵



4 × 4 窄带同相水平天线阵

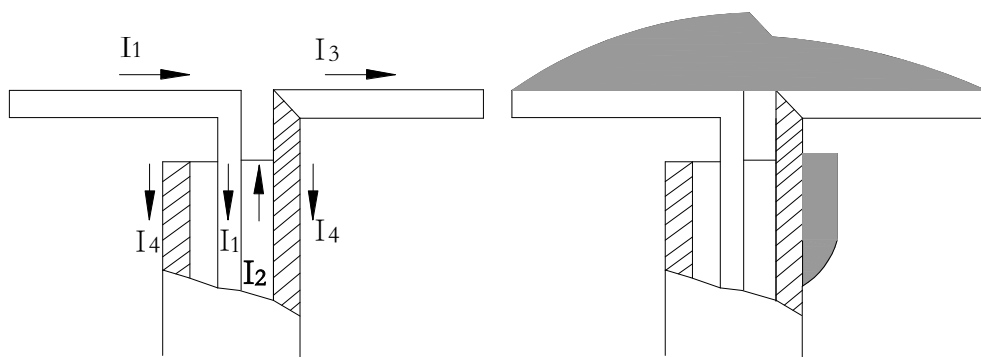
- 单个对称阵子天线方向性是很弱的，方向图半功率宽度达几十度，方向图显得很“胖”，而当波束变窄，波瓣宽度为十几度、几度时，在发射功率一定时，天线的作用距离就大大增加，接收端的信噪比也大大增加。



2 × 2 宽带同相水平天线阵

- 短波远距离通讯中需要方向性很强的天线，在天线技术中常用天线阵来提高天线的方向性。
- 把若干个相似天线元按一定规律排列构成，按确定的幅度和相位给各单元天线馈电时，使它们的辐射在所需方向相加，而在其他方向相消，这样的装置就是所谓的天线阵。短波常用如图所示的同相水平天线阵。
- 各天线振子同相馈电，辐射场集中在与天线平面垂直的前后方向，为使辐射场集中于一个方向，常在天线阵面 $\lambda/4$ 处安装无源反射网或反射振子阵（幕）。
- 天线面积愈大，方向性愈强。

五、短波水平对称振子及其同相水平天线阵的馈电



同轴线对对称天线馈电时的不平衡现象

- 对称振子天线又称半波振子天线或全波振子天线，广电等有关方面称其为偶极子天线。这类天线结构上完全对称，若用同轴电缆直接对其馈电（如上图所示）。由此产生的后果是：①这种接法不能完全对称，在连接处有不连续性；②造成二振子臂电流不平衡，天线性能变坏；③原同轴电缆外皮无电流，而如图连接后，天线二臂对馈线外皮（“地”）电流不平衡，馈线外皮电流会产生辐射，极化也与天线不同，影响天线的方向性。
- 前页所示“窄带同相水平天线阵”是如何实现每副振子同相馈电的呢？每副水平天线与相邻天线之间的馈线电长度为 $\lambda/2$ ，馈电双线又交叉一次，这两项措施保证了同相馈电。相邻天线馈线电长度为中心频率 f_0 时的二分之一波长，而当频率变化后，其馈线电长度已不为新频点时二分之一波长，也就不能达到同相馈电的目的，所以该天线阵为窄带的。
- 前页所示“宽带同相水平天线阵”，为实现宽带采取了如下措施：
① 天线振子采用笼形结构，加粗了振子臂，天线输入阻抗大大降低，展宽了频带，天线具有了宽带工作能力；
② 采用并馈方式，保证每副天线的馈电电缆等长，从而实现了同相馈电。

六、短波天馈系统射频测试

●反射测试

- 1) 对称振子天线输入阻抗、驻波、带宽
- 2) 天线阵馈电点输入阻抗、驻波、带宽
- 3) 馈线（主馈、分馈）特性阻抗、驻波
- 4) 平衡变换器驻波
- 5) 阻抗变换网络阻抗、驻波

●传输测试

- 1) 发射机输出电路二次、三次谐波滤波网络幅频特性
- 2) 分馈线电长度（如： $\lambda/4$ 、 $\lambda/2$ ）的确定，馈线衰减
- 3) 天线阵面与反射网（幕）之间 $\lambda/4$ 距离的确定
- 4) 天线阵面幅相检查
- 5) 平衡变换器的共模抑制比
- 6) 天线方向图、增益

●传输线时域故障定位

●干扰环境下天馈系统测试

●测试操作

- 1) 短波频段分布参数影响已十分明显，测试连接不可象中波测试那样直接用带线夹子连接，而是要采取措施保证阻抗的连续性；
- 2) 若测试口为双线，需配置相应的差分测试附件，其中要件有差分电桥及等阻抗变换装置（馈电双线间距离有 30cm、40cm、50cm 等）。

●有关测试操作方法详见公司的《PNA 产品使用说明书》、《PNA 射频测量参考资料》及本册相关内容。

驻波比、回损与反射系数对照表

驻波比	回损	反射系数
1.00	∞	0.0000
1.01	46.06	0.0050
1.02	40.08	0.0099
1.03	36.60	0.0148
1.04	34.15	0.0196
1.05	32.25	0.0244
1.06	30.71	0.0291
1.07	29.41	0.0338
1.08	28.30	0.0385
1.09	27.31	0.0430
1.10	26.44	0.0476
1.11	25.65	0.0521
1.12	24.94	0.0566
1.13	24.49	0.0610
1.14	23.68	0.0654
1.15	23.13	0.0698
1.16	22.60	0.0740
1.17	22.12	0.0783
1.18	21.66	0.0826
1.19	21.23	0.0868
1.20	20.82	0.0909
1.30	17.69	0.1304
1.40	15.56	0.1667
1.50	13.98	0.2000
1.60	12.73	0.2308
1.70	11.72	0.2593
1.80	10.88	0.2657
1.90	10.16	0.3103
2.00	9.54	0.3333
3.00	6.02	0.5000
4.00	4.37	0.6000
5.00	3.52	0.6666
10.0	1.74	0.8182
∞	0.00	1.0000

回损、驻波比与反射系数对照表

回损	驻波比	反射系数
60	1.002	0.0010
50	1.006	0.0032
45	1.011	0.0056
40	1.020	0.0100
38	1.025	0.0126
36	1.032	0.0158
34	1.041	0.0199
32	1.052	0.0251
30	1.065	0.0316
28	1.083	0.0398
26	1.106	0.0501
24	1.135	0.0631
22	1.173	0.0794
20	1.222	0.1000
19	1.253	0.1122
18	1.288	0.1259
17	1.329	0.1413
16	1.377	0.1585
15	1.433	0.1778
14	1.500	0.1995
13	1.577	0.2239
12	1.671	0.2512
11	1.785	0.2818
10	1.925	0.3162
9	2.100	0.3548
8	2.323	0.3981
7	2.615	0.4467
6	3.010	0.5012
5	3.570	0.5623
4	4.419	0.6310
3	4.628	0.7079
2	8.724	0.7943
1	17.391	0.8913
0	∞	1.0000

功率、dBm 与 50Ω 线上电压对照表

功 率	dBm	电压（有效值）	电压（峰峰值）
1000000W=1MW	90	7.07 KV	20 KV
100000W=100KW	80	2.236 KV	6.325 KV
10000W=10KW	70	0.707 KV	2 KV
1000W=1KW	60	223.6 V	632.5 V
100W	50	70.7 V	200 V
10W	40	22.36 V	63.25 V
1W	30	7.07 V	20 V
100mW=10 ⁻¹ W	20	2.236 V	6.325 V
10mW=10 ⁻² W	10	0.707 V	2 V
1mW=10 ⁻³ W	0	223.6 mV	632.46 mV
100 μ W=10 ⁻⁴ W	-10	70.7 mV	200 mV
10 μ W=10 ⁻⁵ W	-20	22.36 mV	63.25 mV
1 μ W=10 ⁻⁶ W	-30	7.07 mV	20 mV
100nW=10 ⁻⁷ W	-40	2.236 mV	6.325 mV
10nW=10 ⁻⁸ W	-50	0.707 mV	2 mV
1nW=10 ⁻⁹ W	-60	223.6 μ V	632.46 μ V
100pW=10 ⁻¹⁰ W	-70	70.7 μ V	200 μ V
10pW=10 ⁻¹¹ W	-80	22.36 μ V	63.25 μ V
1pW=10 ⁻¹² W	-90	7.07 μ V	20 μ V
100fW=10 ⁻¹³ W	-100	2.236 μ V	6.325 μ V
10fW=10 ⁻¹⁴ W	-110	0.707 μ V	2 μ V
1fW=10 ⁻¹⁵ W	-120	223.6 nV	632.46 nV
100aW=10 ⁻¹⁶ W	-130	70.7 nV	200 nV
10aW=10 ⁻¹⁷ W	-140	22.36 nV	63.25 nV
1aW=10 ⁻¹⁸ W	-150	7.07 nV	20 nV



PNA36010/3628DP 矢量网络分析仪



PNA36010



PNA3628DP

测量方式 可进行全频扫描、列表扫描和点频测量

测量功能 可进行传输测量（测幅频特性、插损、相位、放大器增益、天线增益、群时延）、反射测量（测驻波、回损、阻抗、反射相位、电长度、具有Smith圆图显示功能）、时域故障定位功能

显示格式 传输测量有对数幅度显示和幅度相位同时显示；反射测量有对数显示、驻波比显示、Smith圆图显示

显示输出 8吋彩屏（PNA36010），5吋彩屏（PNA3628DP）

记录设备 U盘

适用范围及有关性能

● 广泛应用于中波、短波、调频广播、通讯、雷达（米波）射频测量及声表器件等元器件射频测量。

● 经选配能对75Ω、100Ω、150Ω、230Ω、300Ω等不同特性阻抗系统进行测试。

● 配置相应的差分电桥和差分头，可测量双绞系统（包括五类线）的阻抗、驻波、衰减、时延等参数测量。

● 配置相应功率（20W、100W...）电桥，能在干扰和强干扰环境下对中波、调频、电视等天馈系统进行稳定可靠测量。

主要技术指标

型 号		PNA36010	PNA3628DP
信 号 源	频率范围	0.1 ~ 200MHz	0.001 ~ 120MHz
	频率精度	$\leq 10^{-5}$	
	频率分辨率	0.5KHz	
显 示	插损分辨率	0.01dB、div不确定度在50dB内为0.2dB+dB值的4%	
	反射分辨率	0.002小反射不确定度在0.01（即剩余驻波1.02）	
	相位分辨率	0.1°，不确定度约5°/幅值	
测 量 特 性	频率范围	0.1 ~ 200MHz	0.001 ~ 120MHz
	杂波抑制力	40dB	
	群时延	1ns ~ 5us	
	时域故障定位功能	0 ~ 1200米	
	移参功能	可移动参考面测试	
	抗干扰测试功能	能在干扰环境下稳定测试	
	动态范围	插损 回损 增益	80dB 50dB -20 ~ 30dB
端 口 特 性	反射电桥定向性	≥ 40 dB	
	负载回损	≥ 45 dB	
	测试端口	N型阴头	
	输入承受功率	1mW	
其 它	外形尺寸 (mm)	260×180×70	290×140×180
	重量	1.5Kg	5Kg
	标配附件	50Ω N型测试套件、中波抗干扰桥测试套件	
	选配附件	75Ω N型，双绞系统，短波、调频抗干扰桥等测试套件	
	内置锂电池	4小时	2小时30分钟

全面提供中波、短波、调频、电视 天馈系统抗干扰射频测试方案



中波抗干扰专用电桥



PNA36010手持式矢量网络分析仪



PNA3628DP
彩屏便携式矢量网络分析仪



工作人员测试现场

仪器具有 Smith 圆图显示功能，能动态显示频段内的阻抗轨迹（匹配过程）和阻抗性质，能对天馈系统进行驻波（回损）、输入阻抗（ R/X ）、反射相位等进行测试。能迅速判断通信（讯）、雷达等设备天馈系统的匹配状态（回损、驻波曲线和数据），输入阻抗（阻抗轨迹和数据）。

时域故障定位功能，能迅速确定天馈系统中同轴电缆的故障位置，测量范围为 0-1200 米，定位准确，长度 100m 定位精度为 $\pm 0.2m$ 。

超强的抗干扰射频测试性能，全面提供干扰环境下的中波调频电视天馈系统射频测试方案。

南京普纳科技设备有限公司

地址：南京市江东北路 301 号滨江广场 14 层

邮编：210036

电话：025-86200301 86225090

传真：025-86200323

网址：www.pna.com.cn