

通信明线的交流电气特性

沈 龙 根 编 著

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书以通俗易懂的文字叙述了架空通信线路维护工作中的交流测试原理和方法,其中包括:线路频率衰减、线路杂音、线路阻抗、线路反射衰减、线路串音以及线路终端引入设备的测试。同时对测试中发现的不良特性,如何进一步测试和查找段落,作了较详细地说明。并把作者多年从事线路测试工作所积累的丰富经验,介绍给读者。

本书对于载波维护人员和线路测试人员提高通信线路的质量,改善传输特性有很大帮助,是一本有益的参考书。

通信明线的交流电气特性

沈 龙 根 编著

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10月第 一 版
印张: 8 12/32 页数: 134 1984年10月河北第一次印刷
字数: 187 千字 印数: 1—8,500 册
统一书号: 15045·总2890—有5367
定价: 0.83 元

目 录

第一章 线路频率衰减测试	(1)
第一节 线路频率衰减概念和要求	(1)
一、线路频率衰减概念.....	(1)
二、线路传输衰减测试原理.....	(4)
三、线路频率衰减特性要求.....	(5)
第二节 不同类型测试仪表值的修正	(6)
一、功率型与电压型仪表测试值修正.....	(6)
二、仪表阻抗失配测试值修正.....	(10)
第三节 线路频率衰减测试	(14)
一、线路频率衰减测试方法.....	(14)
二、几点注意事项.....	(20)
三、线路传输衰减的简便算法.....	(21)
第四节 不良原因分析和判断	(23)
一、不良原因的分析.....	(23)
二、判断不良原因的几点要求.....	(25)
三、不良点的判断方法.....	(25)
第二章 线路杂音测试	(31)
第一节 杂音的危害和来源	(31)
一、杂音对通信的危害.....	(31)
二、杂音的来源.....	(33)
第二节 线路杂音要求	(35)
一、实线线路杂音要求.....	(35)
二、载波电路中对线路杂音要求.....	(35)

三、载波增音段的线路杂音要求·····	(37)
第三节 线路杂音测试·····	(42)
一、实线线路杂音测试·····	(42)
二、载波线路杂音测试·····	(43)
三、几点注意事项·····	(48)
第四节 判断线路杂音段落测试·····	(49)
一、判断线路杂音段落的几点要求·····	(49)
二、判断线路杂音段落测试·····	(50)
第三章 线路阻抗测试·····	(54)
第一节 线路阻抗概念·····	(54)
一、线路特性阻抗概念·····	(54)
二、线路输入阻抗概念·····	(56)
第二节 线路阻抗要求和计算·····	(58)
一、线路阻抗要求·····	(58)
二、线路阻抗测试值的计算·····	(58)
第三节 阻抗电桥的使用·····	(61)
一、阻抗电桥主要部件的作用·····	(61)
二、阻抗电桥零点平衡调整·····	(63)
第四节 用阻抗电桥测试线路阻抗·····	(66)
一、线路特性阻抗测试·····	(66)
二、线路输入阻抗测试·····	(72)
第五节 用其他仪表测试线路阻抗·····	(76)
一、用电压表测试线路阻抗·····	(76)
二、用电平表测试线路阻抗·····	(84)
第四章 线路反射衰减测试·····	(87)
第一节 反射概念和反射衰减要求·····	(87)
一、电磁波反射概念·····	(87)

二、反射衰减和反射系数的要求	(89)
第二节 反射衰减测试	(90)
一、反射测试法	(90)
二、阻抗测试法	(95)
三、电平测试法	(97)
第三节 阻抗匹配调节测试	(101)
一、电缆与明线间阻抗匹配调节测试	(101)
二、电缆与载波机间阻抗匹配调节测试	(105)
第五章 线路串音测试	(109)
第一节 串音衰减和串音防卫度要求	(109)
一、近端串音衰减要求	(109)
二、远端串音防卫度要求	(113)
三、两条线路间的串音衰减要求	(116)
四、增音机输出线路与输入线路间串音衰减要求	(118)
第二节 线路串音测试	(119)
一、近端串音测试	(120)
二、远端串音测试	(123)
三、同杆不同站的线路串音测试	(130)
四、两条平行线路间的串音衰减测试	(135)
五、增音机输出与输入线路间串音测试	(139)
六、几点注意事项	(142)
七、串杂音电平的换算	(143)
第三节 判断串音段落测试	(146)
一、判断串音段落的几点要求	(146)
二、判断串音段落测试	(147)
第四节 线路串音原因分析	(156)

一、交叉错漏产生线路串音·····	(156)
二、分线点和线对换位不妥产生线路串音·····	(157)
三、交叉指数使用不妥产生线路串音·····	(158)
四、连接点阻抗失配产生线路串音·····	(160)
五、同杆电平差过大产生线路串音·····	(161)
六、其他方面因素造成的线路串音·····	(163)
第六章 线路终端引入设备测试 ·····	(166)
第一节 阻抗匹配线圈测试·····	(166)
一、阻抗匹配线圈的作用·····	(166)
二、阻抗匹配线圈技术要求·····	(168)
三、阻抗匹配线圈测试·····	(169)
四、阻抗匹配线圈质量对电路的影响·····	(178)
第二节 纵向塞流线圈测试·····	(179)
一、纵向塞流线圈的作用·····	(179)
二、纵向塞流线圈装置范围·····	(181)
三、纵向塞流线圈技术要求·····	(182)
四、纵向塞流线圈测试·····	(183)
五、纵向塞流线圈质量对电路的影响·····	(187)
第三节 排流线圈测试·····	(189)
一、排流线圈的作用·····	(189)
二、排流线圈技术要求·····	(191)
三、排流线圈测试·····	(192)
四、排流线圈质量对电路的影响·····	(196)
第四节 保安器测试和检修·····	(197)
一、火花放电间隙的调整和检修·····	(197)
二、放电管测试·····	(198)
三、熔丝管测试和检修·····	(202)

第五节 接地电阻测试.....	(207)
一、接地电阻的作用.....	(207)
二、接地电阻要求.....	(208)
三、接地电阻测试.....	(208)
附录一 线路传输衰减常数表.....	(212)
附录二 线路特性阻抗(绝对值)标准值表.....	(233)
附录三 载波机频谱表.....	(243)
附录四 线路串杂音修正系数表.....	(255)

第一章 线路频率衰减测试

第一节 线路频率衰减概念和要求

一、线路频率衰减概念

在有线通信中，电信号从某一端输出后通过线路传输到达另一端时，电信号的电能要受到一定程度的损耗。这种电能损耗称为“线路传输衰减”。

线路传输衰减是取决于线路的基本参数：电阻(R)、电感(L)、电容(C)和绝缘电导(G)。这四个基本参数又称为“线路一次参数”。

线路传输衰减与线路一次参数的主要关系如下：

1. 线路电阻(R)

线路电阻分为直流电阻和交流电阻两种，这里只讲与传输频率有关的交流电阻。

当导线通过交流信号时在导线内部和外部就要产生磁场，这个磁场产生的磁通随电流的变化而变化。任何磁通的变化在导体内部都会产生感应反电动势。这个反电动势的作用的方向与外部信号电动势的方向相反，它对导线内电流的流通，起着阻碍作用，所以使导线内部的电流减小。离导线的中心愈近，电流愈小。

由于流过导线的信号频率越高时，磁通的变化速度也就越

快，因此，导线内的感应反电动势也越高。在这种情况下，导线中心没有电流的范围也就越大，这种现象称为“集肤效应”。如图 1-1-1 所示。

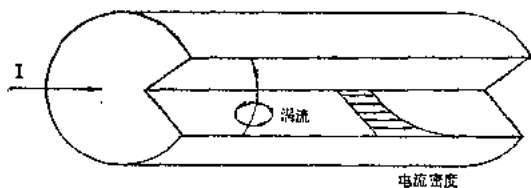


图 1-1-1 电流分布在导线表面的现象

由于集肤效应作用，使导线上传输的交流信号随着频率的增加而使导线的有效截面减小，这样线路的交流电阻（ R ），就会增加。传输频率愈高、集肤效应愈显著、线路交流电阻也就愈大，线路的传输衰减也就愈大。

可见，线路传输衰减是与线路传输频率有关，因而我们将线路传输衰减特性又称为“线路频率衰减特性”。

导线的集肤效应除了受频率影响外，还与导线本身的相对导磁系数 μ 值有关。 μ 值愈高集肤效应愈严重。也就是导磁能越好的导线，集肤效应越明显。

钢线的 μ 值大约在 120~140 之间，铜线的 μ 值是 1，两者差值很大。尤其在高频传输时受到的影响更大，例如：传输频率在 10 千赫，3.0 毫米线径的钢线每公里交流电阻高达 140 欧，而同线径的铜线交流电阻就小得多，如图 1-1-2 所示。因而在高频传输时钢线的衰减特别大，这就是钢线不能用于开通多路载波，只能开通短距离的三路载波的原因之一。

2. 线路电感(L)

当导线通过交流信号时导线上就会产生电感。导线的电感

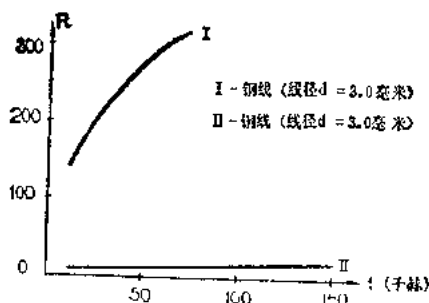


图 1-1-2 线路交流电阻与频率关系

是由内电感和外电感两部分组成的。

外电感是由导线外磁场引起的，它是导线外部的磁通量与产生此磁通的电流之比。外电感与所通过的电流频率无关，它取决于导线的直径与两导线之间的距离。

内电感是由导线内磁场引起的，它是导线内部的磁通量与产生此磁通的电流之比。内电感取决于导线的材料和通过的电流频率，当传输频率升高时由于集肤效应作用使通过的电流分布于导线表面，导线中心没有磁通因而电感量就小。通过的信号频率愈高内电感几乎等于零，所以，导线总电感就等于导线的外电感。

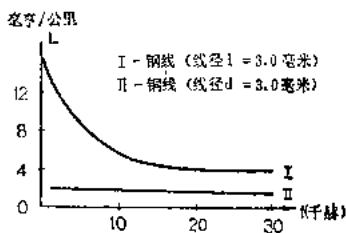


图 1-1-3 线路电感与频率关系

可见，线路的电感量是随着频率的升高而减小。一般来说线路电感量大，线路传输衰减就小。图1-1-3是两种线路的电感与频率的关系。

从图中可以看出，钢线的电感量随频率变化很大，而铜线的电感量随频率变化很小。因而钢线不仅传输衰减比铜线大，

而且频率衰减特性曲线的斜率也比较大，这也是钢线不能开通多路载波的原因之一。

3. 线路电容(C)

导线的电容量是取决于两导线间的线距、线径与线间介质的相对介电系数。对线路材料种类和传输频率无关。线距大、线径细、电容量就小，线距小、线径粗，电容量就大。一般来说线路电容量大，线路传输衰减也大。

4. 线路绝缘电导(G)

导线的绝缘电导是由直流电导和交流电导两部分组成。它是衡量两导线间和线对地间的绝缘程度；是线路绝缘电阻的倒数。

直流绝缘电导是由于两导线间和线对地间的介质不完善引起的，空气中的水份和隔电子质量不好都是引起介质不完美的因素。介质不完善表示线路上有漏电现象，绝缘电阻愈小，绝缘电导愈大，说明线路漏电愈严重，线路传输衰减也愈大。

线路上的积雪或冰凌都是减小绝缘电阻、增加绝缘电导的因素，也是增加线路传输衰减原因之一。

当线路上通过交流信号时，还会使介质产生极化现象引起介质损耗。传输频率愈高介质中的极化损耗也愈严重，交流绝缘电导也就愈大，这样线路传输衰减也就愈大。

由此可知，线路传输衰减是与线路上传输频率和介质损耗有关。

二、线路传输衰减测试原理

由于线路本身无增益只有衰减，可以在线路两端的任一端

作为测试线路频率衰减特性的输入端，另一端作为输出端。测试时在线路某端输送一个信号电平 P_{10} （这个信号电平是由一部振荡器输出），再在线路另一端用一部测量电平的传输测试器（简称电平表）测试这一点的电平值 P_{01} ，在测试仪表阻抗与被测线路输入阻抗匹配情况下，它们之间的电平差值就是被测线路测试频率的传输衰减值。图1-1-4是线路传输衰减测试原理图。

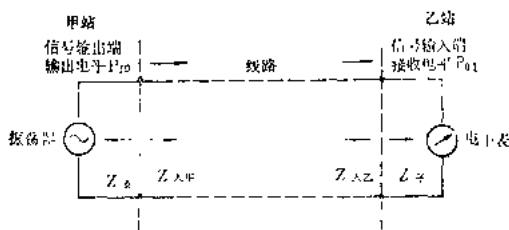


图 1-1-4 线路传输衰减测试原理图

线路传输衰减值的计算由下式表示：

$$b = P_{10} - P_{01} \quad 1-1-1$$

式中：

- b ——线路传输衰减值，
- P_{10} ——振荡器输出电平，
- P_{01} ——电平表接收电平。

按照这个原理根据线路实际使用频段，测试需测频率的传输衰减值，就是线路频率衰减特性测试的简单原理。

三、线路频率衰减特性要求

线路频率衰减特性有以下几点要求：

1. 线路频率衰减特性曲线不应呈现波动状态；

2. 线路频率衰减特性曲线不应出现吸收峰现象；
3. 线路传输衰减测试值应与线路传输衰减理论计算值基本相符。

架空明线和电缆的传输衰减常数（传输衰减理论计算值）见附录1。

第二节 不同类型测试仪表值的修正

在测试线路频率衰减特性时往往因被测线路两端的测试仪表类型不一致，或者仪表阻抗使用错误而造成测试误差。为了求得正确的测试数据需要进行修正，下面对这两种情况的修正方法叙述如下。

一、功率型与电压型仪表测试值修正

1. 功率电平与电压电平的关系

目前电平测量的计量方式有两种：

一种以功率比的对数表示电平，其参考功率选1毫瓦，称为“功率电平”。

比例取常用对数，其单位是“分贝”。

$$\text{如：} P_w = 10 \lg \frac{P_x}{1mw}.$$

比例取自然对数，其单位是“奈”。

$$\text{如：} P_w = \frac{1}{2} \ln \frac{P_x}{1mw}.$$

上两式中的 P_x 系被测点的功率（毫瓦）。

另一种是以电压比的对数表示电平，其参考电压选0.775V。

伏，称为“电压电平”。

比例取常用对数，其单位是“分贝”。

$$\text{如： } P_v = 20 \lg \frac{U_x}{0.775 \text{ V}}。$$

比例取自然对数，其单位是“奈”。

$$\text{如： } P_v = \ln \frac{U_x}{0.775 \text{ V}}。$$

上两式中的 U_x 系被测点的电压（伏）。

实际上，电压电平参考值 0.775 伏也是来源于 1 毫瓦的功率，是功率消耗为 1 毫瓦时在 600 欧阻抗两端的电压。它们之间的关系：

$$P_w = P_v + 10 \lg \frac{600}{Z_x} \text{ 分贝。} \quad 1-2$$

$$\text{或} \quad P_w = P_v + \frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z_x} \text{ 奈。}$$

从上式中可以看出，功率电平与电压电平的关系只相差一个修正值（ $10 \lg \frac{600}{Z_x}$ 或 $\frac{1}{2} \ln \frac{600}{Z_x}$ ）。而这个修正值是与测试点的仪表阻抗 Z_x 有关，当测试点仪表阻抗 $Z_x = 600$ 欧，则不需修正，即电压电平 P_v 等于功率电平 P_w 。

由此可知，在测试线路频率衰减特性如两端使用不同类型仪表，并且仪表阻抗不等于 600 欧时，就必须按照公式 1—2 进行修正。否则测得的数据是不正确的。

2. 功率型与电压型仪表测试值的修正

(1) 振荡器是功率型、电平表是电压型在仪表阻抗不等于 600 欧时测试值的修正。

例① 设某一对载波线两端线路输入阻抗均为 180 欧。测试中甲站是功率型振荡器（1113/s 型），乙站是电压型电平表

(QP-373型)，仪表阻抗均使用150欧。当甲站输出某频率，输出电平 P_{10} 为+17分贝。乙站测得接收电平 P_{01} 为-24分贝。该频率的线路传输衰减测试值计算如下：

①先将接收端电压电平换算功率电平。

暂不考虑仪表阻抗(150欧)与线路输入阻抗(180欧)不完全匹配因素。

代入公式1-2，则乙站换算为功率电平后的接收电平应是：

$$\begin{aligned} P_{01} &= P_w = P_v + 10 \lg \frac{600}{Z_x} \\ &= (-24) + 10 \lg \frac{600}{150} \\ &= -18 \text{ 分贝。} \end{aligned}$$

②线路传输衰减值计算。

已知甲站输出电平 $P_{10} = P_w = +17$ 分贝， $P_{01} = -18$ 分贝，代入公式1-1，则该频率的线路传输衰减值：

$$\begin{aligned} b &= P_{10} - P_{01} \\ &= (+17) - (-18) \\ &= 35 \text{ 分贝。} \end{aligned}$$

(2)振荡器是电压型、电平表是功率型在阻抗不等于600欧时测试值的修正。

例② 将例①中甲站振荡器改为电压型(QF-867型)，乙站电平表改为功率型(379-A型)，仪表阻抗仍使用150欧。振荡器输出电平仍为+17分贝。设乙站测得接收电平 P_{01} 为-12分贝。该频率的线路传输衰减测试值计算如下：

①先将输出端电压电平换算功率电平。

也不考虑仪表阻抗与线路输入阻抗不完全匹配因素。

代入公式1-2。则甲站换算为功率电平后的输出电平应是：

$$\begin{aligned}
 P_{10} &= P_W = P_v + 10 \lg \frac{600}{Z_x} \\
 &= (+17) + 10 \lg \frac{600}{150} \\
 &= +23 \text{ 分贝。}
 \end{aligned}$$

②线路传输衰减值计算。

已知乙站接收电平 $P_{01} = P_W = +17$ 分贝， $P_{10} = +23$ 分贝。
代入公式1-1，则该频率的线路传输衰减值：

$$\begin{aligned}
 b &= P_{10} - P_{01} \\
 &= (+23) - (-12) \\
 &= 35 \text{ 分贝。}
 \end{aligned}$$

可见经过修正后同一线对、同一频率的线路传输衰减值是相同。如果我们不修正只从乙站电平表读数考虑，那么两次测试值相差12分贝。可见使用不同类型仪表，测试误差是相当大的。

为了便于测试值的修正，可用下列简化公式：

$$b = P_{10} - P_{01} - K \quad 1-3$$

式中： K 是修正值可从表1-1中查得，使用时需注意表中的“+”、“-”性质符号。

不同类型仪表测试修正值表

表 1-1

仪表阻抗 (欧)	75	125	135	150	300	600
电平表是电压型 分贝	+0.03	+6.81	+6.47	+6.02	+3.01	0
修正值 K 奈	+1.04	+0.78	+0.75	+0.69	+0.35	0
振荡器是电压型 分贝	-9.03	-6.81	-6.47	-6.02	-3.01	0
修正值 K 奈	-1.04	-0.78	-0.75	-0.69	-0.35	0

二、仪表阻抗失配测试值修正

1. 功率型仪表阻抗失配的修正

(1) 修正值的计算

功率电平型仪表阻抗失配测试值修正由下式表示：

$$K_{11} = 10 \lg \frac{(Z_{11} + Z_{12})^2}{4Z_{11}Z_{12}} \text{ 分贝} \quad 1-4$$

或
$$K_{11} = \frac{1}{2} \ln \frac{(Z_{11} + Z_{12})^2}{4Z_{11}Z_{12}} \text{ 奈}$$

式中：

K_{11} ——功率型仪表阻抗失配修正值。

Z_{11} ——仪表阻抗（欧）。

Z_{12} ——测试点线路输入阻抗（欧）。

(2) 线路传输衰减值的计算

线路传输衰减值由下式表示：

$$b = P_{10} - P_{01} - K_{11} \quad 1-5$$

例① 设某一对载波线两端线路输入阻抗均为 180 欧。测试仪表均系功率型。当甲站输出某频率，输出电平 P_{10} 为 +17 分贝，仪表阻抗为 150 欧。乙站电平表阻抗错用 600 欧。设乙站测得接收电平 P_{01} 为 -17 分贝，求该频率的线路传输衰减测试值。

暂不考虑输出端阻抗失配的修正

解：

已知：电平表阻抗 $Z_{11} = 600$ 欧，

线路输入阻抗 $Z_{12} = 180$ 欧。

* 若两端仪表阻抗均失配，应分别计算和修正。