

架空明线线路教材 通信电缆

中国人民解放军 高射炮兵学校训练部

一九八一年

架空明线通信电缆

线 路 教 材

高射炮校训练部通信教研室

校对 聂书文 杨天然

787×1092毫米16开本

定价 1.95元

高射炮兵学校训练部印刷厂印刷

目 录

第一章 通信线路的传输特性	(1)
第一节 通信线路的种类及其传输频率.....	(1)
一、通信线路的种类.....	(1)
二、通信线路的传输频率.....	(1)
第二节 通信线路的传输衰耗与基本参数.....	(2)
一、什么是线路的传输衰耗.....	(2)
二、线路为什么会有衰耗.....	(3)
三、通信线路的基本参数.....	(3)
第三节 通信线路的衰耗常数 β 及其与频率、气候的关系.....	(8)
一、传输常数与频率的关系.....	(8)
二、传输常数与气候的关系.....	(9)
三、通信线路的直达通信距离.....	(9)
第四节 通信线路的特性阻抗.....	(11)
一、什么是特性阻抗.....	(11)
二、特性阻抗与频率的关系.....	(12)
三、阻抗匹配.....	(14)
四、失配后产生反射.....	(14)
第二章 通信架空明线线路	(16)
第一节 架空明线线路的交叉原理.....	(16)
一、串杂音及其影响.....	(16)
二、减小回路串音的方法.....	(19)
三、交叉间隔、交叉点和交叉区.....	(21)
四、交叉指数和交叉指数展开图.....	(23)
五、杆面型式和交叉程式.....	(26)
第二节 架空明线器材及工具.....	(37)
一、器材.....	(37)
二、工具.....	(45)
第三节 架空明线线路的勘察、测量和设计(参考).....	(47)
一、线路勘察.....	(47)
二、线路测量.....	(50)
三、线路设计.....	(59)
第四节 架空明线线路的施工程序.....	(63)

一、挖洞·····	(63)
二、装杆与接杆·····	(64)
三、立杆·····	(69)
四、拉线·····	(69)
五、放线·····	(73)
六、接线·····	(73)
七、悬线·····	(74)
八、紧线·····	(74)
九、调整线条垂度·····	(75)
十、做交叉·····	(77)
十一、扎线·····	(78)
十二、号杆·····	(79)
第五节 架空明线线路验收·····	(80)
一、验收内容·····	(80)
二、验收标准·····	(80)
第三章 通信电缆线路介绍 ·····	(84)
第一节 通信电缆概述·····	(84)
一、通信电缆的构造及分类·····	(84)
二、电缆的标志和识别方法·····	(86)
三、电缆的增音段距离与市话衰减分配规定·····	(88)
第二节 电缆的敷(架)设·····	(89)
一、直埋电缆的敷设·····	(89)
二、架空电缆的架设·····	(90)
第三节 电缆的接续与封焊·····	(99)
一、市话电缆芯线的接续·····	(99)
二、铅包电缆的封焊·····	(100)
第四节 电缆的维护与保养·····	(102)
一、气压维护·····	(102)
二、电气性能测试及其标准·····	(105)
三、架空电缆线路机械强度维护项目·····	(106)

第一章 通信线路的传输特性

有线电通信是利用通信线路传送信号，达到通信目的的。如两部电话单机对通，需要通信线路连接；两部载波机对通，也需要通信线路进行连接，所以有线电通信是离不开通信线路的。它是有线电信号的传输媒介，也是有线电通信的重要组成部分。

第一节 通信线路的种类及其传输频率

一、通信线路的种类

通信线路按用途不同可分为野战和永备通信线路两种。野战通信线路按其结构的不同，又可分为野战被复线和野战电缆。永备通信线路，以其结构不同可分为永备架空明线线路和永备电缆线路。

野战被复线适用于音频电话和单路载波电话，通信距离较近。通音频电话时约为15~25公里。通单路载波电话时约为5~20公里。一般适用于师以下部队之间和指挥机关内部的通信。关于野战被复线将在通信勤务中详述，本教材不作研究。

野战四芯电缆，其通信距离比被复线远。音频电话的直接通信距离可达80~100公里。通载波电话时，三路可达55公里；十二路可达20公里。在野战情况下，它主要用以沟通师以上各级之间的电话、电报通信。

永备架空明线线路，通信距离较远，一般都在几百公里以上，可开通单路、三路或十二路载波电话。由于暴露地面，容易遭受自然和敌炮火破坏，电气特性容易受气候条件的影响，而造成不太稳定。

永备通信电缆的通信距离较远，在线路上加增音机后，通信距离可达几千公里。线路敷设于地下，隐蔽可靠，性能稳定，可以不受气候条件的影响。所以永备电缆线路通常用于统帅部对各大军区，各大军区之间，以及重要战略要塞之间的有线电通信网。

二、通信线路的传输频率

不同的通信线路，传输频率的范围也不一样，因而用途也不一样。

被复线：传输频率范围为20千赫芝以下，所以只适用于开通音频电话和单路载波电话。

架空明线：3.0铜线，其传输频率范围为150千赫芝以下，故它最高可开通十二路载波电话；4.0铁线，其传输频率范围为30千赫芝以下，故它最高只能通三路载波电话。

对称电缆：它的传输频率范围为12千赫芝~252千赫芝~552千赫芝，故可通60路或120路载波电话。

同轴电缆:

小同轴电缆, 它的传输频率范围从60千赫芝~4兆赫芝~12兆赫芝, 故可以通300、960或2700路载波电话。

中同轴电缆: 它的传输频率范围从300千赫芝~9兆赫芝~60兆赫芝, 故可以通1800、2700或10800路载波电话, 还可以转播彩色电视节目。

为什么不同的通信线路, 其传输的频率要受到“限制”呢? 主要是因为通信线路上的电阻、电容、电感和漏导对信号产生衰耗。而频率越高衰耗越大, 这就限制了各种通信线路实际使用的频率范围, 也就是限制了各种通信线路所能传输的路数。

第二节 通信线路的传输衰耗与基本参数

一、什么是线路的传输衰耗

信号沿线路传输时, 其功率、电压及电流逐渐减小的现象叫做衰耗。因为这种衰耗是信号在传输过程中产生的, 所以叫做传输衰耗。

在音频电话回路里, 其线路信号衰减的大小有一个标准值(即允许的线路衰耗)。一部标准电话单机工作时, 输出功率为1毫瓦, 而标准话机的接收功率至少在1微瓦以上, 则线路允许的衰耗为话机发送功率与接收功率之比取自然对数之半。即:

$$\begin{aligned} b_{\text{允许}} &= \frac{1}{2} \lg \frac{\text{发送功率}(1 \text{ 毫瓦})}{\text{接收功率}(1 \text{ 微瓦})} = \frac{1}{2} \lg \frac{1}{10^{-3}} = \frac{1}{2} \lg 10^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 3 \times 2.3026 = 3.56 \text{ N (奈贝)} \end{aligned}$$

这就是说, 音频回路允许的衰耗不得大于3.56 N。为了保证用户通话时得到满意的音量, 国际上和我国规定两部电话机直接通话时允许最大的线路衰耗是3.3 N。

不同的通信线路对信号的衰耗不同, 为了便于比较, 通常以1公里长度线路的衰耗为标准。线路每1公里的衰耗称为该线路的公里衰耗或固有衰耗常数, 用“ β ”表示。单位是奈/公里或毫奈/公里。固有传输常数 β 表示信号沿无限长均匀线传输一公里时, 电压或电流衰减的量。表1—1表示不同通信线路的衰耗常数值。

表 1—1

频率 (K C)	3.0mm铜线在潮湿 条件下的衰耗常数 (毫奈/公里)		4.0mm铁线在潮湿 条件下的衰耗常数 (毫奈/公里)		电缆线路衰耗常数 (20℃时, 毫奈/公 里)		超轻型被 复线衰耗 常数(毫 奈/公里)
	a = 20cm	a = 60cm	a = 20cm	a = 60cm	d = 0.9mm	d = 1.4mm	
0.3	3.94	3.39	9.31	8.44	41.1	26.8	
0.5	4.23	3.60	12.8	11.1	49.8	34.2	
0.8	4.4	3.7	16.9	15	64.4	42.3	180
5.0	5.31	4.55	54.0	47.0	141.0	77.4	
7.0	5.88	5.07	67.0	57.8	180.0	92.0	
10.0	6.79	5.91	84.5	74.0	220.0	110.0	
30.0	11.9	10.7					
50.0	15.9	14.4					
80.0	21.3	19.3					
100.0	24.6	22.3					
150.0	31.3	29.8					
注:	a ——表示两线间的距离; d ——表示芯线线径。						

二、线路为什么会有衰耗

从电工学中得知,任何金属材料制成的导线都具有电阻。导线电阻的大小除与线料有关外,还与导线的长度和导线的直径有关,导线的直径越粗,电阻越小,反之则大;导线越长,电阻越大,反之则小。此外,导线电阻还与导线周围的环境温度和所传输信号的频率有关。由于通信线路始终有电阻存在,所以就使信号电压、电流在线路传输中逐渐变小,这就造成了线路衰耗。但是应当指出,造成线路衰耗的不仅有线路电阻,而且还有线路电感、电容和漏导等因素,下面将分别讨论。

三、通信线路的基本参数 (R、L、C、G)

任何一对通信线路都具有一定的电阻和电感,而且,在两导线间还具有一定的电容和漏电感(简称漏导)。其电阻R、电感L、电容C和漏导G它们均匀地分布在沿线路的每一点上。故决定着通信线路的电气性能,并称之为通信线路的基本参数。

由于通信线路的距离很长，为了分析方便起见，取线路一公里的长度为单位，来讨论其公里电阻、公里电感、公里电容和公里漏导对通信线路所形成的衰耗。

(一) 公里电阻 (R) — 单位：欧姆 (Ω) / 公里

公里电阻 R 是由直流电阻和交流电阻两部份组成。所谓公里电阻，即在一公里长的线路里，对信号电流所呈现的“阻力”。

1. 直流电阻

导线的直流电阻决定于导线的材料，导线的横截面积 (S) 和它的长度 (L)。

直流电阻的计算公式：当 $t = 20^{\circ}\text{C}$ 时

$$R_{\text{单}} = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{1000}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \rho \frac{4000}{\pi d^2} \quad \text{单位 } \Omega/\text{Km}$$

$$R_{\text{双}} = 2 R_{\text{单}} = \rho \frac{8000}{\pi d^2} \quad \text{单位 } \Omega/\text{Km}$$

式中：d——表示导线的直径，单位为 (毫米)

ρ ——表示温度在摄氏 20°C 时的电阻系数，单位为欧姆 $\frac{\text{平方毫米}}{\text{米}}$

当温度不在 20°C 的情况下，其导线的直流电阻按下列公式计算：

$$R_t = R_{20} [1 + \sigma(t - 20)] \quad \text{单位 } \Omega/\text{Km}$$

式中： R_t ——温度为 t 度时的直流电阻

σ ——电阻的温度系数

t ——在零上时取正值，零下时取负值。

各种线料的电阻系数和温度系数见表 1—2 所示。

表 1—2

金属名称	ρ	σ	比重
银	0.0147	0.0038	
铜	0.01785	0.0039	8.9
铝	0.0291	0.0037	2.71
铁	0.139	0.0046	7.7

2. 交流电阻 (R_交)

每公里电阻的大小与传输电流的频率 f 有关。这是由于“集肤效应”所引起。集肤效应是指当导线上传送交流电时，其交流电流不是均匀分布在导线的内部，而是趋于导线的表面，从而使导线的有效传输截面减小，电阻增大。如图 1—1 所示。

当导体通过有变化的电流以后，在导体的内部和外部均产生变化的磁场，由于内磁场的存在，必然要在导体内部产生感应电势，从而形成感应电流。此感应电流就是涡流。如图

导线中心涡流方向与外来电流方向相反，导线表面的涡流方向与外来的电流方向相同，这两部份电流合成后，大部份沿导体表面传输。如果频率 f 越高，感应电势就越大，涡流也就越大，使电流几乎全部集中在导体的表面传输，集肤效应就越严重。

所以，公里电阻 R 由两部份组成，即： $R = R_{直} + R_{交}$ 。

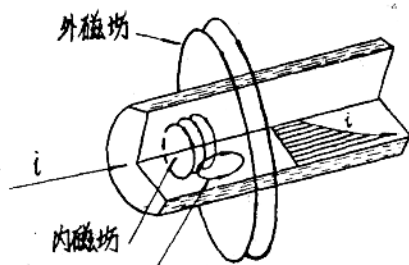


图 1—1 导体的集肤效应及其电流分布

(二) 公里电感 (L) 一单位：
亨利 (H) / Km

当线路上通有信号电流时，在导线的内部和周围均产生磁通，如图 1—2 所示。磁通交链到邻近回路中，就出现电磁感应现象。我们将每公里线路所产生的磁通与电流的比值，叫做公里电感。

$$\text{公式： } L = \frac{\Phi}{I}$$

式中： L ——表示公里电感
 Φ ——表示公里磁通
 I ——表示电流

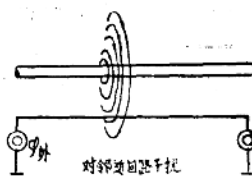
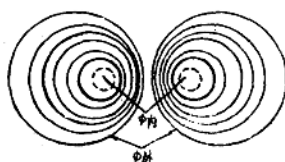


图 1—2 通信线路的电磁感应

1. 公里电感的大小与导线材料、导磁系数的关系

线料的不同，它的导磁系数也就不同。导磁系数大的导线，公里电感就大。一般架空明线铁线的公里电感约为 $8 \sim 10$ 毫亨/Km，铜线的公里电感约为 $1.2 \sim 2$ 毫亨/Km。

2. 公里电感的大小与导线间距离的关系

两导线间的距离近则电感小，距离远则电感大。这是因为磁力线是包围本导体的环形闭合曲线，如果两线间距离越远，则包围的磁力线就越多，根据 $L = \frac{\Phi}{I}$ 的公式，当 I 一定时磁力线增加（即 Φ 增加）， L 也就增大。反之，两导线间距离越近，则包围的磁力线就越少（即 Φ 减小），则 L 也就减小。

3. 公里电感的大小与信号电流频率 f 的关系

公里电感随导线上所传输的信号电流频率 f 的增高而减小。这是因为导线通过交流电时，出现集肤效应现象，使导线中心部分的电流减小，以致内部磁通 Φ 减小，影响到总磁通也减小，所以公里电感也就相应的减小了。

长途电缆由于导线间距离很近，因而磁通交链也就很少，所以公里电感很小。

但是，这里必须注意，虽然电感 L 随频率 f 的增高而减小，但感抗 x_L 是随频率 f 的增高而

增大的。感抗的公式为：

$$x_L = 2 \pi f L = \omega L$$

(三) 公里电容 (C) —单位：法拉 (F) /Km

任何两个导体中间，隔以绝缘物，即形成电容。在通信线路中，双线回路两导线间、单线回路与大地间，均隔以空气（介质），因而形成一个大的电容器，这种电容是均匀分布在两导线之间的。如图 1—3 所示。

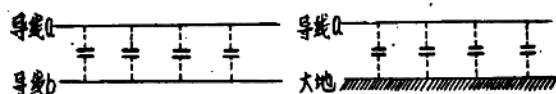


图 1—3 公里电容示意图

我们将每公里线路间所具有的电容容量叫做公里电容，其计算公式为：

$$C = \frac{\epsilon s}{d}$$

ϵ ——为介电常数，单位是“法拉/米”。

s ——表示极板的有效面积，单位是“平方米”。

d ——表示两极板间距离，单位是“米”。

上式说明公里电容与导线直径、两导线间距离、以及线间绝缘物的介电常数有关。若导线直径越小，两导线间的距离越远，以及绝缘物的介电常数越小，则公里电容就越小。

电缆线路的公里电容，比架空明线大得多。这是由于两导线的中心距离很小，而绝缘物的介电常数大的缘故。

(二) 公里漏电电导 (G) —简称漏导—单位：姆欧 Ω /Km。

双线回路用绝缘材料使两条导线互相绝缘，同时，每条导线对大地也是绝缘的。但是任何介质都不可能绝对不导电，因此在通信线路上，就会有一部分电流经过导线间的绝缘物（介质）如隔电子、空气或被复层橡皮等，漏到另一根导线而返回发送端如图 1—4 所示。漏电电流大小与两导线间的绝缘电阻有关。绝缘电阻越小，漏电电流越大。衡量漏电大小通常用漏电电导 (G) 来表示，漏电电导（简称漏导）的数值就是绝缘物的绝缘电阻的倒数即：

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{单位：姆欧 } \Omega$$

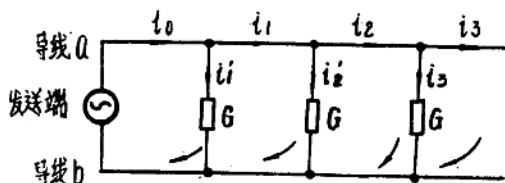


图 1—4 导线漏导示意图

一公里导线的漏导称为公里漏导。架空明线的公里漏导与一公里长的线路上的隔电子数目、质量、气候条件（如干燥、下雨、霜冻、冰凌）以及传输的信号电流的频率 f 有关。

1. 公里漏导与绝缘材料的关系

架空明线的两条导线是安装和固定在隔电子上的，如果隔电子的绝缘性能好、漏电就会小；如果线路使用时间长，隔电子受到机械损伤或表面不清洁，其绝缘性能低，漏电就大。所以，要选择质量好的隔电子，保持隔电子表面清洁，发现有损伤或裂纹的隔电子要及时更换。

2. 公里漏导与气候条件的关系

天气晴朗干燥时，导线间的绝缘好，漏电小。天气阴雨、下雾、冰雪、霜冻时，空气潮湿，其绝缘就差，漏电信大。所以气候对通信质量和通信距离有很大的影响。

3. 公里漏导与频率 f 的关系

在通信线路上传输的都是交变的信号电流，在某一瞬间，上“+”下“-”（或者下“+”上“-”）时，它将使两导线的介质（空气）反复极化（如图1—5所示）。因为当两导线上加上电压后，两导线间就会产生电场，使介质中的原子受电场的作用，形成原子的一端带正电，而另一端带负电，它们在电场力的作用下，进行了有规则的排列，这种现象称为介质极化。由于信号电流是一个交变的电流，两导线间的电场随着信号电流的变化而变化，介质的极化方向也不断改变，形成了反复极化。这种反复极化的过程，会使分子的热运动加剧，频率越高，这种运动的加剧就越激烈，就使一部份信号电能转换成热能而损耗掉了。这种损耗，叫做介质损耗。

由于线路存在着上述四个参数，而这些参数又是均匀地分布在整个线路上的，因此，截下来很短的一小段线路（若一公里）就可以近似地认为这些参数集中在线路的一点上，可用一个等效电路来表示，如图1—6所示。

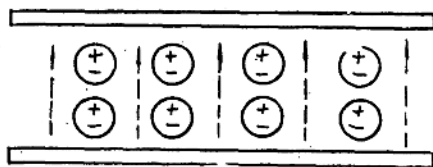


图1—5 介质极化过程

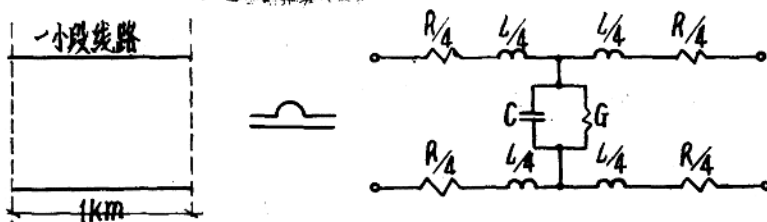


图1—6 通信线路的等效电路

从图 1—6 可看出，一小段线路的等效电路，是一个“无源四端网络”。而整个通信线路，则可看成是很多节这样的小段等效电路串联组成的。图 1—7 所示。

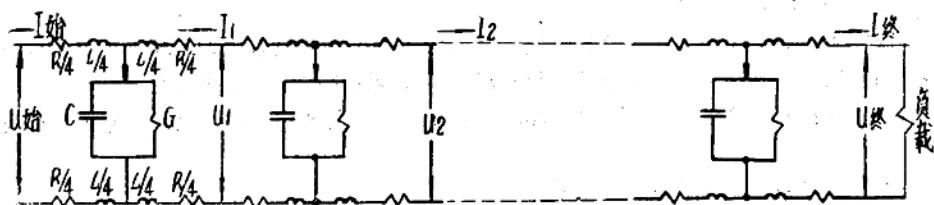


图 1—7 通信线路是由很多四端网络所构成

由于线路上存在 R 、 L 、 C 、 G 四个参数，当信号沿线路传输时，在串联的 R 和 L 上要产生电压降，经过并联的 C 和 G 会产生分流，因而使得电压越来越低，电流越来越小，也就是说功率越来越小。如图 1—7 所示：

$$U_{\text{始}} > U_1 > U_2 > \dots > U_{\text{终}}$$

$$I_{\text{始}} > I_1 > I_2 > \dots > I_{\text{终}}$$

即 $P_{\text{始}} > P_1 > P_2 > \dots > P_{\text{终}}$

这种现象就是衰耗。所以说，线路衰耗是由于线路上存在着 R 、 L 、 C 、 G 等四个参数而造成的。

由此可见，线路衰耗是客观存在，要完全消除线路衰耗是不可能的。因此，要想减小线路衰耗，必须从提高线路架设质量和加强维护管理着手。

第三节 通信线路的衰耗常数 β 及其与频率、气候的关系

上节研究了信号在通信线路中传输时，其能量随着线路的增长而逐渐减小，这说明通信线路对信号有衰耗。一公里线路的衰耗称为通信线路的“衰耗常数”，用“ β ”表示。传输常数的大小与线路的参数有关，而线路的基本参数又与传输频率和气候有关，所以，传输常量 β 也与频率和气候有关。

一、传输常数 β 与频率 f 的关系

从 β — f 曲线中可以看出，当 f 为零时，线路上有一定的衰耗。

当频率 f 升高时，线路衰耗随着频率 f 的升高而增加，如图 1—8 所示。

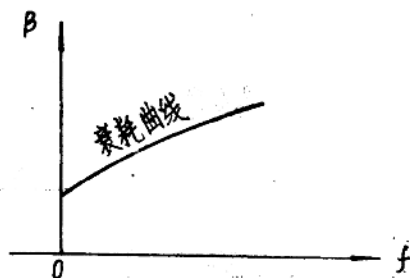


图 1—8 架空明线 β — f 曲线

这是因为线路的分布参数 (R 、 L 、 C 、 G)，组成了许多节四端网络，若频率 f 升高，则串臂 (R 、 x_L) 上的压降增大，在并臂 (G 、 x_C) 上的分流增大，它们综合作用的结果，线路的衰耗 β 就随频率 f 的升高而增大了。

二、传输常数 β 与气候的关系

气候的干燥与潮湿，也直接影响线路衰耗的增加和减小，如图 1—9 所示。

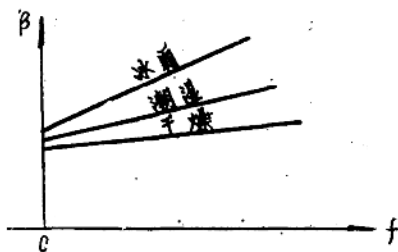


图 1—9 β — f 曲线与气候的关系

当气候干燥时，其衰耗常数 β 较小。当气候潮湿或冰霜时，其衰耗常数 β 较大。从图上可见冰霜天气的衰耗最大，而干燥天气的衰耗最小。表 1—3 表示不同的频率和不同的线径，在不同气候条件下， β 值变化的情况。

上述可知，由于通信线路对不同频率的衰耗常数不同，因而当信号在线路上传输时，就要产生失真，这种失真叫衰耗失真。由于衰耗失真的存在，影响了通话质量，从而也限制了通信距离。要想实现长途通信，除了要克服线路衰耗外（加装放大器），同时必须克服线路的衰耗失真。目前多采用在机器设备中增设衰耗均衡器（或导频设备），以克服衰耗失真。

三、通信线路的直达通信距离

机器与通信线路相连时，为什么只能传输一定的通信距离呢？这就是由于通信线路存在着四个基本参数所引起的“线路衰耗”。就是说，信号电流沿线路传输时，从始端到终端总有损耗。因为机器本身具有一定的发送能量，此能量要克服线路的衰耗，传送到接收端，达到通信的目的。其能量的大小用“电平”表示。

线路允许衰耗 ($b_{\text{工作}}$) = 发送端电平 - 接收端电平。求出线路允许的工作衰耗后，再根据线路的传输常数大小，即可求出直达通信距离来。

例一：B—845C 型单路载波机，发送端（外线测量）电平为 $+0.5^N$ ，接收端（外线测量）电平为 -3.5^N ，求在潮湿时 3.0 铜线上的直通距离 ($f = 5 \text{ KHz}$ 时 3.0mm 的 $\beta = 0.00531^N / \text{Km}$)。

解：先求出线路传输后的衰耗电平为：

$$b_{\text{工作}} = +0.5^N - (-3.5^N) = 4^N$$

表 1—3

导 线 β f (KHZ)	3.0 铜 线		4.0 铁 线		3.0 铁 线	
	干燥 t = 20°C	潮 湿	干燥 t = 20°C	潮 湿	干燥 t = 20°C	潮 湿
0.8	0.00423N/Km	0.0044 N/Km	0.0162 N/Km	0.01678N/Km	0.0193 N/Km	0.0197 N/Km
5	0.00488 "	0.00531 "	0.0531 "	0.0538 "	0.0636 "	0.064 "
10	0.00605 "	0.00679 "	0.083 "	0.0845 "	0.098 "	0.0991 "
20	0.00827 "	0.00959 "	0.127 "	0.129 "	0.152 "	0.1541 "
30	0.01 "	0.0119 "	0.162 "	0.165 "	0.195 "	0.1975 "
150	0.02226 "	0.03108 "				

则直达通信距离为:

$$L = \frac{\text{工作衰耗}(b)}{\text{衰耗常数}(\beta)} = \frac{b_{\text{工作}}}{\beta} = \frac{4}{0.00531} \approx 760 \text{公里}$$

如果连接4.0铁线, $\beta = 0.0531 \text{N/Km}$ (干燥), 则 $L = \frac{4}{0.0531} \approx 76 \text{公里}$ 。

例二: 用两部65—1型单机对通, 其连接导线用超轻型被复线, 音频线路最高允许线路衰耗为 3.3N , 试求直通距离。 ($f = 0.8 \text{KHz}$ 时, $\beta = 0.18 \text{N/Km}$)

解:
$$L = \frac{\text{工作衰耗}}{\text{衰耗常数}} = \frac{3.3}{0.18} \approx 18.3 \text{公里}$$

如果连接4.0铁线时, 则:

$$L = \frac{3.3}{0.0531} \approx 62 \text{公里}$$

从以上计算可以看出: 机器接上不同的通信线路, 其直通的距离是不一样的。对B—845C单路载波机而言, 在3.0铜线上能通760公里, 而在4.0铁线上仅能通76公里。所以, 机器和线路要使用得当, 对于正确使用各种通信线路, 在实际工作中是很重要的问题, 必须予以充分注意。

由此可见, 线路衰耗直接影响着通信的距离, 要克服线路衰耗对通信距离的影响以延长通信距离, 除设法减小线路衰耗以外, 还必须从机器设备方面着手, 如在通信机器中加装放大器或使用专门的增音机等。

第四节 通信线路的特性阻抗

信号电流在通信线路上传输时, 力求使负载能获得较大的功率, 以得到良好的通信质量。要达到这一点, 不仅要考虑到通信线路的衰耗, 更重要的还要考虑到通信线路的特性阻抗。

一、什么是特性阻抗

当线路上不存在反射时 (假若线路无限长或在阻抗匹配条件下), 线路上任意一点的输入阻抗 (或任一点的输入电压与输入电流之比), 就称该线路的特性阻抗 (或波阻抗)。

特性阻抗 Z_c 可用下列公式表示:

测量公式:

$$Z_c = \sqrt{Z_o \cdot Z_{\infty}} \quad \text{单位: } \Omega \quad (1-1)$$

式中: Z_o ——表示负载短路时的输入阻抗。

Z_{∞} ——表示负载开路时的输入阻抗。

计算公式 (推导步骤略):

$$\dot{Z}_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad \text{单位: } \Omega \quad (1-2)$$

从1—2式可知,线路的特性阻抗的大小决定于线路的基本参数。如果通信线路的线质、线径和两线间的距离确定后,那么该线路的四个基本参数也就确定了,故特性阻抗 Z_c 也就确定了,并且为一“定值”。所以,线路的特性阻抗 Z_c 与通信线路的长度无关。

从1—2式中还可看出,特性阻抗“ Z_c ”是一个复数值。因此我们把它写成:

$$\dot{Z}_c = \frac{\dot{U}}{\dot{I}} = |Z_c| e^{j\phi_c} = \frac{|U| e^{j\phi}}{|I| e^{j\psi}} = \left| \frac{U}{I} \right| e^{j(\phi - \psi)} \quad (1-3)$$

也就是:

$$|Z_c| = \left| \frac{U}{I} \right|, \quad \phi_c = \phi - \psi$$

1—3式中

$\dot{U}$ ——表示线路任一点的复数电压, $|U|$ 是它的绝对值, ϕ 是初相角。

$\dot{I}$ ——表示线路任一点的复数电流, $|I|$ 是绝对值, ψ 是初相角。

$\dot{Z}_c$ ——表示线路的复数特性阻抗, $|Z_c|$ 是绝对值, ϕ_c 是特性阻抗的幅角,即电压和电流的相位差。

二、特性阻抗与频率的关系

由于特性阻抗是一个复数,下面我们把绝对值 $|Z_c|$ 和幅角 ϕ_c 与 f 的关系分开来研究。

(一) 绝对值 $|Z_c|$

从1—2和1—3式得知:

$$\begin{aligned} \dot{Z}_c = |Z_c| e^{j\phi_c} &= \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} e^{j\phi_1}}{\sqrt{G^2 + \omega^2 C^2} e^{j\phi_2}}} \\ &= \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}} e^{j\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}} \end{aligned} \quad (1-4)$$

则:

$$|Z_c| = \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{G^2 + \omega^2 C^2}} \quad (1-5)$$

当 $f = 0$, 即 $\omega = 0$ 时:

$$|Z_c| = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

当 $f = \infty$, 即 $\omega = \infty$ 时

$$|Z_c| = \sqrt{\frac{\frac{R^2}{\omega^2} + L^2}{\frac{G^2}{\omega^2} + C^2}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

但在实际上，通信线路基本参数之间存在着这样的关系：

$$\frac{R}{L} > \frac{G}{C} \text{ 或 } \frac{R}{G} > \frac{L}{C}, \text{ 即 } \sqrt{\frac{R}{G}} > \sqrt{\frac{L}{C}}$$

也就是说频率低时，特性阻抗的绝对值大，频率高时，特性阻抗绝对值小。因此，特性阻抗的绝对值是随频率的增高而逐渐减小的，如图 1—10 所示。这是因为频率增高时，线路上并联的容抗 (x_c) 减小的很多，而串联的感抗 (x_L) 增大的较慢， $\sqrt{\frac{L}{C}}$ 就小，所以线路的特性阻抗的绝对值随频率增高而减小 (也可以从 L 随 f 增高而减小，而 C 与 f 无关来解释)。

(二) 幅角 ϕ_c

从 1—4 式可看出：

$$\phi_1 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega L}{R}$$

$$\phi_2 = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\omega C}{G}$$

由于 $\frac{R}{G} > \frac{L}{C}$ ，即 $\frac{C}{G} > \frac{L}{R}$ ，则 $\frac{\omega C}{G} > \frac{\omega L}{R}$

所以， $\phi_2 > \phi_1$ ，那么， $\phi_c = \frac{\phi_1 - \phi_2}{2} < 0$ (是负值)

不难看出 $\phi_c = \phi - \psi < 0$

(是负值)

因此， $\psi > \phi$

这就是说，通信线路任意点上的电流均超前于电压。所以说一般通信线路的阻抗呈现电容性就是这个道理。

当 $f = 0$ 或 $f = \infty$ 时， $\frac{\omega L}{R} = \frac{\omega C}{G}$ ， $\phi_1 = \phi_2$ ，故 $\phi_c = 0$ 。

因为在 $f = 0$ 及 $f = \infty$ 时， $\phi_c = 0$ ，而在有限频率下 $\phi_c < 0$ ，所以在某一频率下， ϕ_c 应该有负的最大值，如图 1—10 所示。对所有线路来说， ϕ_c 负的最大值位于 5—20 赫的低频，其大小 -45° 左右。在音频和高于音频时， ϕ_c 的绝对值随频率增加而减小。在中间音频时，电缆线路的幅角 ϕ_c 可能等于 -44° 左右，架空铜线 -10° 左右，架空铁线 -25° 左右。

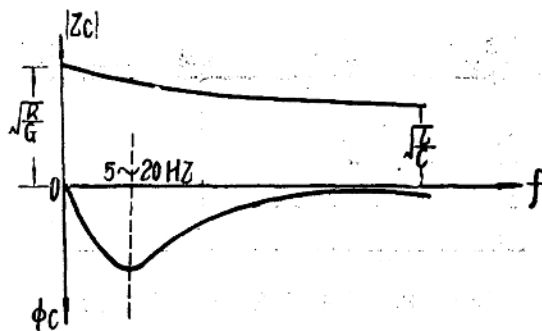


图 1—10 Z_c 与 f 的曲线