

〔西德〕路道夫·凯泽等 编著 张书良 刘秀文 译

# 电信测量(下)

人民邮电出版社

Betriebsmessungen  
der Fernmeldetechnik  
Teil 1: Übertragungstechnik  
Herausgeber: Dr. Phil Rudolf Kaiser

内 容 简 介

本书主要介绍微波中继通信系统、电视和伴音传输、广播和电视发送与接收设备的各项技术指标及其测试方法，以及无线电监测业务中的各种测量方法。

本书可供有关专业的工程技术人员、维护人员和管理人员参考。

电 信 测 量

(下)

〔西德〕路道夫·凯泽 等编著

张书良 刘秀文 译

\*

人 民 邮 电 出 版 社 出 版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

\*

开本: 787×1092 1/32    1984年11月第 一 版  
印张: 10    页数: 160    1984年11月河北第一次印刷  
字数: 226 千字    印数: 1—6,900 册

统一书号: 15045·总2908-无6290

定价: 1.40元

## 出版说明

本书译自德文书《Betriebsmessungen der Fernmeldetechnik Teil 1: Übertragungstechnik》(电信测量 第一部分:传输技术)。该书涉及的专业范围比较广泛,既包括了电缆、电报、载波等专业中的测量,又包括了微波中继通信系统、广播和电视传输与设备以及无线电监测业务中的测量。不仅对工程技术人员比较实用,而且对有关专业技术的管理人员也有一定的参考价值。

为了便于专业人员选读,我们将原书章节重新进行了安排,分为两册出版。

上册内容包括:

1. 电缆测量技术(原书中的 1),
2. 电报和数据传输线路的测量(原书中的 3),
3. 音频、载波和脉冲编码调制传输线路的测量(原书中的 4)。

下册内容包括:

1. 微波中继通信测量技术(原书中的 2),
2. 电视线路和伴音线路的测量(原书中的 5),
3. 无线电超短波广播发射设备和电视广播发射设备的测量(原书中的 6),
4. 无线电广播和电视广播接收的测量(原书中的 7),
5. 无线电监测业务(原书中的 8)。

由于专业范围比较宽,译文中有些专业名词译得不一定准确,请读者指正。

编者

# 目 录

|                        |        |
|------------------------|--------|
| 1. 微波中继通信测量技术          | ( 1 )  |
| 1.1 引言和基本概念            | ( 1 )  |
| 1.1.1 微波中继通信设备的传输性能指标  | ( 4 )  |
| 1.1.2 噪声               | ( 5 )  |
| 1.1.3 噪声值定义            | ( 5 )  |
| 1.1.4 系统值              | ( 6 )  |
| 1.2 微波中继通信中的测量方法       | ( 6 )  |
| 1.3 匹配测量               | ( 7 )  |
| 1.3.1 微波中继通信设备中失配的影响   | ( 7 )  |
| 1.3.2 匹配损耗的定义          | ( 8 )  |
| 1.4 反射系数测量电桥           | ( 9 )  |
| 1.4.1 测量基带范围内的反射系数     | ( 10 ) |
| 1.4.2 中频范围的反射系数测量电桥    | ( 11 ) |
| 1.4.3 射频范围的反射系数测量电桥    | ( 12 ) |
| 1.4.4 测量技术的辅助工具——定向耦合器 | ( 14 ) |
| 1.4.5 用定向耦合器测量反射损耗     | ( 15 ) |
| 1.5 射频范围内的功率测量         | ( 16 ) |
| 1.6 用于射频范围内的扫频测量技术     | ( 18 ) |
| 1.6.1 射频扫频测试振荡器        | ( 19 ) |
| 1.6.2 用于射频测量的定向导体测试探头  | ( 20 ) |
| 1.6.3 带自动微调的选频测量接收机    | ( 21 ) |
| 1.6.4 用扫频测试仪进行测量       | ( 21 ) |
| 1.6.5 通路损耗测量           | ( 22 ) |
| 1.6.6 反射损耗测量           | ( 25 ) |
| 1.6.7 极化分离器的测量         | ( 27 ) |

|        |                        |        |
|--------|------------------------|--------|
| 1.7    | 中频扫频测量法 .....          | ( 27 ) |
| 1.7.1  | 中频扫频测试振荡器 .....        | ( 28 ) |
| 1.7.2  | 中频扫频测量接收机 .....        | ( 30 ) |
| 1.7.3  | 使用中频扫频测试仪的测量方法 .....   | ( 31 ) |
| 1.7.4  | 中频范围内的测量 .....         | ( 35 ) |
| 1.7.5  | 基带范围内的测量 .....         | ( 37 ) |
| 1.7.6  | 射频范围内的测量 .....         | ( 37 ) |
| 1.8    | 频偏的测量 .....            | ( 38 ) |
| 1.9    | 射频范围内的频率测量 .....       | ( 39 ) |
| 1.9.1  | 谐振频率计 .....            | ( 39 ) |
| 1.9.2  | 用电子计数器作频率计 .....       | ( 40 ) |
| 1.10   | 在分集设备和转换设备上测量时延差 ..... | ( 42 ) |
| 1.11   | 噪声—非线性失真测量法 .....      | ( 43 ) |
| 1.11.1 | 噪声发生器 .....            | ( 45 ) |
| 1.11.2 | 带阻滤波器 .....            | ( 46 ) |
| 1.11.3 | 带通滤波器 .....            | ( 46 ) |
| 1.11.4 | 噪声电平测量仪 .....          | ( 47 ) |
| 1.11.5 | 用噪声—非线性失真测试仪进行测量 ..... | ( 48 ) |
| 1.12   | NPR测量方法 .....          | ( 57 ) |
| 1.13   | 微波中继通信设备外部干扰的测量 .....  | ( 58 ) |
| 1.13.1 | 正弦形干扰 .....            | ( 58 ) |
| 1.13.2 | 雷达干扰 .....             | ( 59 ) |
| 1.14   | 用噪声积分测试仪测量噪声 .....     | ( 60 ) |
| 2.     | 电视线路和伴音线路的测量 .....     | ( 63 ) |
| 2.1    | 引言 .....               | ( 63 ) |
| 2.1.1  | 电视信号 .....             | ( 63 ) |
| 2.1.2  | 电视测量方法概述 .....         | ( 74 ) |
| 2.1.3  | 测量的分类 .....            | ( 77 ) |

|       |                                       |         |
|-------|---------------------------------------|---------|
| 2.1.4 | 测量的前提条件 .....                         | ( 80 )  |
| 2.2   | 用稳态测量信号测量各电视传输参数 .....                | ( 81 )  |
| 2.2.1 | 电平测量 .....                            | ( 81 )  |
| 2.2.2 | 信噪比测量 .....                           | ( 83 )  |
| 2.2.3 | 非线性失真的测量 .....                        | ( 86 )  |
| 2.2.4 | 与频率有关的线性失真的测量 .....                   | ( 92 )  |
| 2.2.5 | 电视传输中的其它重要测量 .....                    | ( 101 ) |
| 2.3   | 用测试行信号测量电视传输特性 .....                  | ( 108 ) |
| 2.4   | 电视测量技术的进一步发展 .....                    | ( 111 ) |
| 2.5   | 伴音连接线路概述 .....                        | ( 111 ) |
| 2.6   | 调整伴音连接线路的测量技术基础 .....                 | ( 114 ) |
| 2.6.1 | 基本调整方法 .....                          | ( 114 ) |
| 2.6.2 | 相对电平分配 .....                          | ( 116 ) |
| 2.6.3 | 基准调整电平 .....                          | ( 118 ) |
| 2.6.4 | 与频率有关的调整电平 .....                      | ( 119 ) |
| 2.6.5 | 伴音信号基准电平 .....                        | ( 120 ) |
| 2.7   | 各种伴音传送方式的调整 .....                     | ( 125 ) |
| 2.7.1 | 音频伴音线路 .....                          | ( 125 ) |
| 2.7.2 | 载波伴音通路 .....                          | ( 132 ) |
| 2.7.3 | 微波中继系统的调频伴音通路 .....                   | ( 140 ) |
| 2.8   | 其他质量参数的测量 .....                       | ( 143 ) |
| 2.8.1 | 群时延测量 .....                           | ( 143 ) |
| 2.8.2 | 干扰电压的测量 .....                         | ( 146 ) |
| 2.8.3 | 非线性测量 .....                           | ( 155 ) |
| 2.8.4 | 相位差的测量 .....                          | ( 158 ) |
| 3.    | <b>超短波广播发射设备和电视广播发射设备的测量</b><br>..... | ( 165 ) |
| 3.1   | 引言 .....                              | ( 165 ) |
| 3.1.1 | 超短波广播发射设备的概述 .....                    | ( 165 ) |

|        |                               |         |
|--------|-------------------------------|---------|
| 3.1.2  | 电视广播发射设备的概述 .....             | ( 166 ) |
| 3.2    | 超短波广播发射设备和电视伴音发射机的测量<br>..... | ( 175 ) |
| 3.2.1  | 发射机功率的测量 .....                | ( 175 ) |
| 3.2.2  | 载频测量 .....                    | ( 178 ) |
| 3.2.3  | 电平测量和频偏测量 .....               | ( 178 ) |
| 3.2.4  | 调制失真(非线性失真)的测量 .....          | ( 179 ) |
| 3.2.5  | 寄生调制的测量 .....                 | ( 180 ) |
| 3.2.6  | 幅一频响应和相一频响应的测量 .....          | ( 181 ) |
| 3.3    | 电视图象发射机的测量 .....              | ( 184 ) |
| 3.3.1  | 射频发射机功率的测量 .....              | ( 186 ) |
| 3.3.2  | 载频测量 .....                    | ( 187 ) |
| 3.3.3  | 线性失真的测量 .....                 | ( 188 ) |
| 3.3.4  | 非线性失真的测量 .....                | ( 195 ) |
| 3.3.5  | 过渡特性的测量 .....                 | ( 198 ) |
| 3.3.6  | 电平测量 .....                    | ( 199 ) |
| 3.3.7  | 噪声电压的测量 .....                 | ( 200 ) |
| 3.3.8  | 内载波信噪比的测量 .....               | ( 200 ) |
| 3.3.9  | 交叉调制的测量 .....                 | ( 201 ) |
| 3.3.10 | 尼奎斯特测量解调器的测量 .....            | ( 202 ) |
| 3.3.11 | 在电视图象发射机的输出端评价图象质量 .....      | ( 207 ) |
| 3.4    | 电视差转机的测量 .....                | ( 208 ) |
| 3.4.1  | 图象载波和伴音载波的功率测量 .....          | ( 208 ) |
| 3.4.2  | 频率的测量 .....                   | ( 210 ) |
| 3.4.3  | 幅一频响应的测量 .....                | ( 210 ) |
| 3.4.4  | 群时延测量 .....                   | ( 212 ) |
| 3.4.5  | 非线性失真的测量 .....                | ( 212 ) |
| 3.4.6  | 噪声电压的测量 .....                 | ( 213 ) |
| 3.4.7  | 噪声系数的测量 .....                 | ( 214 ) |

|       |                               |         |
|-------|-------------------------------|---------|
| 3.4.8 | 调整特性的测量 .....                 | ( 215 ) |
| 3.4.9 | 输入匹配的测量 .....                 | ( 215 ) |
| 3.5   | 天线设备的测量 .....                 | ( 216 ) |
| 3.5.1 | 电视通路上幅一频响应的测量 .....           | ( 216 ) |
| 3.5.2 | 匹配测量 .....                    | ( 216 ) |
| 3.5.3 | 单电缆双工器和双发射机双工器输入端退耦的测量 .....  | ( 218 ) |
| 3.6   | 测量技术发展的前景 .....               | ( 218 ) |
| 4.    | 无线电广播和电视广播接收的测量 .....         | ( 220 ) |
| 4.1   | 引言 .....                      | ( 220 ) |
| 4.1.1 | 无线电干扰探测业务的任务 .....            | ( 220 ) |
| 4.1.2 | 最小有效场强和“电气噪声”的信噪比 .....       | ( 221 ) |
| 4.1.3 | 影响传输质量的其他因素 .....             | ( 223 ) |
| 4.1.4 | 各频率范围内的无线电广播馈供 .....          | ( 228 ) |
| 4.2   | 在低于30兆赫的无线电广播频率范围内的馈供测量 ..... | ( 231 ) |
| 4.2.1 | 测量方法 .....                    | ( 231 ) |
| 4.2.2 | 测量装置 .....                    | ( 233 ) |
| 4.3   | 在高于30兆赫的无线电广播频率范围内的馈供测量 ..... | ( 235 ) |
| 4.3.1 | 测量方法 .....                    | ( 235 ) |
| 4.3.2 | 测量装置 .....                    | ( 244 ) |
| 4.4   | 确定馈供缺口时的一些特点 .....            | ( 251 ) |
| 4.4.1 | 在相关的馈供区域内对电视频道占用的测量 .....     | ( 251 ) |
| 4.4.2 | 在将要使用的馈供设备的接收位置上测量 .....      | ( 252 ) |
| 4.4.3 | 与发射设备验收有关的馈供测量 .....          | ( 261 ) |
| 4.4.4 | 馈供地区内的检查测量 .....              | ( 261 ) |
| 4.5   | 无线电广播接收天线设备的测量 .....          | ( 261 ) |



|                          |         |
|--------------------------|---------|
| <b>5. 无线电监测业务</b>        | ( 264 ) |
| 5.1 频率测量方法               | ( 264 ) |
| 5.1.1 通过已知频率的振鸣测量频率      | ( 265 ) |
| 5.1.2 用偏移的频率测量频率         | ( 266 ) |
| 5.1.3 用带有精密晶振的接收机测量频率    | ( 268 ) |
| 5.1.4 调幅发射机和调频发射机的频率测量   | ( 269 ) |
| 5.1.5 用鉴频器测量频率           | ( 271 ) |
| 5.1.6 用频率计数器测量频率         | ( 273 ) |
| 5.1.7 传输路径对测量精确度的限制      | ( 274 ) |
| 5.2 频率测试仪                | ( 275 ) |
| 5.3 标准频率                 | ( 276 ) |
| 5.3.1 标准频率的传输            | ( 281 ) |
| 5.3.2 根据标准频率校准频率测量设备的晶振级 | ( 282 ) |
| 5.3.3 对石英晶体控制的频率标准的远距离调整 | ( 285 ) |
| 5.4 频带宽度的测量              | ( 286 ) |
| 5.4.1 定义                 | ( 287 ) |
| 5.4.2 测量方法               | ( 287 ) |
| 5.4.3 必需的工作频带和发射频谱的限制    | ( 291 ) |
| 5.4.4 用图解法测定被占用的频带宽度     | ( 297 ) |
| 5.5 频带占用                 | ( 300 ) |
| 5.5.1 频带占用情况的自动记录        | ( 301 ) |

# 1. 微波中继通信测量技术

## 1.1 引言和基本概念

根据当前的技术水平，目前在德意志联邦邮局以及在国际上，微波中继通信设备着重应用于：

- a) 采用频率调制方式(FM)传输频分制多路电话；
- b) 应用频率调制方式传输电视节目（图象和伴音）。

在本章列举的一般测量方法中将涉及到上述两种信号的传输特点，而一些专门测量方法则着重于测量多路信号的传输特性。有关电视信号的一些特殊的测量方法将在下一章中予以讨论。

图1-1示出微波中继通信的基本原理结构。首先，调制信号以所谓基带(BF)的形式进入调制器，在调制器中产生一个已调的中频信号(ZF)。当前，德意志联邦共和国开通使用的微波中继设备以70兆赫的中频工作，这是分支电路和备用电路的国际标准值。经放大后的中频信号在混频器中转换为射频。预定的射频(RF)可以通过滤波器F，而混频过程中形成的第二边带则被滤波器F所抑制。下一个射频放大器，例如行波管放大器，将混频器中出来的射频信号放大到所需要的发送电平。

为了将多个射频频带用一副天线发射出去，这些频带都要通过一个分路滤波器系统。该分路滤波器系统能够保证各个射频频带正常地、有条不紊地通过同一副天线。此外，分路滤波

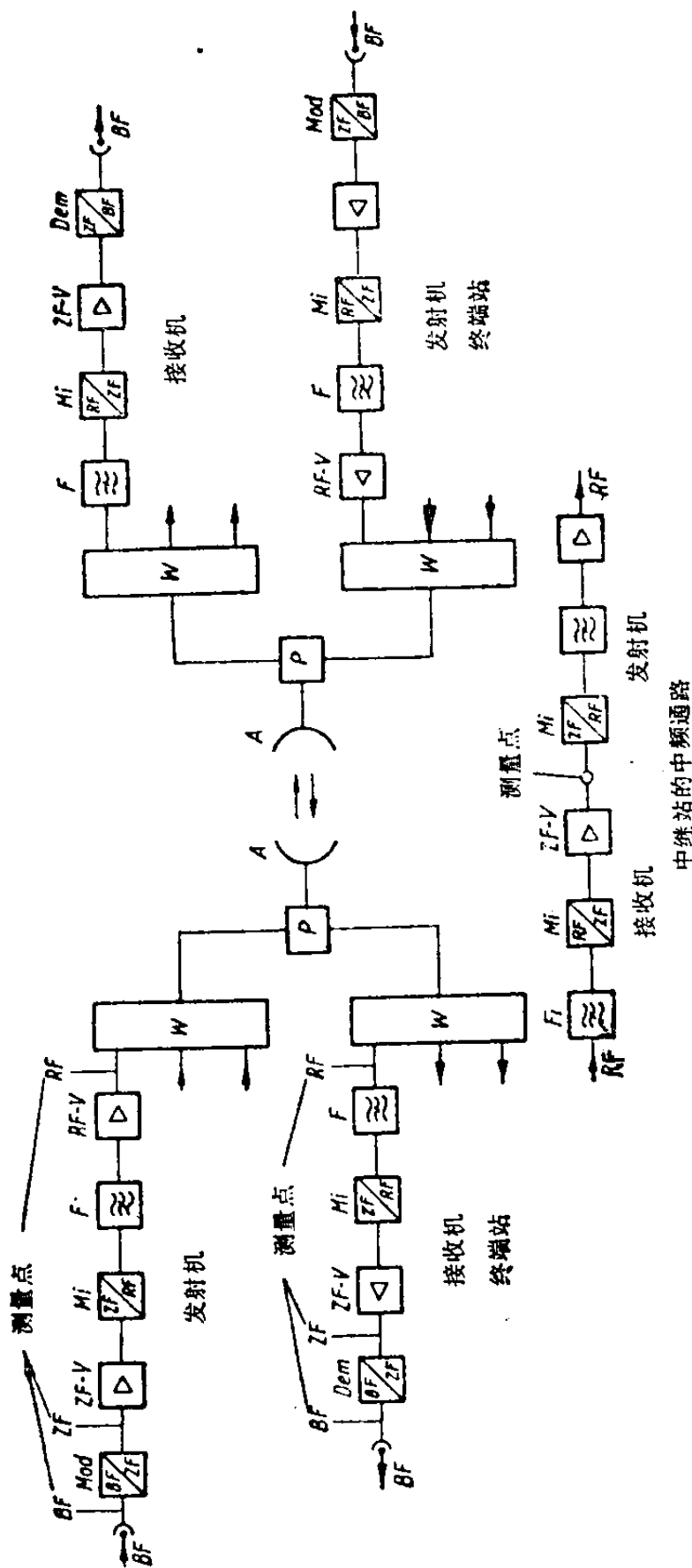


图 1-1 微波中继通信原理方框图

BF = 基带频率 Mod = 调制器 Mi = 混频器 W = 天线分路滤波器  
ZF = 中频 (70兆赫) Dem = 解调器 F = 射频频滤波器 P = 极化分路滤波器  
RF = 射频 ZF-V = 中频放大器 RF-V = 射频频放大器 A = 天线

器系统的附属设备—极化分路滤波器—还能够充分利用天线的垂直极化和水平极化，使一副天线能同时用作接收和发射。在接收端，收到的射频信号经过预选并转换到中频范围后进入一个解调器，该解调器将中频信号再解调到基频范围。

在中继站，接收到的射频信号被还原到中频，经放大又重新转换为射频信号。

图i-1中特别标出了一个微波中继通信设备各个频率范围上的可能测量点。微波测量技术的任务是检验微波中继通信设备中任意的、而多数是经过精确选定的各测量点之间的传输特性。

图1-2所示为微波中继通信设备调制装置（包括调制器和

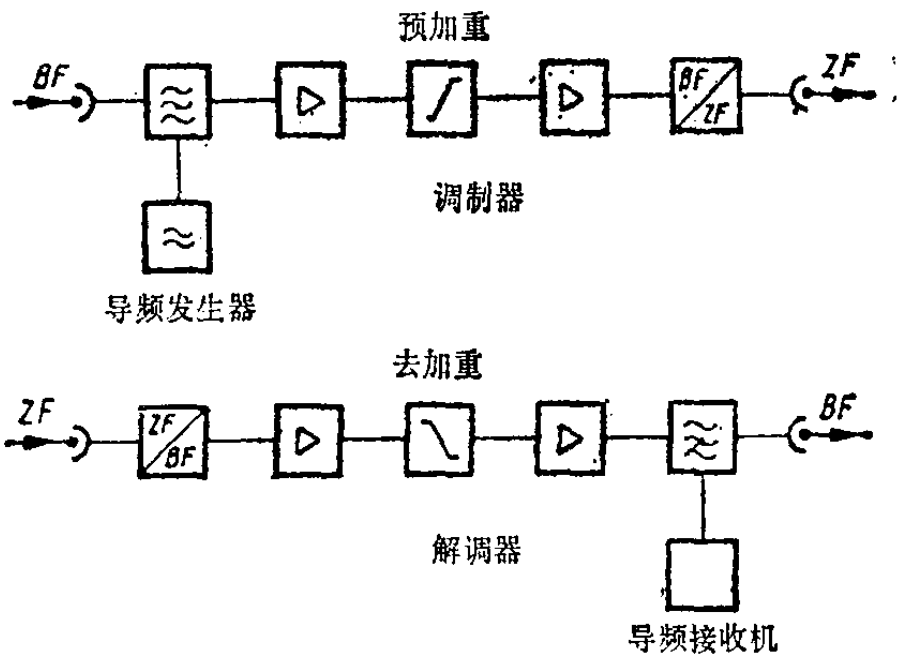


图 1-2 微波中继通信调制装置的原理方框图

解调器)的方框图。调制器中的预加重网络使基带频率响应产生线性预失真，而这种线性预失真在接收端通过解调器中的去加重网络被抵消。加重的作用是使微波中继通信设备的各种随频率变化的噪声在基带频率范围内尽可能相等。图1—2的调制

器与解调器中的导频装置可以自行监视微波中继通信设备。

正如后面在调制装置上进行的测量所表明的那样，了解微波中继通信设备的预加重曲线图对测量技术来说是很重要的。因此，在图1-3中绘出了微波中继通信设备的标准预加重曲线图。

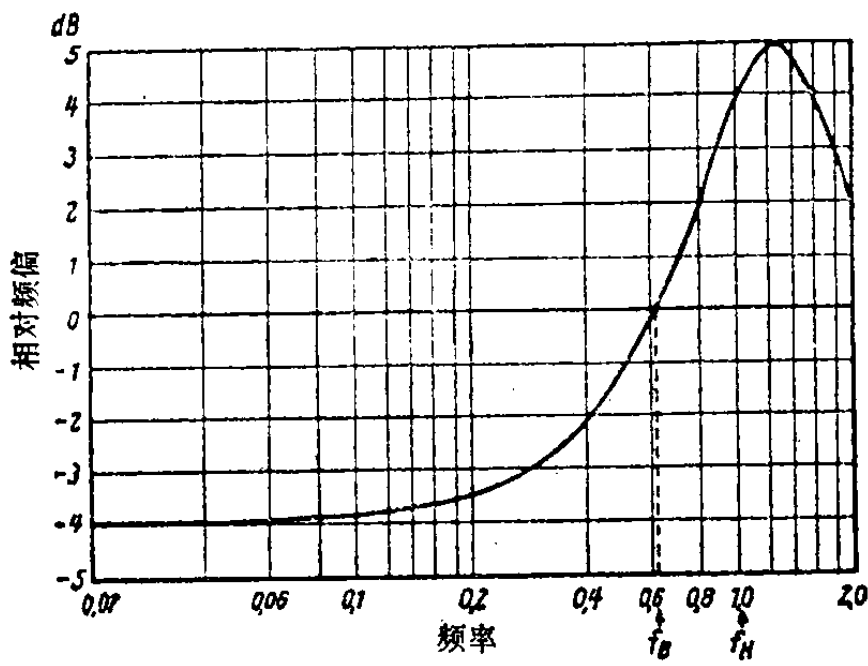


图 1-3 调频制微波中继通信设备在传输  $\geq 240$  路复用信号时的预加重标准曲线

$f_H$  = 复用信号的最高基带频率  
 $f_B$  = 测定话路频偏的基准频率

### 1.1.1 微波中继通信设备的传输性能指标

微波中继通信设备传输性能良好的前提是，当复用信号通过微波中继通信设备传输时，其振幅和相位应无改变。此外，衡量微波中继通信设备传输性能的标准还有：

- 1. 在给定传输条件下话路中的噪声；
- 2. 表示微波中继通信设备效能大小的系统值。

### 1.1.2 噪 声

微波中继通信的质量可以根据通信过程中各个信道中出现的噪声来鉴定。微波中继通信设备中的噪声可分为两类：

1. 与占用无关的噪声（固有噪声），
2. 与占用有关的噪声（交调噪声）。

固有噪声是由热噪声引起的。从测量技术角度看，它可以分散在微波中继通信设备的各个组件中，但一般主要指调制装置和射频装置中的噪声。交调噪声是由于调频信号在传输过程中产生振幅和相位失真引起的。交调噪声主要指信号在调制装置、中频放大器和射频装置中出现的噪声。固有热噪声来自无源和有源元件，诸如电阻、晶体管和行波管。而与占用有关的交调产物会由放大器内外部回路、滤波器和分路滤波器的对称与不对称的带限的影响而产生。在通信路径上，由于受地面、建筑物和大气反射，及多径传播影响，也都会引起调频信号振幅和相位的失真，产生交调失真。

### 1.1.3 噪声值定义

在一条通信线路的终端，从带宽为3.1千赫的信道上测得的所有噪声的总和就是总噪声。在通信技术上，噪声功率以微微瓦(PW)计量，信噪比以分贝(dB)计量。测量噪声功率的参考点的功率就是参考信号功率，在传输电话时其值为1毫瓦(mW)。

计算噪声功率时，需要考虑到人耳的主观特点，因为人耳只能听到与其频率范围有关的那些噪声。在多路电话通信的微波中继通信系统中，为适应这种生理状况，则采用一个适当的与频率无关的平均值代替各个电话通路中的与频率有关的噪声

功率密度。应用固定加权量，也称之为噪声电压计常数，使带宽为3.1千赫的一个电话信道上测得的噪声值减少2.5分贝，也就是减少了原值的56.2%

#### 1.1.4 系统值（也可见1.11.5.2节）

微波中继通信设备的系统值能够表明射频范围内微波中继通信设备的效能。发射功率、接收机灵敏度以及调制状况在这里是决定的因素。在一定的传输条件下，用系统值可以计算出整个通信段的距离，和包括射频馈线在内所需要的天线费用。

## 1.2 微波中继通信中的测量方法

微波中继通信中的测量方法可以分为三大类：

1. 测量各个组件的一般连接情况，例如反射衰耗和通路衰耗的测量方法，以及功率和电压的测量方法；
2. 测量调频信号在各组件中的特殊影响的方法；
3. 测量整个微波中继通信线路质量和性能的方法。

下面谈到的测量方法是以某些单个频率的定点测量为基础的，也将谈到应用日益广泛的扫频测量方法，后者能够迅速获得各部件的宽带特性。在微波中继通信技术所用的各种测量方法中，一般可以划分为三个主要频段，即：基频频段、中频频段和射频频段。微波中继通信设备的测量中，一种测量方法往往可以应用于多种频率范围。这里要重点讲一下能够测得与微波中继通信设备调制有关的动态性能的特殊测量方法。在载波设备中，调制主要直接受有源元件、例如晶体管的影响，而调频制微波中继通信设备的调制还要额外地受到所用频带的限制。因此，在划分微波中继通信设备的频段时不仅要考虑频率划分

的经济性，而且要注意传输质量。这两方面相互矛盾，中须通盘予以考虑。

微波中继通信中的测量方法大多与所使用的测试仪表密切相关。在下述各章节中将对测试仪表以及与之有关的测量方法一起进行讨论，以说明它们之间的密切关系。

## 1.3 匹 配 测 量

### 1.3.1 微波中继通信设备中失配的影响

匹配测量的目的在于确定一个部件的输入阻抗与所连接线路的波阻抗额定值的匹配情况。如果线路未能准确地以波阻抗相接，就会因反射而形成一个能使所传输信号电压的振幅和相位失真的回波。因此，信号电压的失真取决于被传输信号的特性、失配情况以及馈线的长度。

微波中继通信设备中的中频区和射频区为调频信号。在调频时，除了出现载波振荡外，还有一次和较高次的边带。这样，调频信号会产生一个约为基带最大频带宽度四倍的带宽。如果采用输入阻抗和输出阻抗失配的部件，就会产生与频率有关的振幅和相位误差。由于这种失配的影响，使调频波在解调时形成非线性的失真信号。这种失真与所传输的信号、失配的程度以及馈线的长度有关。线路长度对调频信号失真的影响叫作“长线”效应（“Long-line”）。

在基带中，失配会引起输入振幅和相位的线性失真。在传输多路信号时，相位误差在基带中无影响，原因是这里仅考虑带宽为3.1千赫的载波信道。在这个很小的带宽范围内相位误差毫无意义。与此相反，当馈线长度与信号传输波长为同一数



量级的时候，相位误差犹如振幅失真，尤其在调制频率较高时，其影响很大。

### 1.3.2 匹配损耗的定义

把终端阻抗 $R$ 与波阻抗为 $Z_0$ 的线路连接时， $R \neq Z_0$ ，则产生反射。这时，反射系数 $r$ 为：

$$|r| = \frac{|R - Z_0|}{|R + Z_0|}$$

其中：

$r$  为反射系数

$Z_0$  为波阻抗

$R$  为被测物输入端阻抗

在实际应用时，测试技术中通常采用反射损耗系数（失配损耗） $a_r$ 。

$$a_r = 20 \lg \frac{1}{|r|} \text{ [dB]}$$

在阻抗圆图上，反射系数相同的各点位于一个圆周上。图1-4示出反射系数较小时的阻抗圆图的一部分。在失配圆图上旋转一周相当于所连接线路的长度变化了测试频率的半个波长。这时，视在阻抗 $R$ 按长线方程的规律变化。

因为在微波中继通信设备的频率范围内实际应用的线路长度取决于当地的建筑情况，所以连接的线路终端的视在阻抗 $R$ 可以取图1-4的阻抗圆图上的任意值。这时，通常只考虑反射系数

$$|r| = \left| \frac{R - Z_0}{R + Z_0} \right|$$

反射系数较小时（ $|r| \leq 0.1$ ），从图1-4所示的阻抗圆图中