

# 继电保护高频通道 调试运行技术

继电保护组 编

浙江省电力试验研究所

# 继电保护高频通道 调试运行技术

继电保护组 编

浙江省电力试验研究所

# 前 言

本书是在我所 81 年编写的“继电保护的高频通道及调试技术”讲义的基础上，经过修订充实而成的。

本书共十一章，各章的内容均比原讲义有不同程度的增删及补充。原讲义中的第五章和第六章因内容有重复，在本书中已合编成第六章《高频电缆和输电线路》，原讲义第十一章《高频通道运行中的一些问题》取消，已将其中的内容编入到有关章节中去。

本书的第一、二、五、十一章和高频通道运行中的一些问题内容由蔡振鑫同志编写，其他各章由朱祥生同志编写。

原讲义的 80 年、81 年的两次版本得到了不少读者、特别是现场工作同志的热情支持，对有些内容提出了宝贵意见，对此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，即使对原讲义内容作了较多修订补充，错误不妥之处仍旧难免，书中内容不一定完全适合各兄弟电网的情况，恳请各读者继续提出批评改正意见。

编 者

1983.3.

# 目 录

## 前 言

<b>第一章：基本知识</b> .....	( 1 )
一、对高频讯号传输的要求.....	( 1 )
二、电 平.....	( 1 )
三、匹 配.....	( 5 )
<b>第二章：四端网络</b> .....	( 7 )
一、四端网络的基本原理.....	( 7 )
1. 四端网络的混合参数方程及其系数的关系.....	( 7 )
2. 四端网络混合参数方程的系数与逆向混合参数方程的系数的关系.....	( 9 )
3. 四端网络的特性阻抗.....	( 10 )
4. 四端网络特性阻抗的测量.....	( 13 )
5. 用混合参数表示四端网络的固有衰减.....	( 15 )
6. 用开路短路输入阻抗表示四端网络之固有衰减.....	( 16 )
7. 四端网络的固有衰减的双曲线函数表示法.....	( 17 )
8. T形四端网络与 $\Gamma$ 形四端网络的等效性.....	( 18 )
9. $\pi$ 形四端网络与 $\pi$ 形半节的等效性.....	( 24 )
10. 四端网络作为滤波器使用时的通频带.....	( 28 )
二、四端网络输入阻抗和特性阻抗的测试方法.....	( 28 )
1. 输入阻抗的测定.....	( 28 )
2. 特性阻抗的测定.....	( 29 )
三、各种衰耗及测试方法.....	( 30 )
1. 固有衰耗 $b_0$ .....	( 30 )
2. 介入衰耗 $b_I$ .....	( 30 )
3. 工作衰耗 $b_p$ .....	( 31 )
4. 传输衰耗 $b_c$ .....	( 32 )
5. 反射衰耗 $b_{反}$ .....	( 32 )
6. 分流衰耗 $b_F$ .....	( 33 )
7. 回波衰耗 $b_{回}$ .....	( 34 )
8. 跨越衰耗 $b_{跨}$ .....	( 35 )
<b>第三章：高频通道的构成及高频电流的传输</b> .....	( 36 )
一、高频通道的构成.....	( 36 )

二、高频通道的对称分量分析法	( 37 )
三、高频通道的模式分析法	( 39 )
1. 模式分介原理	( 39 )
2. 模式分析法应用举例	( 41 )
<b>第四章：高频阻波器</b>	( 48 )
一、高频阻波器的用途和对它的要求	( 48 )
二、阻波器的种类和工作原理	( 50 )
1. 单频阻波器	( 50 )
2. 单频展宽阻波器	( 54 )
3. 双频阻波器	( 56 )
4. 带频阻波器和宽带阻波器	( 57 )
5. 无调谐阻波器	( 59 )
三、阻波器调谐元件的过电压保护	( 62 )
四、选择阻波器时的注意事项	( 63 )
五、阻波器的调试	( 63 )
1. 外部检查	( 63 )
2. 绝缘检查及避雷器放电电压测试	( 63 )
3. 阻波器调谐	( 64 )
4. 阻波器阻抗特性 $Z_G = F(f)$ 的测定	( 65 )
六、阻波器运行中发生过的问题及检查方法	( 66 )
1. 发生过的问题	( 66 )
①单频阻波器调谐电容器击穿	( 66 )
②宽带阻波器中电容器击穿	( 66 )
③关于三相均挂宽带阻波器出现的问题	( 67 )
④关于运行中阻波器坠落的问题	( 74 )
⑤关于运行中避雷器放电电压下降的问题	( 75 )
2. 运行线路检查阻波器的方法	( 75 )
①拉线路开关的方法	( 75 )
②测量输入阻抗的方法	( 76 )
③测量跨越衰减的方法	( 76 )
<b>第五章：结合滤波器和耦合电容器</b>	( 78 )
一、结合滤波器和耦合电容器的用途和要求	( 78 )
二、结合滤波器的工作原理、设计及新型结合滤波器	( 78 )
1. 互感电路的诸参数	( 78 )
2. 结合滤波器的等效电路	( 84 )
3. 结合滤波器的通频带	( 88 )

4. 结合滤波器的最大特性阻抗值及其发生最大特性阻抗时的频率	( 95 )
5. 耦合系数 $k$ 对各频率点及特性阻抗的影响	( 97 )
6. 结合滤波器的有效通频带	( 98 )
7. 关于低频段结合滤波器的制造	( 102 )
8. 抽头式全频段匹配结合滤波器	( 106 )
9. 结合滤波器的设计	( 108 )
10. 关于耦合电容器 $C$ , 容量与结合滤波器过频带的关系问题	( 115 )
11. 大电容量耦合电容器的全频段结合滤波器	( 116 )
12. 关于低 $k$ 值结合滤波器的一个错误的结构线路	( 120 )
三、结合滤波器和耦合电容器的技术规范	( 123 )
四、 $JL_2$ 型结合滤波器的现场改制	( 127 )
1. 改制方法	( 127 )
2. 改制原理	( 128 )
3. 改    例	( 129 )
五、耦合电容器及结合滤波器的试验	( 131 )
<b>第六章：高频电缆和输电线路</b>	( 134 )
一、高频电缆和输电线路的用途和特点	( 134 )
二、长线路传输方程式	( 134 )
1. 均匀线路的传输方程式	( 134 )
2. 输入阻抗与负载的关系	( 142 )
3. 输入阻抗与频率的关系	( 144 )
4. 输入阻抗与线路长度的关系	( 146 )
三、分支线对高频通道的影响	( 147 )
四、关于同杆架设双回线问题	( 150 )
五、架空线与电力电缆连接的混合线路	( 150 )
六、高频电缆的结构和技术数据	( 153 )
七、高频电缆的试验	( 156 )
1. 外部检查	( 156 )
2. 绝缘试验	( 156 )
3. 高频电缆波阻抗 $Z_c$ 的测定	( 156 )
4. 高频电缆的衰耗特性 $b_p = F(f)$ 和输入阻抗特性 $Z_{\lambda \cdot K} = F(f)$	( 157 )
5. 用谐振法测定高频电缆的固有衰耗	( 157 )
八、输电线高频参数和模式参数的测试	( 158 )
1. 高频参数的测试	( 158 )
2. 模式参数测试	( 160 )
<b>第七章：分频滤波器</b>	( 168 )

一、复用通道出现的问题	( 168 )
二、对分频滤波器的要求	( 169 )
三、分频滤波器的种类和工作原理	( 169 )
1. 两端网络式的分频滤波器	( 169 )
2. 高低通式的分频滤波器	( 174 )
① K式高低通滤波器	( 177 )
1) 通频条件和截止频率	( 177 )
2) 衰耗和相移	( 178 )
3) 特性阻抗	( 179 )
4) K式滤波器的优缺点	( 181 )
② m式高低通滤波器	( 181 )
1) m式滤波器的构成	( 182 )
2) m值对传输常数 $g = b + ja$ 的影响	( 186 )
3) m值对相移特性的影响	( 188 )
4) m值对特性阻抗的影响	( 189 )
3. 带通带阻型分频滤波器	( 192 )
① K式带通带阻滤波器	( 193 )
1) K式带通滤波器	( 193 )
2) K式带阻滤波器	( 198 )
② m式带通滤波器	( 200 )
4. 差桥式带通滤波器	( 202 )
① 差桥滤波器的工作原理	( 203 )
1) 差桥滤波器的结构	( 203 )
2) 工作原理	( 204 )
3) 特性阻抗 $Z_c$	( 204 )
4) 衰    耗	( 204 )
② 四元件差桥滤波器	( 205 )
1) 特性阻抗	( 206 )
2) 固有衰耗 $b_0$	( 206 )
3) 元件计算式	( 207 )
③ 六元件差桥滤波器	( 208 )
1) 结构图	( 208 )
2) 特性阻抗	( 208 )
3) 固有衰耗	( 209 )
4) 六元件差桥滤波器的元件值	( 211 )
四、各种滤波器的设计方法及算例	( 212 )
1. 两端网络式的分频滤波器	( 212 )
2. 高低通式分频滤波器	( 213 )

3. 带通带阻型分频滤波器	( 219 )
4. 四元件差桥滤波器算例	( 221 )
5. 六元件差桥滤波器算例	( 222 )
五、试验方法	( 222 )
1. 绝缘耐压试验	( 222 )
2. 衰耗特性 $b_p = F(f)$ 和阻抗特性 $Z_{\lambda} = F(f)$	( 222 )
3. 大功率试验	( 224 )
4. 相互影响试验	( 226 )
六、关于使用分频滤波器中遇到的几个问题	( 227 )
1. 电感在大功率下的饱和问题	( 227 )
2. 关于带通滤波器前电压升高问题	( 227 )
3. 关于分频滤波器的阻抗匹配问题	( 228 )
<b>第八章：衰耗器</b>	( 229 )
一、衰耗器的用途	( 229 )
二、固定衰耗器的种类和计算公式	( 233 )
三、可变衰耗器的种类和计算公式	( 238 )
<b>第九章：高频通道的设计和频率选择</b>	( 241 )
一、通道设计、频率选择中要考虑的几个问题	( 241 )
1. 通道衰耗问题	( 241 )
2. 通道裕度	( 242 )
3. 工作频率的选择原则	( 246 )
二、采用模式分析法设计通道和选择频率的方法	( 247 )
1. 三相线路的传输衰耗 $b_{\Sigma L}$	( 247 )
2. 等附加衰耗曲线	( 252 )
3. 传播差常数曲线	( 255 )
4. 利用等附加衰耗曲线和传播差常数曲线选择结合方式和工作频率	( 256 )
<b>第十章：高频保护通道的整组试验</b>	( 259 )
一、高频通道衰耗和阻抗的测定	( 259 )
1. 单侧通道的测试	( 259 )
2. 高频通道总衰耗和输入阻抗的测试	( 261 )
二、高频通道的通道裕度试验	( 262 )
1. 降低发讯功率的方法	( 262 )
2. 外串附加衰耗器的方法	( 263 )
3. 测量接收电压的方法	( 263 )
三、接收电压调整	( 263 )



四、电源电压变动对通道工作的影响试验	( 264 )
五、相差动高频保护的相位特性曲线试验和闭锁角整定	( 264 )
1. 对GCH—1型相差动高频	( 264 )
2. 关于JGX—11A的闭锁角整定	( 265 )
六、相邻通道干扰试验	( 266 )
七、利用负荷电流检查相差高频保护两侧电流回路相别一致性	( 275 )
八、正常通道测试	( 277 )
<b>第十一章：收讯滤波器</b>	( 279 )
一、耦合回路的耦合系数	( 279 )
二、收讯槽路的等效电路	( 282 )
三、产生初级回路电流最大的条件	( 284 )
四、产生次级回路电流最大的条件	( 284 )
五、耦合回路产生最佳匹配耦合传输的公式	( 287 )
六、谐振曲线	( 287 )
七、临界耦合时的通过波带	( 291 )
八、收讯滤波器通过波带的通式及分析	( 292 )
九、收讯滤波器公式汇总	( 294 )
<b>附    录</b>	( 296 )
附录 I  继电器保护高频通道试验项目	( 296 )
附录 II  GZ <sub>2</sub> 型线路阻波器的技术指标	( 297 )
附录 III  结合滤波器和分频滤波器的技术指标	( 300 )
附录 IV  避雷器的技术指标	( 303 )
附录 V  电平换算表	( 304 )
附录 VI  介绍几只通道测试中使用的仪器	( 306 )
一、ZDP—1型电平振荡器(合肥无线电一厂)	( 306 )
二、UD—5型选频电平表(合肥无线电一厂)	( 309 )
三、PB—2型十进频率仪(上海劳动仪表厂)	( 312 )
四、GB—10型高频电子管毫伏表(绍兴三五仪表厂)	( 314 )

# 第一章 基本知识

## 一、对高频讯号传输的要求：

在电力系统中，高频保护高频讯号和载波通讯、远动讯号一样是通过高压输电线路进行的，高压输电线要同时传送50Hz的工频电流和几十到几百千周高频讯号，又要防止它们之间的相互干扰，各自沿着自己的通路进行传输，并且要尽量做到：

- (1) 高频讯号在通道传输中衰耗尽可能小；
- (2) 接收端收到的讯号波形尽量不失真；
- (3) 受各方面的干扰影响尽量小。

为此目的，必须在通道中装设符合要求的加工设备和结合设备，如图1—1所示：

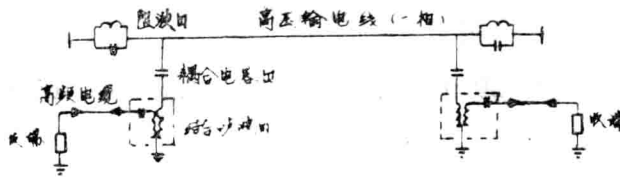


图1—1 高频通道示意图

加工设备：阻波器

结合设备：耦合电容器、结合滤波器、高频电缆

高频通道 = 输电线 + 加工设备 + 结合设备

## 二、电 平

电平是高频讯号传输中用得最广泛的计量单位，在继电保护里我国普遍采用奈贝(N)作为电平单位。在欧美一些国家也有用分贝(db)作为单位的。

用电平作单位的优点是可以将复杂的乘除运算简化成加减运算，同时可将两个相差好几个量级的很悬殊的量化为比较接近的量。例如：功率22W和1mW相差 $22 \times 10^3$ 倍，而用电平表示( $P = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0}$ ,  $P_0 = 1 \text{ mW}$ )，22W约为5N，1mW为0N，属同一数量级，运算比较方便，不易搞错。

## 1. 绝对电平:

### ①功率绝对电平:

在电路中某测试点的功率  $P$  和标准比较功率  $P_0 = 1 \text{ mW}$  相比取自然对数之一半, 称为该点的功率绝对电平。

$$P_{\text{绝}W} = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \frac{P \times 10^3}{1} \quad (\text{N}) \quad \dots\dots\dots(1-1)$$

电平  $P$  —— (N);      功率  $P$  —— (W)。

例如 SF-1A 型收发讯机的发讯功率为 25W, 如用电平表示

$$P = \frac{1}{2} \ln \frac{25 \times 10^3}{1} = \frac{1}{2} \times 10.13 = 5.065 \text{ N}$$

### ②电压绝对电平和电流绝对电平

在电路测试中某一点的电压(电流)值, 与某一标准比较电压  $u_0$  或比较电流  $I_0$  取自然对数即为该测量点的电压绝对电平或电流绝对电平。

标准比较电压  $u_0$  和比较电流  $I_0$  的大小和标准基准功率及标称特性阻抗大小有关, 一般基准功率取 1 mW, 标称特性阻抗取 600Ω 时取  $u_0 = 0.775 \text{ V}$ ,  $I_0 = 1.29 \text{ ma}$ , 因为

$$u_0 = \sqrt{P_0 R} = \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 600} = 0.775 \text{ V};$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{600}} = 1.29 \text{ ma}$$

(如标称阻抗取 100Ω, 则取  $u_0 = 0.316 \text{ V}$ ,  $I_0 = 3.16 \text{ ma}$ , 但不常用)。

$$P_{\text{绝}V} = \ln \frac{u}{u_0} \quad (\text{N}) \quad \dots\dots\dots(1-2)$$

$$P_{\text{绝}I} = \ln \frac{I}{I_0} \quad (\text{N}) \quad \dots\dots\dots(1-3)$$

对于电路中某一点, 当取标称阻抗等于负载阻抗  $R$  时, 功率绝对电平, 电压绝对电平和电流绝对电平在数值上是相等, 这可由下式可知:

$$P_{\text{绝}W} = P = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{\frac{u^2}{R}}{\frac{u_0^2}{R}} \right] = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{u^2}{u_0^2} \right] = \ln \left[ \frac{u}{u_0} \right] = P_{\text{绝}V}$$

$$P_{\text{绝}W} = P = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{I^2 R}{I_0^2 R} \right] = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{I^2}{I_0^2} \right] = \frac{1}{2} \ln \left[ \frac{I}{I_0} \right]^2 \\ = \ln \left[ \frac{I}{I_0} \right] = P_{\text{绝}I}$$

所以  $P = P_{\text{绝}W} = P_{\text{绝}V} = P_{\text{绝}I}$

这里必须注意对于不同的阻抗等级, 其电压电流的基准值必须根据下式计算而得,

$$u_0 = \sqrt{P_0 R} = \sqrt{1 \times 10^{-3} \times R} \quad (\text{伏})$$

$$I_0 = \sqrt{\frac{P_0}{R}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{R}} \quad (\text{安})$$

式中：R单位为欧姆，是为被测点电路的额定阻抗。

我们也可注意到，当被测点的实际阻抗不等于额定阻抗而有较大的偏差时，则三个绝对电平  $P_{\text{绝}W}$ 、 $P_{\text{绝}V}$  和  $P_{\text{绝}I}$  就不再相等而有偏差了。

实际上存在着这样的情况，即为了测量电压绝对电平，对于不同的额定阻抗均统一使用同一个基准电压  $u_0 = 0.775 \text{ V}$ ，这时只有当被测点阻抗为600欧时才为  $P_{\text{绝}W} = P_{\text{绝}V}$ ，其他阻抗则根本不相等了。

## 2. 相对电平：

如果式(1-1)、(1-2)、(1-3)中被比较的不是标准值  $P_0$ 、 $u_0$ 、 $I_0$  而是电路中另一点的功率  $P_2$ ，电压  $u_2$  或电流  $I_2$ ，则就称为被测两点的相对电平。

$$P_{\text{相}W} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1/P_0}{P_2/P_0} \right| = P_{1\text{绝}W} - P_{2\text{绝}W}(\text{N}) \quad \dots\dots(1-4)$$

$$P_{\text{相}V} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{u_1}{u_2} \right| = P_{1\text{绝}V} - P_{2\text{绝}V}(\text{N}) \quad \dots\dots(1-5)$$

$$P_{\text{相}I} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{I_1}{I_2} \right| = P_{1\text{绝}I} - P_{2\text{绝}I}(\text{N}) \quad \dots\dots(1-6)$$

由上述三式可知，电路任意两点的相对电平亦等于该两点的绝对电平之差，在一般电路中  $P_1$  表示发送端电平， $P_2$  表示接收端电平。

当  $P_1 > P_2$  时，相对电平为正，表示衰减。

当  $P_1 < P_2$  时，相对电平为负，表示增益。

在电路中发送电平减去衰减加上增益的代数和即为接收电平。

## 3. 奈贝和分贝的关系：

在无线电工程中还广泛使用电平的另一个单位——分贝，符号用 db 表示，分贝是贝尔 (B) 的十分之一，它的表达式：

$$P_W = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{db}) \quad \dots\dots(1-7)$$

$$P_V = 20 \log \frac{u_1}{u_2} \quad (\text{db}) \quad \dots\dots(1-8)$$

$$P_I = 20 \log \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{db}) \quad \dots\dots(1-9)$$

式中  $P_2$ 、 $u_2$ 、 $I_2$  换成  $P_0$ 、 $u_0$ 、 $I_0$  则其值即为该点的绝对电平的分贝值。

奈贝和分贝可以通过下列关系进行换算：

$$1 \text{ N} = 8.686 \text{ db} \quad \text{或}$$

$$1 \text{ db} = 0.115 \text{ N} \quad \dots\dots(1-10)$$

其换算值的由来如下:

$$\therefore P_N = \frac{1}{2} \ln \left( \frac{P}{P_0} \right);$$

$$\text{和 } P_{db} = 10 \log \left( \frac{P}{P_0} \right);$$

$$\therefore \ln \frac{P}{P_0} = 2 P_N; \quad \frac{P}{P_0} = e^{2P_N}.$$

$$\log \frac{P}{P_0} = \frac{P_{db}}{10}; \quad \frac{P}{P_0} = 10^{\frac{P_{db}}{10}}.$$

$$\therefore e^{2P_N} = 10^{\frac{P_{db}}{10}}; \quad \therefore \ln \left[ e^{2P_N} \right] = \ln \left[ 10^{\frac{P_{db}}{10}} \right]$$

$$\therefore P_N = \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{P_{db}}{10} \right] \ln 10 = \frac{2.3}{20} P_{db} = 0.115 P_{db}, \quad \text{或 } P_{db} = 8.686 P_N.$$

式中:  $P_N$  为功率  $P$  用奈表示的读数的数值。

$P_{db}$  为功率  $P$  用分贝表示的读数的数值。

就是说, 同样一个功率  $P$  当用分贝表示时其数值就较大, 而用奈来表示其电平时其数值就较小, 也就是说分贝的单位小 (即同样的功率用分贝表示时数值大), 而奈的单位大。它们换算倍数为 8.686 倍。所以:

$$1 N = 8.686 db \quad \text{或 } 1 db = 0.115 N$$

#### 4. 电平表和电压表的刻度及电平的测量:

一般说来, 电平表就是电压表, 但它不是以电压“伏”为单位刻度的, 而是以电平“奈贝”或“分贝”为单位刻度的。由于引至电平表测量输入端的量是被测点的电压值, 所以电平表测量得到的读数是电压绝对电平。由于各个具体电路有不同的额定阻抗, 由此对应于不同的额定阻抗有着不同的基准电压, 例如对于 600 欧的基准电压为 0.775 伏, 对应于 100 欧的基准电压为 0.316 伏, 这将会导致电平表的刻度太杂乱, 所以凡电平表一律以 1 mW 的功率在 600 欧上的电压 0.775 伏为 0 奈进行刻度, 即 0 N 对应的电压值就是 0.775 伏, 其他的电平值刻度均满足下式关系:

$$P = \ln \left[ \frac{u}{0.775} \right] (N) \quad \dots\dots\dots (1-11)$$

反之当用电平表测量某点的电平读得  $N$  值后, 由下式即可得到该点的电压值:

$$u = 0.775 e^P (V) \quad \dots\dots\dots (1-12)$$

亦可根据电平换算表 (见附录 V) 查得

用电平表测得读数  $P$ , 用式 (1-12) 根据  $P$  值而求得电压值, 不管被测点的额定阻抗为多少欧都是正确的, 也就是说用普通电压表测得的读数与由式 (1-12) 算得的数值是相

同的。

使用电平表时，应注意其内阻。一般的电平表内阻有 $75\Omega$ 、 $150\Omega$ 、 $600\Omega$ 。高阻（ $> 5\text{K}\Omega$ ）四档。常用的使用方法有跨接测量法及终端测量法两种。

a) 跨接测量法：与电压表的使用方法一样，将电平表放“高阻抗”，跨接在被测物两端，见图1—2。

此法的优点是不破坏被测回路的联接。问题是—般电平表的内阻不象真空管电压表内阻那么高，并连接到被测回路中，或多或少对回路的工作状态有所影响，但在继电保护高频通道中的阻抗常为 $100\Omega$ 、 $400\Omega$ ，比较低，所以电平表内阻大于 $5\text{K}\Omega$ 以上时影响就可以忽略不计了。

不论使用电平表或电压表进行测量时，都要注意一个接地点问题，在图1—2线路中，“2”、“3”电压值可以使用一般的真空管电压表或不平衡输入的电平表进行测量，

但进行“1”电压值测量时，就不能用不平衡电压（电平）表测量，而一定要使用平衡式表计进行测量（因为被测二点都不接地）。

对于需要接地的测量仪表，应将接地点直接接到接地网上，不能将几台仪器并起来以后再接地，否则将会由于各仪表的杂散电流的影响造成较大的误差，特别是被测讯号较小时更是如此。

因为普通平衡式电压表较少，故在需要平衡表计测量的地方就用选平表的平衡端子进行。

选平表有宽频和选频二档，一般进行元件（单独四端网络）测量时，用宽频档进行比较方便，进行通道测试时（特别是和对侧连起来调试时）由于干扰信号比较多，数值又比较大，此时就必须用选频档测量。

b) 终端测量法：将被测物断开，用电平表代替被测物，使电平表内阻等于被测物的输入阻抗。见图1—3。

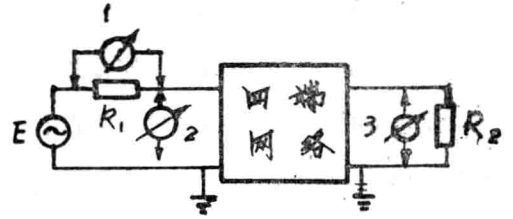


图1—2 跨接测量法



图1—3 终端测量法

在高频通道测量中，往往被测物的输入阻抗是未知数，而且一般不为 $75\Omega$ 、 $150\Omega$ 、 $600\Omega$ 等正数，故不可采用此法进行测量，但在通讯调试中，因载波机的各级输入阻抗一般为已知数，并和表计内阻是相符的，因此可以用终端法进行测量。

### 三、匹 配

#### 1. 定义：

如有一个内阻 $R_i$ 的电源与负载 $R_f$ 相连接，如图1—4所示。当负载 $R_f$ 获得最大功率时，电源与负载称为匹配连接。

## 2. 获得匹配的条件

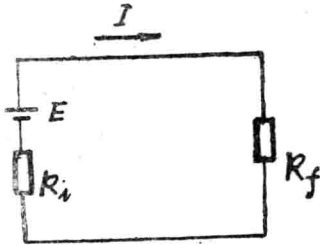


图 1—4 电源与负载连接图

由上式可知当  $R_i = R_f$  时，负载上获得的功率最大 ( $P_{\max} = \frac{E^2}{4 R_i}$ )，所以当负载电阻等于电源内阻时，根据定义称此时负载与电源为匹配连接。

## 3. 输入阻抗，输出阻抗与匹配：

输入阻抗：在数值上等于负载（无源）的输入电压与输入电流之比。

输出阻抗：在数值上等于等效电源的内阻。或者说在数值上等于等效电源的电动势等于零时的等效电源在输出端子上看进去的输入阻抗。

当等效电源的输出阻抗等于负载的输入阻抗时称为负载与电源匹配。

在高频通道传输中阻抗匹配是很重要的，否则接收端就不可能收到尽可能大的讯号。例如高频电缆的特性阻抗  $Z_{CL} = 100 \Omega$ 、220K V 输电线的特性阻抗  $Z_{CL} = 400 \Omega$ ，两者之间就不能经过耦合电容器  $C_k$  直接相连（ $C_k$  是用来隔离工频电流用的），而必须经过结合滤波器  $JL$  进行连接。结合滤波器一侧输入阻抗为  $100 \Omega$  和 高频电缆匹配。另一侧为  $400 \Omega$  和 输电线匹配。从而大大减小了高频电缆和输电线之间连接时产生的附加衰耗。见图 1—5 所示。

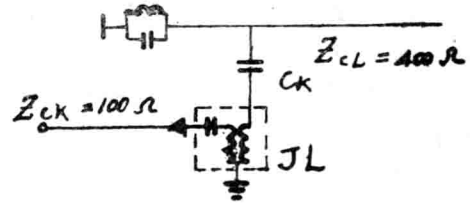


图 1—5 架空线和高频电缆匹配连接图

由图 1—1 见，电源即为发送端的发讯机，电源的输出阻抗即为发讯机的输出阻抗。负载的输入阻抗是接收端收讯机的输入

阻抗。同时我们亦可看到除了电源与负载以外还插入了诸如高频电缆、结合滤波器、输电线等回路，由于插入了这些回路便产生了功率的损耗，便是所谓衰耗。而这些每个插入回路可以看作是一个无源四端网络，所谓四端网络就是输入有二个端子，输出端亦有二个端子的回路，有时又称二端口网络，所谓无源就是这些四端网络内部不存在电源。由插入四端网络引起的插入衰耗与其插入的四端网络的阻抗及本身衰耗值有关，这就是我们要详细分析四端网络的原因。

## 第二章 四端网络

### 一、四端网络的基本原理：

#### 1. 四端网络的混合参数方程及其系数的关系：

对于有二个端子输入、两个端子输出的四个端子网络，其输入电压电流（ $u_1$ 、 $I_1$ ）与输出电压电流（ $u_2$ 、 $I_2$ ）间有随四端网络参数而更改的一定的固定关系。一般可写成通用方程式（一般称为混合参数方程）

$$\begin{cases} u_1 = A u_2 + B I_2 \\ I_1 = C u_2 + D I_2 \end{cases} \dots\dots(2-1)$$

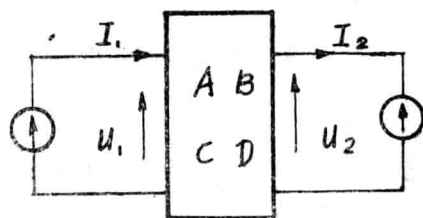


图 2—1 四端网络示意图

其中系数 A、B、C、D 由四端网络参数而定。它们的物理意义分别为：

$$A = \left( \frac{\partial u_1}{\partial u_2} \right)_{I_2 = \text{不变}} = \left( \frac{u_1}{u_2} \right)_{I_2 = 0} \quad (\text{输出开路})$$

$$B = \left( \frac{\partial u_1}{\partial I_2} \right)_{u_2 = \text{不变}} = \left( \frac{u_1}{I_2} \right)_{u_2 = 0} \quad (\text{输出短路})$$

$$C = \left( \frac{\partial I_1}{\partial u_2} \right)_{I_2 = \text{不变}} = \left( \frac{I_1}{u_2} \right)_{I_2 = 0} \quad (\text{输出开路})$$

$$D = \left( \frac{\partial I_1}{\partial I_2} \right)_{u_2 = \text{不变}} = \left( \frac{I_1}{I_2} \right)_{u_2 = 0} \quad (\text{输出短路})$$

所以对于一个集中参数的无源四端网络其特性完全可以用一个上述的混合参数方程来描述，而方程的四个参数 A B C D 值可以由上述的定义式用实验方法求得，即

A —— 将输出端开路，使  $I_2$  等于零，再测量输入电压  $u_1$  及输出电压  $u_2$ ，从而得：

$$A = \frac{u_1}{u_2}。$$

B —— 将输出端短路，使  $u_2 = 0$ ，并测量输入电压  $u_1$  及输出短路电流  $I_2$ ，从而得：

$$B = \frac{u_1}{I_2}。$$

至于参量 C、D 与此类似而求得。

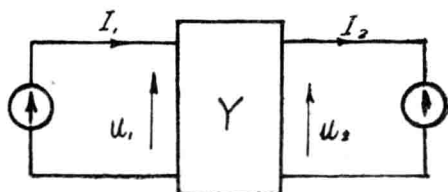
当用 Y 参数（导纳）时有方程：



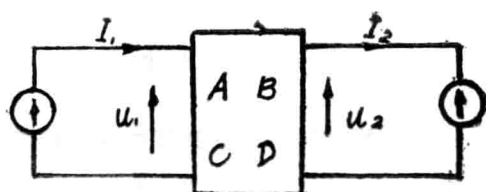
$$\begin{cases} \dot{I}_1 = \dot{Y}_{11} u_1 - \dot{Y}_{12} u_2 \\ \dot{I}_2 = \dot{Y}_{21} u_1 - \dot{Y}_{22} u_2 \end{cases} \dots\dots(2-2)$$

其中由电路的互易定理知:

$$Y_{12} = Y_{21}$$



(a) Y参数表示的四端网络



(b) 混合参数表示的四端网络

图 2-2

四端网络

这里需注意Y参数导纳方程的形式常为

$$\begin{cases} i_1 = Y_{11} u_1 + Y_{12} u_2 \\ i_2 = Y_{21} u_1 + Y_{22} u_2 \end{cases}$$

这时 $i_2$ 方向必须指向网络才正确。且有

$$Y_{12} = Y_{21} = -Y_{12} = -Y_{21}$$

当采用混合参数时有方程:

$$\begin{cases} u_1 = A u_2 + B I_2 \\ I_1 = C u_2 + D I_2 \end{cases}$$

由方程(2-1)得:

$$I_2 = -\frac{1}{B} u_1 - \frac{A}{B} u_2$$

$$I_1 = C u_2 + D I_2$$

$$= C u_2 + D \left( -\frac{1}{B} u_1 - \frac{A}{B} u_2 \right)$$

$$= -\frac{D}{B} u_1 - \frac{AD - BC}{B} u_2$$

$$\therefore \begin{cases} I_1 = \frac{D}{B} u_1 - \left( \frac{AD - BC}{B} \right) u_2 \\ I_2 = -\frac{1}{B} u_1 - \left( \frac{A}{B} \right) u_2 \end{cases} \dots\dots(2-3)$$