

PNA37020 (PNA37030) 矢量网络分析仪

高校射频实验辅导书



南京普纳科技设备有限公司

Nanjing PNA Instrument Co., LTD

目 录

射频实验箱器件.....	0
传输线基本概念实验.....	1
射频下的电感与电容测试.....	5
同轴电缆的常规测量.....	8
同轴电缆的时域故障定位检查.....	10
同轴电缆特性阻抗 Z_c 的测量.....	13
衰减器的测量.....	17
功率分配器的测量.....	20
定向耦合器的测量.....	22
隔离器的测量.....	24
和差器的测量.....	26
滤波器的测试.....	28
用 $\lambda/2$ 短路线测 ε_r	31
用 $\lambda/4$ 法分离测试误差.....	33
仪器的性能验证.....	35

射 频 实 验 箱 器 件

50ΩN 型保护接头	$SWR \leq 1.05$	1 只
50ΩN 型匹配负载(阳头)	$SWR < 1.07$	2 只
50ΩN 型 2.0 失配负载(阳头)	$SWR = 2$	1 只
50ΩN 型双阴连接器	$SWR \leq 1.05$	1 只
电感电容样本		若干
待测电缆 0.45m	一好一差	2 根
20 dB 衰减器	$SWR \leq 1.10$	1 只
功分器	800MHz—2200MHz	1 只
定向耦合器	800MHz—2200MHz	1 只
隔离器	1700MHz—1950MHz	1 只
和差器 PNA HC-1	1000MHz	1 只
滤波器	1900MHz—1920MHz	1 只
JJ-NS 电缆		2 根
N 型双阳		1 只
N 型双阴		1 只
短路线(测 ϵ_r 用的 $\lambda/2$ 线)	58mm	1 根



射
频
实
验
箱

传输线基本概念实验

当频率高到射频以后，电路元器件的性能发生了变化。甚至于一段线也要用传输线公式来表示，比如说 $\lambda/4$ 线末端短路时始端等于开路，而末端开路时始端等于短路。这种概念一开始是很难接受的，但是有了 PNA37020(或 PNA37030) 就可以进行实验验证了。

一、实验目的

通过无耗短线的输入阻抗测试，加深对传输线公式与史密斯圆图的理解。

二、仪器准备（此节可详见仪器的使用说明）

PNA37020(或 PNA37030)及其成套附件，射频实验箱中的保护接头一只。

开机后进入 Windows XP 系统，自动进入“PNA 矢量网络分析仪”的操作界面。

仪器显示的主菜单应为《网络分析》下的《频域参数》，若为《方向图测试》或《时域参数》，则要选择回《网络分析》下的《频域参数》状态，再选择 S11 测量。

《常规》和《精测》，应选《常规》，《精测》费时间。

(1) 扫频方案设置

- 光标选中《起始频率》框里的数据，按【清空】键，输入 30，即起始频率设为 30MHz。

- 光标选中《频率步进》框里的数据，按【清空】键，输入 30，即相邻频率间的步长设为 30MHz。时域中《频率步进》不受控

- 光标选中《终止频率》框里的数据，按【清空】键，输入 1590 即终止频率设为 1590MHz。

- 按【计算】键,得到《频率点数》为 53 点。

- 原来呈淡灰色的【设定】按键，变亮显示，转为可执行按键。

(2) 连接

- 按图连接，此时仪器测试端口应接上测试电缆，测试电缆末端开路作为新的测试端口。

(3) 开路校正

· 按【设定】键进入校准操作画面，电缆末端加接一双阴，在双阴的末端接上开路器（以双阴末端为测试口），点击【开路校准】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。拔下开路器，接上短路器，点击【短路校准】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。拔下短路器，接上精密负载，点击【校零】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。【测量】按键变亮显示，转为可执行按键，点击【测量】键进入测试状态。

· 接上待测负载，即可用圆图看变化趋势。



三、测试步骤

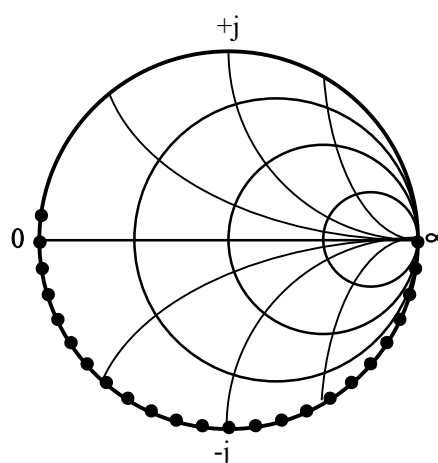
1、开路线的输入阻抗测试

· 在双阴末端的测试端口上，再接上一只保护接头（即一段开路同轴线）。

· 屏幕上会出现右图曲线，具体数值见闪点参数，不同频点的数据，可用按【→】或【←】键来得到。

· 记下 6 个表中频点的电抗值 (jX)，不管电阻值 (R)。

· 保护接头的电长度为 48 毫米，用 $Z_{in} = -jZ_0 \cot \beta l$ 来进行计算，只计算记下的几个点。式中 Z_{in} 为输入阻抗， β （相移常数）为 $360^\circ / \lambda$ （波长）， l 为保护接头长度。注意：波长与保护接头长度（线



开路线输入阻抗轨迹

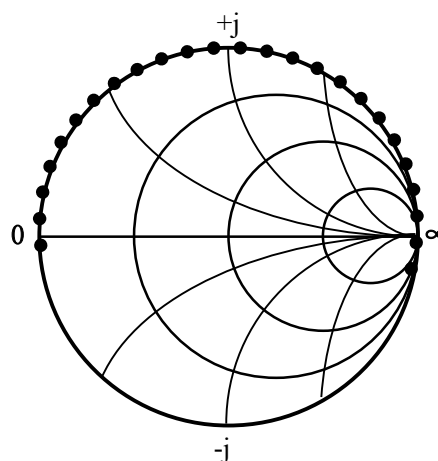
长)的单位要相同；

$$\lambda = 300(\text{m})/f(\text{MHz}) = 300(\text{mm})/f(\text{GHz})。$$

· 你会注意到在 1560MHz 这一点的输入阻抗很小，这就证明了 $\lambda/4$ 的开路线的输入阻抗确实相当于短路。

2、短路线的输入阻抗测试

- 在后一个保护接头末端接上短路器。
- 屏幕上会出现右图曲线。
- 记下 6 个表中的频点的电抗值 (jX)，不管电阻值 (R)。



短路线输入阻抗轨迹

· 保护接头的电长度为 48 毫米，用 $Z_{in} = jZ_0 \tan \beta l$ 来进行计算，只计算记下的几个点。

· 你会注意到在 1560MHz 这一点的输入阻抗很大，这就证明了 $\lambda/4$ 的短路线的输入阻抗确实相当于开路。

3、传输线的输入阻抗与负载阻抗的关系

- 拨下保护接头，接上失配负载，记下 1560MHz 频点的阻抗 Z_l 数值。
- 拨下失配负载，串接保护接头后接上失配负载，记下 1560MHz 频点的阻抗 Z_{in} 数值。
- 用圆图或公式计算失配负载经保护接头后的输入阻抗，比较之。

附公式如下：

$$Z_{in} = \frac{Z_l \cos \beta l + jZ_0 \sin \beta l}{Z_0 \cos \beta l + jZ_l \sin \beta l}$$

四 实验报告

1、开路线的输入阻抗测试

频率 (MHz)	30	300	600	900	1200	1560
X (Ω) 计算值						
X (Ω) 实测值						

2、短路线的输入阻抗测试

频率 (MHz)	30	300	600	900	1200	1560
X (Ω) 计算值						
X (Ω) 实测值						

3、传输线的输入阻抗与负载阻抗的关系

负载阻抗 Z_l 实测值：

输入阻抗 Z_{in} 计算值：

输入阻抗 Z_{in} 实测值：

注意：由于保护接头这段线在 1560MHz 时约 $\lambda/4$ ，因此两次实验的归一值（即阻抗值 / 50）应互为倒数，或者两者相乘开方后的阻抗应在 50Ω 左右。由于保护接头这段线并不理想，因此，实测值与计算值是会有误差的，在射频实验中误差不大于 10% 可认为是正常的。

射频下的电感与电容测试

一、实验目的

了解电感与电容在射频下的性能，知道元件自身谐振现象，过谐振点后，电感会变成电容，而电容又会变成电感。

二、实验准备

待测件准备：准备几只线圈，或者准备几段 $\Phi 0.35 \sim 1.5$ 的光铜线自行绕制。再准备几只带引线的瓷片电容，电容量在 $1 \sim 100\text{pF}$ 之间即可。

仪器准备：PNA37020(或 PNA37030)，仪器按测 S11 连接。扫频方案可任意设置，比如：BF（起始频率）=30MHz， ΔF （频率步进）=30MHz，EF（终止频率）=1590MHz。可以针对不同器件，改用不同方案。

注意：为避免损坏仪器端口，请端口接上测试电缆，再接上双阴，作为新的测试端点口进行三项校正（开路、短路、校零）与测试。



· 按图连接（仪器操作详见仪器使用说明，或参照实验一的第二节仪器准备），接上待测负载，即可用圆图看变化趋势，具体数值见闪点参数，不同频点的数据，可用按【→】或【←】键来得到。

三、测试

1、空心线圈的测试

将准备好的线圈逐个进行测试或自行绕制几个线圈进行测试。譬如用 $\Phi 1$ 光铜线在 $\Phi 6 \sim \Phi 8$ 的杆上绕4圈，脱下拉长到6~8（按国标 GB4458.4-84 规定，以毫米为单位时，不需标注，下同），即可进行测试。

测试时，元件一端插入双阴末端的内导体插孔中，用手将另一端压在外导体上；手不能碰内导体，碰外导体无妨。

屏幕将显与右图类似的图形，由低频开始，注意观察电抗 jX 值，将随频率增大而增大。但过某一频点后， X 值变为负值。这一点为自身谐振频率，或第一谐振频率。记下这个频率的数值，不必很准。

随着频率增高，测试点阻抗的轨迹表现为在圆图上画圈，因而出现多个谐振点，一般元件只用在第一谐振频率以下。

2、瓷片电容的测试

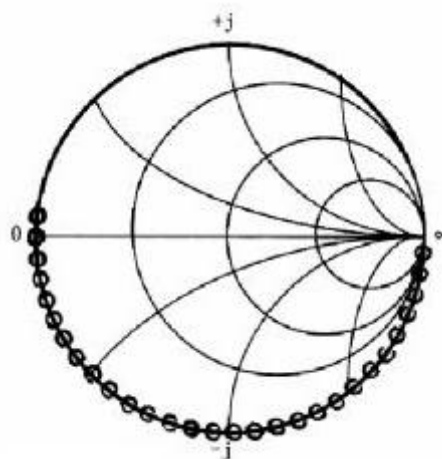
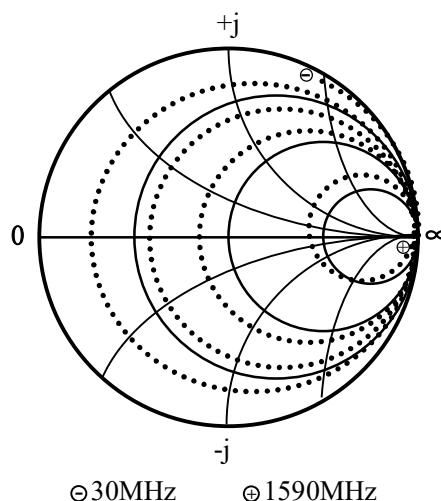
将准备好的电容逐个进行测试，测试时，元件一端插入双阴末端的内导体插孔中，用手将另一端压在外导体上；手不能碰内导体，碰外导体无妨。

瓷片电容不能太大，否则会测成电感，一定要测大电容时，换 PNA3628 低频网络分析仪器即可。

同样屏幕将显与右图类似的图形，测试点阻抗的轨迹表现为在圆图上画圈，过某一频点后， X 值变为正值。这一点为自身谐振频率，或第一谐振频率。记下第一个谐振频率的数值。

随着频率增高，测试点阻抗的轨迹表现为在圆图上画圈，因而出现多个谐振点，一般元件只用在第一谐振频率以下。

注意：今后要习惯于用仪器直接测出的电抗值，而不拘泥于电感值或电容值。



四、 实验报告

1、电感测试

线圈参数 线径：
 底径：
 圈数：
 总长：

频率 (MHz)						
X (Ω) 实测值						

第一个谐振点的频率：

只记下几个你感兴趣频率下的电抗值，找出第 1 个谐振点的频率，可以多测几个线圈，但只报告一个典型的数据。

2、电容测试

瓷片电容标称值：

频率 (MHz)						
X (Ω) 实测值						

第一个谐振点的频率：

只记下几个你感兴趣频率下的电抗值，找出第一个谐振点的频率，可以多测几个电容，但只报告一个典型的数据。

可以统计谐振点的规律，甚至得到谐振点的经验公式。

同轴电缆的常规测量

一、实验目的

了解射频连接电缆的常规性能与测试方法

二、测试准备

PNA37020(或 PNA37030)及其附件，待测电缆两根，一好一差。

预置扫频方案 起始频率 30MHz, 频率步进 20MHz, 终止频率 1590MHz。

三、测试



- 仪器开机时所显示的主菜单应为《网络分析》下的《频域参数》，若为《方向图测试》、《时域》，则要选择回《网络分析》下的《频域参数》状态，再选择 S11、S22、S21、S12 测量。

- 按图连接，仪器测试端口接上测试电缆，测试电缆末端开路作为新的测试端口。

- 按【设定】键进入校准操作画面，电缆末端接上开路器，点击【开路校准】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。拔下开路器，接上短路器，点击【短路校准】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。拔下短路器，接上精密负载，点击【校零】键，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。对仪器的端口 2 重复以上的三

项校准。再用双阴连接器，将端口一上的测试电缆连接到端口二上，按【直通】校准，断开连接，分别加精密负载进行【泄露】校准，校准完成后，【测量】按键变亮显示，转为可执行按键，点击【测量】键进入测试状态。

·【曲线切换】显示不同曲线。

电缆驻波比一般要求小于 1.2，也有要求小于 1.1 的，最苛刻的要求为 1.05（这就需要挑选了，合格率很低）。

将测试值除以长度得每米衰减值 dB/m，应不大于规定值。

对于相位有要求的电缆，可看所需得到其相位值。

四 实验报告

1、驻波比频响曲线（绘出或打印出）

记下全频段内最大驻波比的数值：

2、插损频响曲线（绘出或打印出）

记下全频段内最大插损的数值：

同轴电缆的时域故障定位检查

一、故障定位的意义

1. 同轴电缆的三段反射

同轴电缆可说是射频设备中少不了的一种连接件，短者几厘米，长者几百米，它并不是一种很起眼的东西，但对系统性能确是至关紧要的一环。对同轴线可以提出多方面的要求，现在我们只看看对它的驻波比要求。

一根同轴线（电缆或馈管）从其输入端测出的驻波比是由三段反射的矢量叠加造成的。一段是远端反射，它包括了负载的反射以及电缆输出连接器处的反射。如果负载是无反射的精密负载，则远端反射即指输出连接器处的反射，另一段是输入连接器（包括转接器）处的反射叫近端反射。还有中间这一段由电缆本身制造公差引起的分布反射，使用者对这段反射是无能为力的，只是把问题搞清楚而已，以便于采取相应的措施。

如何分清这三段反射呢？

2. 时域分布反射的获得

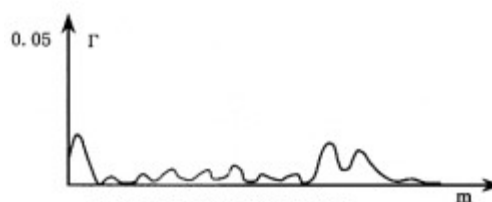
为分清一根电缆的三段反射，通常用时域反射计，它是一种能发射很窄脉冲（ns 级）后看其反射波形的仪器，虽然它很有权威性，但确有三点不足：第一点是有死区（或盲区）。对近端反射无能为力，因为在发射脉冲宽度内的反射一般是被发射脉冲淹没了。第二点是它对波导系统无能为力。第三点由于发的是窄脉冲，所占频段极宽，待测件的测试频段不能控制。如本来电缆只用于 400 兆赫附近，而它测的却是几十赫到千兆赫内全频段的性能，这并不适合于一般使用者的要求，它只是一种电缆生产厂的一种专用的贵重设备。看来这种仪器早晚是要被淘汰的，它的性能不如测频域反算时域的方法来得灵活，而且还多花钱（作为验收，频域仪器是必备的，假如它有时域功能就不用再买时域反射计了）。

现在可用射频实验测量仪上的时域故障定位功能软件来完成时域反射的测试。它的作法是在频域中测出多个有关频率的反射系数，然后经过运算来得到时域画面。纵坐标为反射系数幅值，横坐标为距离或时间。不单分清了三段反射而且看出了同轴电缆上的分布反射，从而可以检查电缆制造的工艺水平或质量水平。

二、仪器准备

PNA37020(或 PNA37030) 射频实验测量仪及其附件，待测 0.5 米短电缆 2 根（一根好的，一根差的）。

刚开机时或复位后，《测量参数设置》界面，选中时域参数（频域参数前为空）。选择被测电缆的长度（距离），测试距离应选为待测电缆几何长度的 1.5 倍以上，即『测电长度』的距离。为取得最大精度，在这里最好用 3m 档测试。



三．测试步骤

· 点击『设定』，进入《仪器校准》界面，界面上显示测量的最大电长度、测量的通道，进入校准操作画面，显示了设定的频率参数，待操作按键『开路校准』高亮粗体字显示，在仪器的测试端口 1 上接连接电缆，在电缆的另一端接上双阴连接器，双阴末端接开路器，点击『开路校准』，《进度》指示条显示进度，完成后《操作成功》状态呈现绿色。

开路校准完成后，自动转入『短路校准』高亮粗体字显示，拔下开路器，换上短路器，点击『短路校准』，《进度》条再次显示短路校准进度，《执行状态》为红色，完成后《操作成功》状态呈现绿色。

短路校准完后，自动转入『校零』高亮粗字体显示，拔下短路器，换上精密负载，点击『校零』，《进度》条显示校零进度。端口 1 的反射校正完成，可以进行时域测量（若所测反射不小，可以只作两项校正：开路和短路）。

- 端口短路时，最大反射点在端口上（距离为 0）， Φ 在 180° 左右。
- 端口开路时，最大反射点在端口上（距离为 0）， Φ 在 0° 左右。
- 接上待测的 0.5 米电缆，时域测量时的直角坐标，左向右逐点点出，在

给定测试距离内，从头到尾(即全景)的各个距离上的反射强度，可见最大反射点后移（电缆末段不接负载）。标记出最大值，就能得到此段距离中最大反射点的精确位置 $d_{\max}$ ；这就是被测电缆的电长度，记下被测电缆的电长度并量出电缆几何长度。

- 在被测电缆末端接上阴负载，可以看到电缆从头到尾的反射分布。相当于对电缆作断面检查。连接器处的反射不宜大于 0.05，电缆分布反射不应大于 0.01。

- 按曲线切换键可选，不同的频域曲线，时域测试与频域测试互相对照，有利于对被测电缆作出更合理的裁决。

- 需要时，按菜单键可选《保存》存下屏面所显图形和具体参数。

注意事项

- 电缆与插头间出现小反射时，多数是插头不好或未装好，但也有可能是电缆特性阻抗偏差所造成，此时应设法测电缆特性阻抗。

- 除 0.5 米电缆外，尚可另外找些电缆进行测试，只要连接器能接得上。

- 电缆两端的反射一般是不等的，这是连接器不好或装配不好造成的；而当电缆两端出现相同大小的反射时，尚有另外一种可能是电缆特性阻抗不对，要加测电缆特性阻抗。

四.实验报告

- 1、画出或打印出两根电缆的时域曲线，注意两根电缆的差异。

- 2、计算被测电缆的波速比（或缩短系数）

波速比=电缆几何长度/电长度，常在 0.65-0.8 之间，缩短系数是波速比的倒数，常在 1.3-1.5 之间，这个参数在阵列天线的分馈电缆计算长度时是必要的。

同轴电缆特性阻抗 Z_c 的测量

Z_c 是一种结构尺寸决定的电参数如同轴线的， D 为外导体内径， d 为内导体外径， ϵ_r 为同轴线内充填介质的相对介电常数。

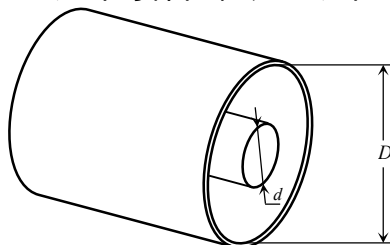


图 1-2 同轴线示意图

Z_c 可看成是一根无限长均匀传输线的输入阻抗，无限长的传输线虽然是不存在的，但是可以借用一下这个概念。既然是无限长，显然是不会有反射的，这是一层意思。另一种看法是既然是无限长，再加上一段也是无限长，而且输入阻抗也不会变。因此一个负载的阻抗经过一段线后的输入阻抗仍为此阻抗本身而且与长度无关，则此阻抗即为该线的特性阻抗。 Z_c 有时写成 Z_0 ， Z_0 一般表示 50Ω 。

任意单端口网络的输入阻抗是可以直接测量的，作为两端口网络的电缆的特性阻抗的测量却需要某些方法。

一、 实验目的

掌握同轴电缆特性阻抗 Z_c 的测量方法，加深对特性阻抗的理解。

二、 仪器准备

PNA37020(或 PNA37030)及其附件，待测短电缆一根或待测电缆一捆（自备）。

三、 测试方法

1、短样本测试法

· 样本与扫频方案 对于已装好连接器的跳线，长度已定，只能由长度定扫频方案而对于电缆原材料，则可以按要求频率确定下料长度。此时待测电缆一头装连接器即可。本实验建议就用仪器配发的 0.5 米电缆即可；

· 样本长度与扫频方案是相互有关的，可以点频测也可以扫频测，取值要取相位靠近 270° 时的电抗值，此时电长度为 $\lambda/8$ 、电抗值在 $\pm j50\Omega$ 附近，如 $40\sim 60\Omega$ 之间，否则不易得到可信数据。测试频率宜低些，以减少连接器，以及末端

开短路的差异造成的误差。

以 SFF-50 的电缆为例，取样本长 500mm，其电长度即为 700mm（乘 1.4 缩短系数），扫频方案可选 46~56 MHz， $\Delta F=2\text{MHz}$ 即可；



- 仪器在测 S_{11} 状态下（布置与连接同前面的实验），接上待测电缆。记下待测电缆在末端开路与短路时的输入电抗值（不管电阻值），两者相乘后开方即得特性阻抗值；

- 一般测试只选一点最靠近 270° 的点（即 50Ω ）进行计算即可，要求高时，可在 $50 \pm 10\Omega$ 范围内选 5 点进行平均，这 5 点之间起伏不应大于 0.5Ω ，否则电缆质量不好；

- 电缆两端测出的特性阻抗有可能是不相同的，说明该电缆一头特性阻抗高，一头低。要求高时，应对样本进行掉头测试，两端测出的特性阻抗不应相差 0.5Ω 。

注意：(1)虽然所有 $\lambda/8$ 奇数倍的频点皆能进行测试，但只测了前面 $\lambda/8$ ，后面 $\lambda/4$ 及其倍数都是不参与的；它只提供了 0 点与 ∞ 点，而这两点只与长度有关，与 Z_0 无关。

(2)测 75Ω 电缆时，请用 50Ω 转 75Ω 阻抗变换器， 75Ω 端口作为新的测试口用 75Ω 校准件进行三项校准（开路、短路、校零），点击【阻抗单位】按键，选择 75 欧姆，这样阻抗圆图的示值才是 75 欧姆系统。

作法 1 的理论根据

在解传输线方程中，定义特性阻抗 $Z_C \equiv \sqrt{\frac{R_1 + j\omega L_1}{G_1 + j\omega C_1}}$ 由于 R_1 、 L_1 、 G_1 与 C_1 皆为微分量，因此特性阻抗 Z_C 也是一个微分量，当长度 $dl \rightarrow 0$ 时， Z_C 即成

为一个点参数或断面参数。纯理论而言，测试 Z_C 时的样本越短越接近真值。

短样本的损耗很小，可按无耗传输线处理。若短样本的长度为 l ，末端开路时的输入阻抗 Z_{in} 为 Z_{ino} ，末端短路时的输入阻抗 Z_{in} 为 Z_{ins} ，

$$\text{则： } Z_{ins} = jZ_C \tan \beta l, \quad Z_{ino} = -jZ_C \cot \beta l \quad \text{所以 } Z_C = \sqrt{Z_{ino} Z_{ins}}$$

事实上， Z_{ino} 与 Z_{ins} 皆呈现纯电抗性，不必计入电阻值。考虑到测试与计算的准确度，测试频率宜在几十兆赫（此时连接器与开短路引入的误差较小），电长度宜为其 $\lambda/8$ （此时为 45° ，数值计算误差最小。实在不行，也不要短于 3° ，或长于 87° ）。

此法的优点是反映了某一段电缆的真实特性阻抗，缺点是取样本困难；电缆出厂时是成捆或成盘的，最好不要截取样本而利用电缆一头一尾直接进行测试。

2、作法 2 平均特性阻抗 Z_{CA} 的测试

经常需要对成捆电缆进行测试。

- 仪器按测 S11 连接，按标准或合同规定的测试频点设置列表扫频方案，待测电缆一端装连接器；

- 仪器在新测试口作完开路、短路校正后，接上待测电缆，测其末端开路时的输入阻抗 Z_{ino} ，与末端短路时的输入阻抗 Z_{ins} 。两者相乘后开方即得特性阻抗值（只管模值，不计相位）。此法是符合标准的作法；

成捆电缆长度多在百米以上，这就要用到有耗传输线公式了。此时：

$$Z_{ino} = Z_{CA} \operatorname{ch} \gamma l, \quad Z_{ins} = Z_{CA} \operatorname{th} \gamma l, \quad Z_{CA} = \sqrt{Z_{ino} Z_{ins}}, \quad \text{代入各自的分量得：}$$

$$Z_{CA} = [\sqrt{(R_{ino}^2 + X_{ino}^2)} \sqrt{(R_{ins}^2 + X_{ins}^2)}]^{1/2}$$

从前一个式子来看，与无耗线完全相同，但是展开后却多了电阻分量，而变成复数求模（只要绝对值，不计相位）。

由于这个 Z_C 是在长电缆的情况下测出的，除非电缆很均匀才是 Z_C ，否则只能是 Z_C 的平均值 Z_{CA} 。

3、作法 3 用终端接匹配负载时的输入阻抗 Z_{inm} 来代替 Z_C 不管有耗无耗，只要传输线是均匀的，而且电缆两端装有连接器，当末端接上匹配负载时的输入阻抗 $Z_{inm} = Z_C$ 。

问题是电缆并不均匀，因此测出的是频段内的极值；这就对电缆提出了更苛刻的要求。虽然此法对质量最有保证，而且测试也最为简便，但不易通

过验收测试。

视具体情况，可任选一种或两种方法，也可三种方法全作。

四、实验报告

电缆末端开路时的输入阻抗 Z_{ino} ：

电缆末端短路时的输入阻抗 Z_{ins} ：

电缆特性阻抗 $Z_c = \sqrt{Z_{ino} Z_{ins}}$ ：

衰减器的测量

衰减器在射频测量中是一种常用器件，标准衰减器在射频幅度测量中是用来作校正的。常规衰减器通常是用来改善系统匹配，从而改善小插损测试精度的。作为标准则不但要求反射小，而且衰减量要准确。若仅仅是为了隔离以改善测插损精度的这种固定衰减器还是好作的。因为它主要要求为输入反射小，而并不要求衰减值准确。

这里介绍两种形式的常规衰减器，这在 1GHz 以下，在微带线上串、并分立电阻是很容易作成的，作到 3GHz 或更高就不太容易了。

(1) π 型结构

原理图如右图，要求 $Z_i = Z_0, V_2 / V_1 = T$

由于只有两个节点，适于节点电压法求解，经过推导（不妨自己推一下），可得如下公式：

$$R_2 = Z_0 \frac{1+T}{1-T} \quad R_1 = Z_0 \frac{1-T^2}{2T}$$

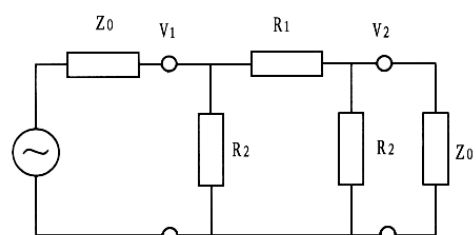


图 2.2 π 型电路

常用数值见下表

π 型结构衰减值与阻值关系表

衰减 dB	3	6	10	20	30
$R_2 \quad \Omega$	292	150	96.2	61.1	53.3
$R_1 \quad \Omega$	17.7	37.4	71	247.5	789.8

(2) T型结构

原理图如右图，要求同上。由于

只有两个回路，适于用回路电流法求解，可得：

$$R_2 = Z_0 \frac{1-T}{1+T} \quad R_1 = \frac{Z_0^2 - R_2^2}{2R_2}$$

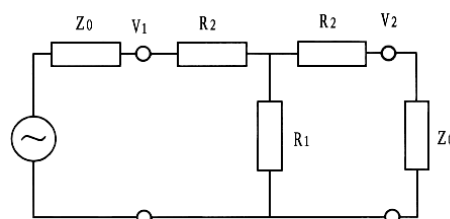


图 2.3 T 型电路

常用数值见下表

T型结构衰减值与阻值关系表

衰减 dB	3	6	10	20	30
$R_2 \quad \Omega$	8.55	16.6	26	40.9	46.9
$R_1 \quad \Omega$	141.9	6.7	35	10.1	3.2

(3) 讨论

同轴线形式的衰减器用 T 型结构的多一些，微带线形式的衰减器用 π 型结构多一些。采用何种结构取决于用途、器件以及实现的难易。

频率较高时，作 30dB 的衰减器，不如作 3 节 10dB 的衰减器级连起来。

一、实验目的

掌握同轴固定衰减器的测量方法，知道计算公式与基本结构

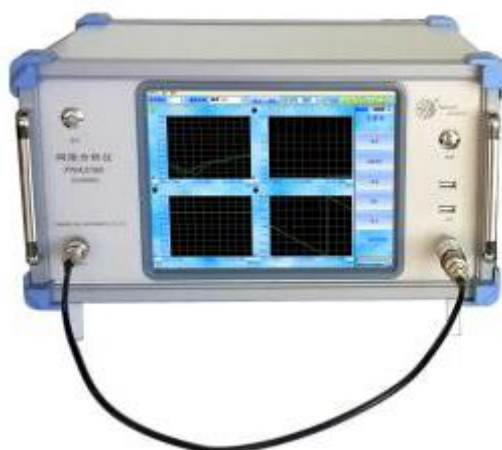
二、仪器准备

PNA37020(或 PNA37030)及其附件，待测衰减器一只

三、实验项目

衰减器的驻波比测量及插损频响测试

- 扫频方案可任意设定。点数不宜超过 21 点。
- 接法如图，端口 1 接测试电缆，新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正，端口 2 同样操作，通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直通，断开双阴接负载，校泄露；或者采用端口 2 不接测试电缆的直接连方法，进行仪器校正。
- 串入待测衰减器，【曲线切换】显示待测衰减器的输入阻抗轨迹、驻波曲线和频响曲线。
- 一般要求 $\rho \leq 1.5$ ；要求高时，最好 $\rho \leq 1.2$ 。



四、实验报告

1. 衰减器的插损频响曲线一张
最大误差范围
2. 衰减器的驻波比频响曲线
J 端的驻波比频响曲线
K 端的驻波比频响曲线

功率分配器的测量

当一路传输线要分成多路时，就得用上功率分配器（简称功分器）。常用的为等功率分配器，最简单的是两路。功分器反过来也可作合成器用，这里只谈功分器。

功分器有如下几项指标：

主路驻波比 各支路端接匹配负载时，由主路测出的驻波比。

各支路的衰减与插损 衰减为理论值，实测值与理论值之差为插损。

各支路间的隔离度 在主路端接匹配负载后，两支路之间的插损为隔离度。

各支路的相移差 有的功分器有此要求。

一. 实验目的

了解功分器的外部特性，知道各个指标的测量方法。

二. 实验准备

PNA37020(或 PNA37030) 及其全套附件，两路功分器一只，负载 1 只。

按功分器的使用频率设置扫频方案。点数不要超过 21 点，否则数据太多。



三. 测量步骤

仪器的校准：端口 1 接测试电缆，对新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正。对端口 2 进行同样校准。通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直通，断开双阴二端接负载，校泄露。校准完成接上被测件。

1、主路驻波比测量

· 接功分器的主路与某一支路上，另一支路接上匹配负载。此时屏幕上可出现输入阻抗轨迹，看不清时可放大。看看该器件的水平如何（点子越集中越靠近原点越好）；

2、各支路的幅相特性

- 记下各频点的插损与相位；
- 交换两支路的连接，记下另一路各频点的插损与相位。

3、两支路的幅相差异

两支路的幅相差异虽可通过上述数据进行计算，但最好用下法进行测试。

- 保持前面主路进，某一支路出的接法不变，按校直通；
- 交换两支路的连接，记下或打印另一路各频点的插损与相位。这就是两支路的幅相差异，因为这次是用一路为准校的直通，这就避免了计算，而且更直观醒目。

4、支路间的隔离度测量

- 将接负载的支路的负载拔下接到主路上，而主路的电缆接到支路上，记下各频点的插损，这就是隔离度。

四. 实验报告

1. 主路驻波比频响曲线
2. 任一支路的幅相频响曲线
3. 两支路的幅相差频响曲线
4. 两支路的隔离度频响曲线

定向耦合器的测量

当两段带线共用一个外腔互相耦合而又匹配时，就会在一定频带内出现定向耦合现象。即耦合度与信号流向有关，这种四端口器件称定向耦合器。这种器件可用于监测线上的入射波或反射波，也可做成简单的传输分配器件，因为它的耦合度可以随意设计，而且隔离度很好。

通常用作传输分配器件时，是将一个负载接在隔离端口封装在里边，对外只有三个端口。一进两出，箭头表示流出方向。

定向耦合器有如下几项指标：

直通路的插损 直通路输出比输入减小的分贝数

耦合度 耦合端口输出比直通端口输出小的分贝数

方向性 掉转直通路的信号流向，耦合度减小的分贝数

直通路的驻波比 两输出路端接匹配负载时，由输入路测出的驻波比

一．实验目的

了解定向耦合器的外部特性，掌握其指标的测量方法。

二．实验准备

PNA37020(或 PNA37030) 及其全套附件，定向耦合器一只。

按定向耦合器的使用频率设置扫频方案。点数不要超过 21 点，否则数据太多。

三．测量步骤

仪器的校准：端口 1 接测试电缆，对新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正。对端口 2 进行同样校准。通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直通，断开双阴二端接负载，校泄露。校准完成接上被测件。

1、插损的测量

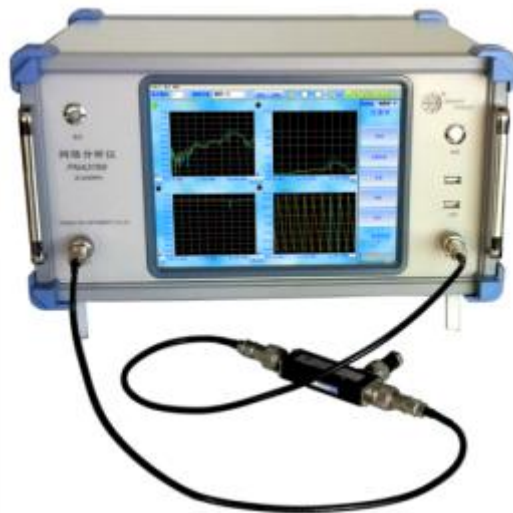
拔下二负载，将两根电缆的一端，分别接到被测件定向耦合器的直通路的输入与输出端，耦合路输出端接上匹配负载。记下各频点的插损，这就是直通路的插损（S21）。

2、耦合度的测量

将耦合路上的负载拔下，再将接在直通路输出端的电缆拔下接到耦合路输出端口上，耦合口上的负载接到直通路输出端上（即交换两输出端的连接），记下输出路各频点的插损，这就是耦合度（耦合路上的 S_{21} ）。

3、定向性的测量

交换直通路的连接，即将原来接负载的改接电缆，而原来接电缆的改接负载。也就是信号流向颠倒了，记下各频点的插损，它们与耦合度之差即定向性。



定向性的另一种测量方法：

- 仪器输出端接到定向耦合器主路出口，仪器输入端接到定向耦合器耦合路反射口。

- 在主路入口进行开路校正；接上短路器进行短路校正。取下短路器，接上负载，用对数档观察即得定向性。

4、主路驻波比测量

接上定向耦合器的主路输入插座，各支路端接匹配负载。屏幕上【曲线切换】显示待测定向耦合器的主路驻波曲线；

四. 实验报告

1. 主路插损最大值
2. 耦合度频响曲线
3. 定向性最低值
4. 主路驻波比最大值

隔离器的测量

在放大器的输出端（或级间），通常要接入一个隔离器，以免外部负载故障时，不至于损坏放大器。

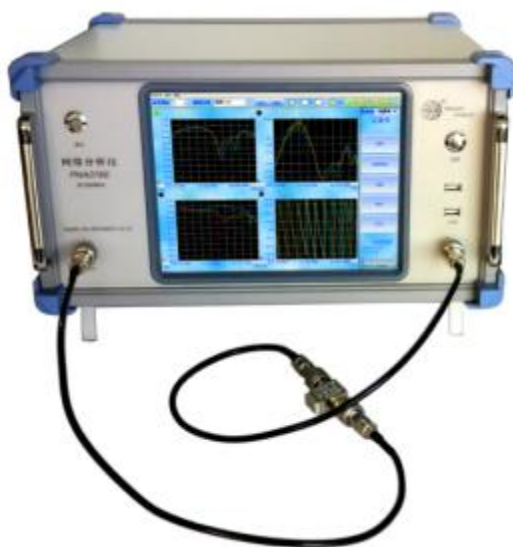
常见的隔离器，是由一个铁氧体环流器在其第 3 端口接上匹配负载得到的。环流器的信号是由端口 1 流向端口 2，端口 2 流向端口 3，端口 3 流向端口 1，形成环流。由于在端口 3 接了一个匹配负载（内附）将信号吸收了，这就形成了一个单行器。

信号只能由端口 1 流到端口 2，而端口 2 的信号（通常是反射）是回不到端口 1 的。这就起了隔离作用，因此常称隔离器。

隔离器的指标有：端口 1 到端口 2 的插损，端口 2 到端口 1 的隔离度，端口 1 的输入驻波比，而端口 2 的驻波比通常是不管的。

一、实验目的

了解隔离器的外部特性，知道各个指标的测量方法。



二、实验准备

PNA37020(或 PNA37030) 及其全套附件，隔离器一只。

按隔离器的使用频率设置扫频方案。点数不要超过 21 点，否则数据太多。

三. 测量步骤

端口 1 接测试电缆，新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正，端口 2 同样操作，通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直通，断开双阴接负载，校泄露；

插损与驻波比测量：

- 拔下负载，接上隔离器，看端口 1 到端口 2 的插损与驻波比曲线及其数据。再看端口 2 到端口 1 的插损与驻波比，此插损即隔离度，而此驻波比通常不计

- 记下测试曲线及数据

四. 实验报告

- 1、插损频响曲线，一般要求通带内插损 $\leq 0.3\text{dB}$
- 2、驻波比频响曲线，一般要求通带内驻波比 ≤ 1.2
- 3、隔离度频响曲线，一般要求频带内 $\geq 20\text{dB}$

和差器的测量

和差器是一个四端口网络，外形似两个T字，故有双T或魔T之称。一种同轴和差器是由一个两路功分器与一个平衡器对接组成，两对接处成两个输入/输出口。功分器的一路称和支路（ Σ 路），平衡器的一路为差支路（ Δ 路）。

当两路信号由两个输入/输出口输入时，和支路输出为两信号之和，差支路输出为两信号之差。而当信号由和支路输入时，信号分为两路由输入/输出口输出，两路信号是同相的，信号不到差支路。当信号由差支路输入时，信号分为两路由输入/输出口输出，两路信号是反相的，信号不到和支路。

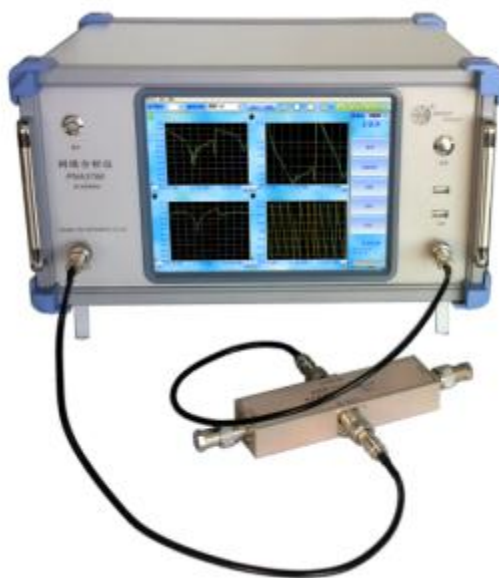
和差器的和与差两路之间的隔离度是关键指标，又称共模抑制比（CMRR），习惯上又称为零深。因为两路信号很难真正消到零，通常只能消到-30~-40dB。

一、实验目的

了解和差器的外部特性，知道各项指标的测量方法。

二、实验准备

PNA37020(或 PNA37030) 及其全套附件，和差器一只，负载二只。



按和差器的使用频率设置扫频方案， $BF=800\text{MHz}$ ， $\Delta F=20\text{MHz}$ ， $EF=1200\text{MHz}$ ，点数不要超过 21 点，否则数据太多。

三、测量步骤

端口 1 接测试电缆，新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正，端口 2 同样操作，通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直通，断开双阴接负载，校泄露。

拔下负载，端口 1 的测试电缆接上和支路输入插座，端口 2 的测试电缆接差支路，两个输入/输出口端接二个匹配负载。此时屏幕上可以显示和支路和差支路的输入阻抗轨迹、驻波比以及和差器的零深（插损）。

将接在和支路的电缆拔下，接到某一输入/输出口上，原来的负载接到和支路上，记下各频点的插损与相位，这就是差支路的一路输出；

交换两输入/输出的连接，记下各频点的插损与相位，这就是差支路的另一路的输出。注意两支路的相位差约 180° ，而幅度差别不大；

也可交换和差支路连接，可测和支路在两输入/输出的输出是基本同相等幅的。

四. 实验报告

- 1、 和支路驻波比频响曲线
- 2、 差支路驻波比频响曲线
- 3、 隔离度频响
- 4、 差支路输入时，两输入/输出口的幅度差异曲线
- 5、 差支路输入时，两输入/输出口的相位差异曲线
- 6、 和支路输入时，两输入/输出口的幅度差异曲线
- 7、 和支路输入时，两输入/输出口的相位差异曲线

滤波器的测试

滤波器是一种两端口传输器件，它对有些频率（通带）插损小，而对其他频率（止带）插损大。常用的有低通、高通与带通，也有用带阻的；用两个滤波器可做成双工器，多个滤波器可做成多工器。

滤波器的指标有：

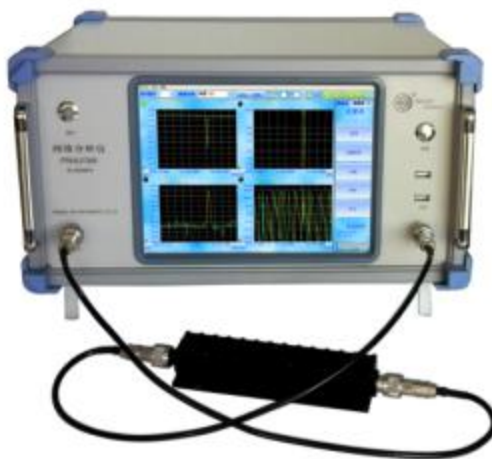
- 1、通带插损及其平坦度
- 2、通带驻波比
- 3、止带插损
- 4、通带群时延及其平坦度

一. 实验目的

了解滤波器机理，掌握其指标的测量方法。

二. 实验准备

PNA37020(或 PNA37030) 及其全套附件，滤波器一只。



按滤波器的使用频率设置扫频方案。如 $BF=1830\text{MHz}$, $\Delta F=2\text{MHz}$, $EF=1990\text{MHz}$ 。

三. 测试

端口 1 接测试电缆，新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正，端口 2 同样操作，通过双阴连接端口 1 和端口 2 的测试电缆，校直

通，断开双阴接负载，校泄露。

拔去负载，接上滤波器，即可看到频响曲线、群时延曲线、驻波比曲线。

四. 实验报告

1. 滤波器的插损频响曲线
2. 滤波器的驻波比频响曲线
3. 滤波器的时延曲线

附录：滤波器的试制（选项）

具体做法：

计算一个简单滤波器的参数，并将其作出，以加深对原理的理解，与测试的掌握。

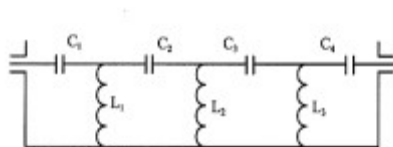


图 12-12 高通滤波器电路图

找一个书上现成的例子，在截止频率上测电抗，然后拼成滤波器。适合于用带线或直接架空在一有两个插座的平板上焊成，电容可用开路电缆或自制，电感可用一段光线接地即可，频率可用在 1000MHz 以下，此时尺寸小一些，而且公差还能承受，作时先将各电抗值算出，然后在 PNA3620 上调节各个电抗值，最后焊在一起即可，性能不一定很好，但定性趋势不会错。图上为高通，也可作低通或带通。这是一个测电抗作滤波器的实验。

自制一如图所示的 7 节高通滤波器，截止频率 $f_c=500\text{MHz}$ 。

1. 计算

查有关滤波器书上表格，可得切比雪夫响应起伏 0.1dB 时的 g_k 值为：

$g_1 = g_7 = 1.18, g_2 = g_6 = 1.42, g_3 = g_5 = 2.1, g_4 = 1.57$ 即可算出：

$$X_{C1} = X_{C4} = -j1.18 \times 50 = -j59\Omega, \quad X_{C2} = X_{C3} = -j2.1 \times 50 = -j105\Omega$$

$$X_{L1} = X_{L3} = j50/1.42 = j35\Omega, \quad X_{L2} = j50/1.57 = j31.8\Omega$$

2. 制作

- ① 在一块 $3 \times 7\text{cm}^2$ 的罐头铁皮上，固定一只 N-50JF（带法兰盘的插头）与一只 N-50KF（带法兰盘的插座）。间距约 4cm。
- ② 仪器设置为 500MHz 点频测回损，接上 N-50JF 后校开路与短路（用

薄铜皮)。

- ③ 用一长约 2cm、直径 0.5~1 的光铜线，一头焊在 N-50JF 内导体上，一头焊在地(铁皮)上，调节离地高度与线长，以得到两根 $j35\Omega$ 与一根 $j31.8\Omega$ 的电感。
- ④ 修剪开路电缆或自制电容长度，以得到两只 $-j59\Omega$ 与两只 $-j105\Omega$ 的电容。自制电容可用薄铜皮剪成宽约 3~4mm 小条，用厚 0.1mm 的聚四氟乙烯薄膜包住后，再用一条 6~8mm 宽的薄铜皮包起来压住即得，注意不要短路。
- ⑤ 按图将调节好的零件焊接起来，进行调试。

3.调试

仪器按 $BF=30\text{MHz}$, $\angle F=12.5\text{MHz}$, $EF=1030\text{MHz}$ 测插损设置,校直通后,将滤波器接入即可观测频响。可调节光铜线高度或长度以得到较好的频响。

4.报告内容

绘出原理或结构示意图，附上测试频响曲线。

用 $\lambda/2$ 短路线测 ϵ_r

此法的实质是测一段已知长度的同轴线，在什么频率下的相移为 360° 。

$$\phi = -2\beta l \sqrt{\epsilon_r} = -720l \sqrt{\epsilon_r} / \lambda = -720lf \sqrt{\epsilon_r} / 300 = -2.4lf \sqrt{\epsilon_r}$$

式中 f 的单位为 MHz， l 的单位为米，现在的线长为 0.068 米，所以：

$$\sqrt{\epsilon_r} = 2206 / f$$

由于短路时的相位为 180° ，所以只要找出被测 $\lambda/2$ 短路线的反射相位最靠近 180° 时的频率，即可算出相对介电常数 ϵ_r 。

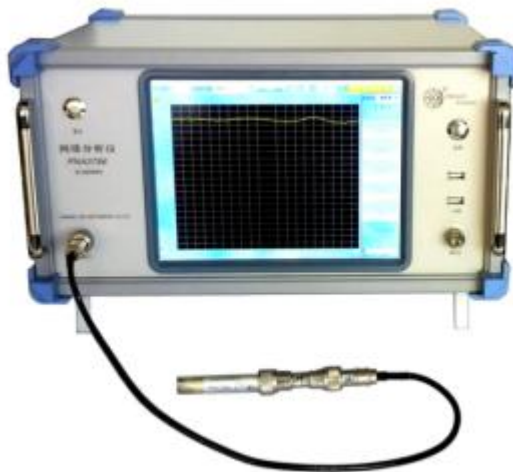
一、实验目的

掌握一种在射频频率下，测试相对介电常数 ϵ_r 的方法。

二、实验准备

PNA37020(或 PNA37030)及其全套附件，待测样本已装入的 $\lambda/2$ 短路线一根。

扫频方案设为 $BF=1520\text{MHz}$ ， $\Delta F=1\text{MHz}$ ， $EF=1600\text{MHz}$ 。



三、测试

端口 1 接测试电缆，新的测试端口（测试电缆末端）进行开路、短路与校零三项校正。

拔下负载，接上待测样本。此时屏幕上已出现输入阻抗轨迹；

移动光标，找出反射相位 ϕ 最靠近 180° 时的频率 f ；

代入公式，算出 ε_r

$$\varepsilon_r = (2206/f)^2$$

四. 实验报告

相位 φ 最靠近 180° 的频率为：

$\varepsilon_r =$

用 $\lambda/4$ 法分离测试误差

一、实验目的

知道一种分离测试误差的方法。

二、实验准备

PNA37020(或 PNA37030)及其全套附件,量角器一只,另加保护接头一只。这里是把这个保护接头当成 $\lambda/4$ 标准线用的,严格来讲精度是不够的,但本实验着眼于了解一种方法,而不在乎精度。

扫频方案设为 $BF=EF=1560\text{MHz}$, 对于 48mm 长的保护接头正好呈现 $\lambda/4$ 。



三、作法

1. 反射系数测量

端口 1 接测试电缆,新的测试端口(测试电缆末端)进行开路、短路二项校正。

拔下短路器,接上精密负载,点击测量记下驻波比 SWR 值与反射相位 ϕ 值。

$$|\Gamma_1| = (\text{SWR} - 1) / 2, \quad \Phi_1 = \Phi$$

· 拔下精密负载,接上 $\lambda/4$ 线,末端再接上精密负载。记下驻波比 SWR 值与反射相位 ϕ 值。

$$|\Gamma_2| = (\text{SWR} - 1) / 2, \quad \Phi_2 = \Phi$$

2、作图

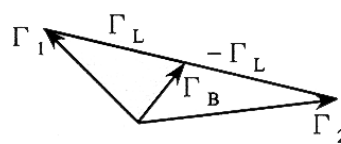


图 8-13 $\lambda/4$ 法

· 在一张纸上画一横线，以中点作为原点 O ，以 O 点右边的线为 0° ，以原点 O 为起点，按适当比尺在纸上画出 Γ_1 与 Γ_2

· 连接 Γ_1 与 Γ_2 的顶点画一线段，找出此线段中点 M ，连接 OM 得 Γ_B （仪器测试口包括保护接头的剩余反射）。 M 到 Γ_1 与 Γ_2 顶点的两段线，分别 Γ_L 与 $-\Gamma_L$ （精密负载的剩余反射）。

注：1. 作图比较直观，精度也足够。当然也可以用公式笔算。

2. 不是 $\lambda/4$ 也能进行分离，参见波导实验一节。

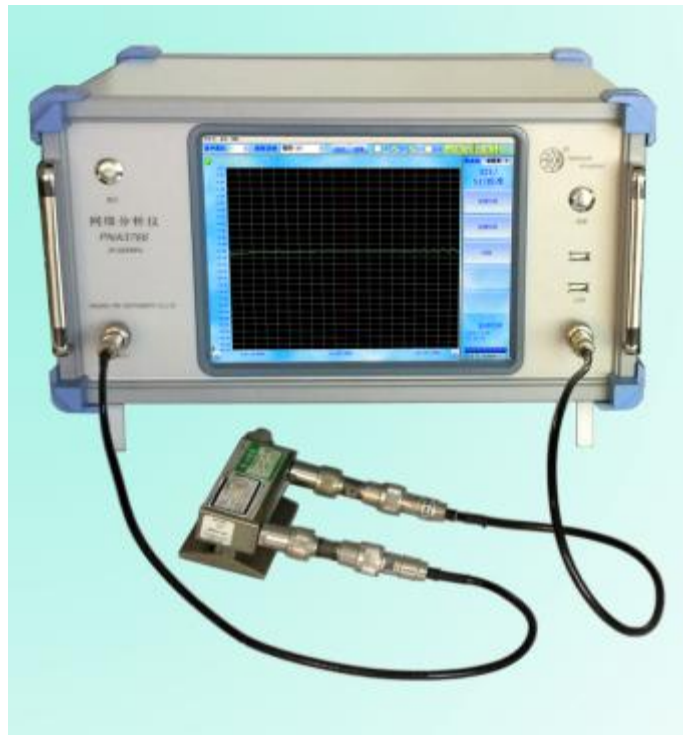
仪器的性能验证

一、实验目的

知道一种仪器的性能验证的方法

二、实验准备

PNA37020(或 PNA37030)及其附件,标准步进衰减器一只,可调短路线一根,作为标准用的精密负载一只。



三、验证项目

1. 插损读数验证

- 在端口 1 与端口 2 间接入一个标准可变衰减器, 参见图;
- 标准可变衰减器置 10dB 处;
- 设置扫频方案 BF 设为仪器规定考核的最低频率, 设置 ΔF 使得 N 在 41 以下, EF 即可达到仪器最高频率左右;
- 在选择插损测试 (S21), 按【直通】键;
- 按【测量】键, 此时测试值应为一在 0dB 附近的直线, 一般起伏约在 0.2dB 左右, 否则说明预热时间不够, 或有其他问题, 必要时按【复位】键

再执行一次后才进行测试；

- 搬动衰减器，测 0-50dB 衰减数值(直接读数为 10-60dB)，记下最大误差填入表内；

- 标准可变衰减器置 0 dB(即由 0dB 起读)，校直通后，置 60 dB 看 60dB 档误差。断开输入电缆后显示器上数字即动态范围，应 $\geq 70\text{dB}$ 。

2.验证测相精度

- 可以用传输法测试，也可用反射法测试，这里介绍用反射法测试，因为可调短路线比较容易获得；

- 按图连接并将扫频方案设为 BF=EF=1250MHz 点频；
- 在主菜单下选 S11，对端口 1 进行三项校准；
- 短路线游标置 60mm（对 1250MHz 而言，即 $\lambda/4$ ）处，按【开路】键；
- 将短路线置 0 处，按【短路】键；
- 移动短路线，记下测试值与实验报告中理论值的误差，最大误差 $\leq \pm 5^\circ$ ；

注：对于 30~3200MHz、30~6000MHz 仪器：

- 作法相似，但测试点频率改为 2500 MHz，进行开路校正时短路线置 30mm 处，

进行短路校正时短路线置 0mm 处。

- 移动短路线，记下测试值与下表理论值的误差，最大误差 $\leq \pm 10^\circ$ ；

短路线 mm	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
理论值(度)	180	120	150	90	60	30	0	330	300	270	240	210

3. 验证定向性

- 扫频方案同上，按回损测试步骤进行开路与短路校正；
- 将标准负载接在反射电桥测试端口，测试点的数值即定义为定向性；
定向性 $\geq 40\text{dB}$ 。

4. 验证精密负载

- 扫频方案同上，按回损测试步骤进行开路与短路校正；
- 将标准负载接在测试端口，按菜单键后选校零项，再按执行键；
- 接上待验精密负载，显示曲线应在 -40dB 以下。

注：标准负载是一种经过计量的精密负载，平时不作他用，只用来校零。

四. 实验报告

1、 插损精度测试

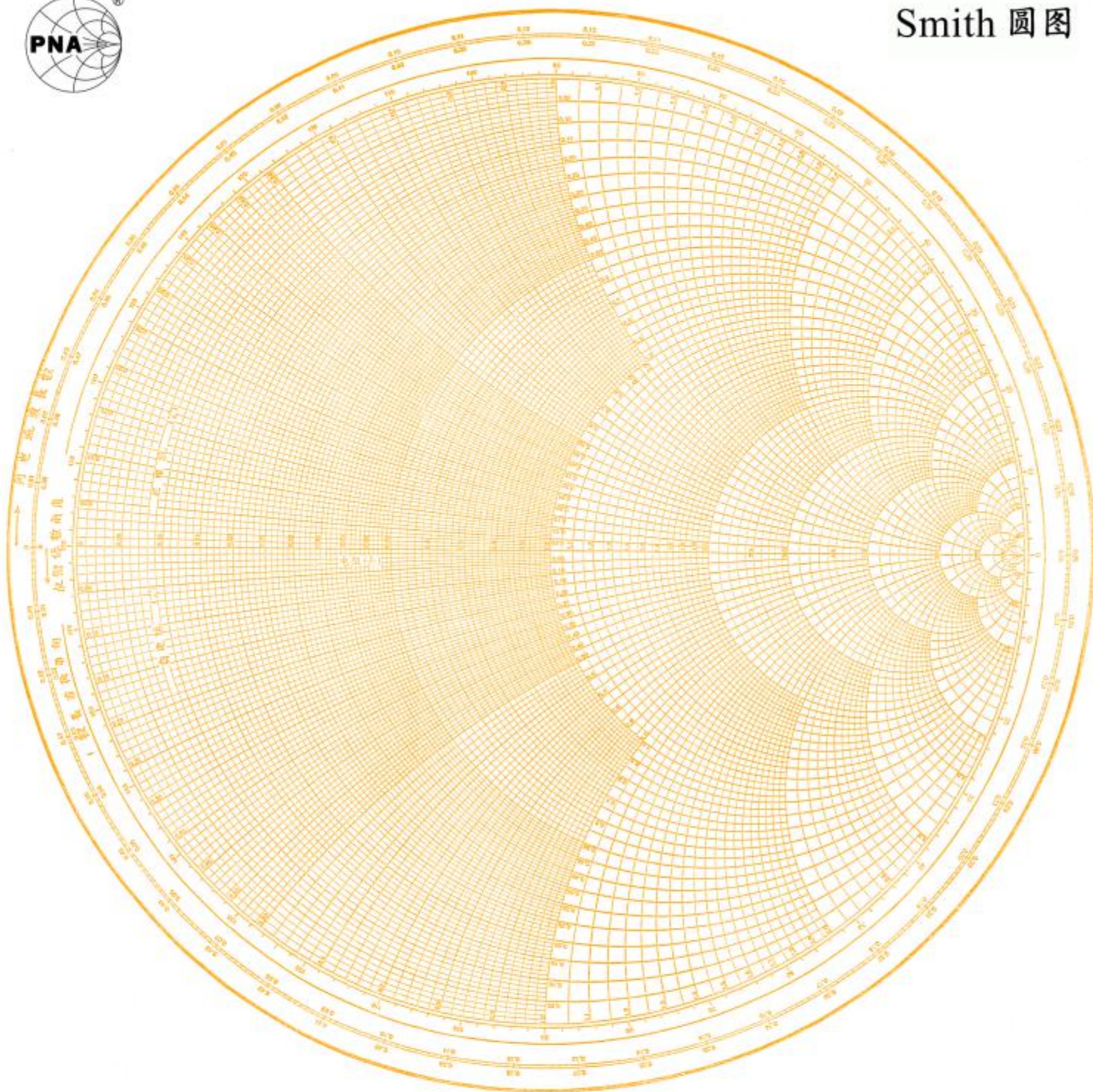
衰减值 dB	0	10	20	30	40	50	60
实测值 dB	± 0.3	± 0.6	± 0.8	± 1.1	± 1.5	± 2.1	± 5
误差 dB							

2、 相位精度测试 (测试频率 1250MHz)

短路线 (mm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
理论值 (度)	180	150	120	90	60	30	0	330	300	270	240	210
实测值												
误差												

3、 电桥定向性:

4、 负载回损:



备注:

年 月 日

高校射频实验系统



电感、电容



隔离器



双阴连接器



保护接头



匹配负载



2.0失配负载



功分器



20dB衰减器



$\lambda/2$ 短路线



定向耦合器



和差器



滤波器



单支节（射频实验选件）



射频实验箱

高校天线教学实验系统



环天线



磁介质贴片天线



对数周期天线



偶极子天线



印刷振子天线



螺旋天线



半波振子天线



单极子天线



全波振子天线



八木天线



缝天线



天线实验箱

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