

И·С·茲維尼戈罗斯基著

陈道元 陈维乾 叶世勋译

远动装置的通道

中国工业出版社

远动装置的通道

陈道元 陈维乾 叶世勋 译
彭淳绍 许文青 郑家清 校

中国工业出版社

最近几年来,我国电力系统中进行了远动化的试验研究工作,其中有不少远动装置已投入使用,对于提高调度管理技术装备的水平,起到了很好的作用。

远动装置的通道是远动系统中重要的一环。本书对远动装置的通道作了综合的、基本的介绍,其中包括通信电路的特性,线路继电器的的工作,在有线路通信线路、输电线路、无线路中继线路上所采用的各种通道设备,以及通道的选择原则和计算方法等,对于从事远动化工作的技术人员、技工和有关专业的大专学生,是一本很实用的参考书,爰翻译出版,以飮读者。

本书由陈道元、陈维乾、叶世勋等同志翻译,由彭淳绍、许文青、郑家清等同志审校。

И.С.Звенигородский
КАНАЛЫ СВЯЗИ ДЛЯ ТЕЛЕМЕХАНИКИ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ
1960 МОСКВА

* * *

远动装置的通道

陈道元 陈维乾 叶世勋 译
彭淳绍 许文青 郑家清 校

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南营房)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本787×1092毫米·印张4⁹/₁₆·字数98,000

1963年6月北京第一版·1963年6月北京第一次印刷

印数0001—2,570·定价(10-6)0.60元

*

统一书号: 15165·2167(水电-296)

目 录

緒言	5
第一章 通信綫路和通道的特性	8
1-1 通信綫路	8
1-2 頻率通道	19
1-3 通道中的失真	29
第二章 綫路继电器	35
2-1 继电器的特性	35
2-2 由继电器引起的失真和干扰的影响	39
2-3 失真的校正	43
2-4 綫路继电器的接綫	50
第三章 信号在通信綫路上的傳送	57
3-1 使用綫路的一般問題	57
3-2 最簡單的复用电路	61
3-3 音頻及高頻通道的复用电路	70
3-4 远动通道在高頻電話設備中的区分	80
第四章 信号在輸电綫上的傳送	83
4-1 概述	83
4-2 輸电綫上的通道設備	84
4-3 輸电綫远动通道的設備	91
4-4 輸电綫通道中的干扰	101
第五章 信号在无綫电中继綫路中的傳送	104
5-1 概述	104
5-2 无綫电中继綫路	106
5-3 无綫电中继站	108

第六章 通道的選擇和計算	113
6-1 選擇通道的一般原則	113
6-2 通道類型的選擇	117
6-3 直流通道及低頻、音頻交流通道的計算	120
6-4 輸電綫高頻通道的計算	127
6-5 失真的測量	130
附錄	137

緒 言

各种远动设备的用途，是远距离傳送消息或命令（即信息）。远动通信的特征是：被傳送的信息的容量較小，而要求傳輸的可靠性很高。为了使傳送可靠，不仅要使設備无故障的工作，而且要保持信息的載頻信号的各种特性不致失真，或使其失真可以在接收設備中校正。

这些要求的提出，是由于远动装置的信号往往要去操作控制非常重要的过程的設備，如果远动信号产生失真，使这些設備誤动作，則可能引起很大的物质損失或事故。此外，对于生产过程远动化的重要要求之一，是加速这些过程的控制。信号的失真迫使調度員或自动装置重复失真的信号，延迟了操作，从而使远动設備失去了一个主要的优点。

远方机械中信息的傳送由以下三个步驟組成：在远动发送装置中形成信号；在綫路上傳送信号；在綫路另一端的接收装置中使信号还原。第一和第三步驟由远动装置来实现。通信装置只用来实现第二步驟。由于信号在傳送时要轉变好几次，以致第二步驟比較复杂。

傳送远动装置的信号通信設備和通信綫路总称为“通道”。远动装置的信号在通道中傳送时，其本身特性与傳送電話电报的信号沒有区别，其作用实际上也相同。所以，就信号在各种形式的通道中的傳送來說，可以在電話电报的傳輸原理及各种电气通信方法的应用經驗的基础上，研究远动信号的特性。

为了傳送不同的远动装置的信息，采用了几种电气信号形式(图B-1):

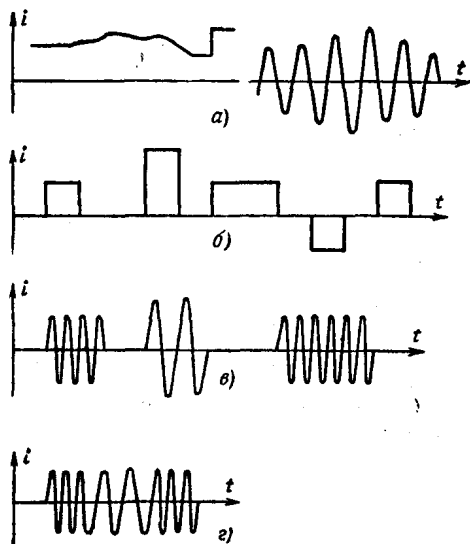


图 B-1 在通道中傳送信号的几种形式

a—連續的直流或交流电流；б—直流脉冲；в—交流脉冲；г—頻率調制的交流电流

(1) 連續地发送直流或交流电流，其数值平滑地或跳跃地变化。此时，以被傳送电流的数值作为选择特征来区别信号。这些信号在整流系統或其他遙測系統中按强度法取得，也在某些遙信系統中取得。

(2) 发送短暫的直流脉冲，其間以間隔分开，間隔也有作用。脉冲的寬度、数值、符号可以不同，其中每一个都可以作为选择特征。間隔以寬度来区别。

(3) 发送交流脉冲。脉冲的寬度、电流的数值和頻率都可以不同。脉冲之間の間隔，則只有寬度一个特征。

在大多数的遙控遙信裝置，以及很多遙測系統中，都采

用发送脉冲的方式。

(4)連續发送交流电流，其频率随被傳送的信号而变化。这些信号用于遙测装置，也可以在組織遙控遙信通道时作为中間信号。

其他形式的信号在远动通道中很少采用。

为傳送信号而使用的通信頻譜很寬，从直流到30,000兆赫。这个頻譜分为許多頻段，其中最重要的是：从直流(0赫)到300赫——亚音頻段，为直流电报所应用；300~3400赫——音頻段，一般为不变換频率的音频电话所应用，有时也为音频电报所应用；3.5~6千赫——超音頻段，安排着傳真电报、超音頻电报和某些載波电话的通道；6~150千赫——載波电话頻段。从30~40千赫到500~600千赫的頻段，构成沿高压輸电綫傳送的載波电话、远动和高頻保护的通道；无线电通道从100~200千赫起，其最高频率至30,000兆赫时止(波长1厘米以上)。

远动装置信号的頻譜是在前三个頻段中，即亚音頻段、音頻段和超音頻段。但是为了在各种通道中傳送信号，可以使用各种頻段，其中包括无线电頻段。

在傳送远动装置的信号时，使用着和傳送电话电报信号相同的方法，共同的通信綫路，以及原理上相同的电路和结构。

第一章 通信线路和通道的特性

1-1. 通信线路

目前一般都利用双线的通信线路来传送信号。任何通信线路的电特性都决定于其单位长度(1公里)上的基本参数或一次参数。属于一次参数的有：导线的有效电阻 R (欧/公里)、线路的电感 L (亨/公里)、线路的电容 C (法/公里)和导线的绝缘电导 G (1/欧·公里)。

导线的电阻同其直径和材料有关。周围介质的温度也影响其数值，温度升高时导线的电阻增加。由于集肤效应的影响，当电流的频率增加时导线的有效电阻急剧地增加。在钢导线中，这种电阻的增加特别显著，以致限制着它们不能传

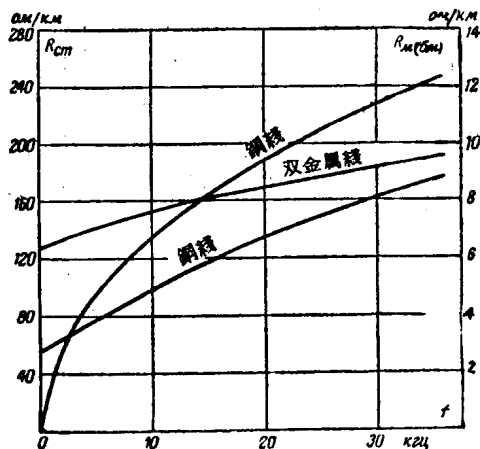


图 1-1 在20°C时铜线、双金属线及钢线电阻同频率的关系

送10~12千赫以上的交流电流。铜和双金属导线的电阻增加得很慢。导线有效电阻 R (欧/公里)随着电流频率 f (赫)变化的曲线如图1-1所示。

线路的电感主要决定于线路的几何尺寸——导线间的距离和导线的直径，而与导线的材料和交流频率关系不大。线路的电容同导线间的距离、导线的直径以及线路导线间的介质有关。

绝缘电导与绝缘的型式、通过导线的电流的频率及天气(对架空通信线路而言)有关。线路导线上的积冰或结霜也影响着绝缘电导的数值。

表 1-1 架空线路在频率 $f=800$ 赫时的一次参数

参 数 名 称	铜 线				铜 线				双金属线	
	$d=3$		$d=4$		$d=3$		$d=4$		$d=4$	
	$a=60$	$a=20$	$a=60$	$a=20$	$a=60$	$a=20$	$a=60$	$a=20$	$a=60$	$a=20$
R_0 , 欧/公里	39.10	39.10	22.0	22.0	5.04	5.04	2.84	2.84	6.44	6.44
R_{800} , 欧/公里	58.40	58.40	42.20	42.20	5.04	5.04	2.87	2.87	6.86	6.86
L_0 , 毫亨/公里	12.64	11.21	9.40	8.96	2.50	2.05	2.38	1.94	2.39	1.94
C_0 , 微法/公里	4870	5970	5110	6320	4870	5970	5110	6320	5110	6320

附注: 各种线路的绝缘电导取为 $G_0=0.05 \cdot 10^{-6}$ / 欧·公里;

d —导线的直径, 毫米;

a —导线间的距离, 厘米;

R_0 —直流电阻, 欧/公里;

R_{800} — $f=800$ 赫时的交流电阻, 欧/公里。

在表1-1和表1-2中列出了一些最常用的架空及电缆通信线路的一次参数。表中所列为在干燥天气、温度20°C时的直流和800赫交流的参数。

表 1-2 電纜綫路(心綫对)在直流时的一次参数

电 纜 型 号	扭 绳 絕 緣 电 纜 ТЗГ, ТЗБ				电 話 电 纜 ТГ, ТВ		局 內 电 纜 ТОО, ТОО		用 戶 电 纜 ПРВПМ	配 綫 电 纜 ТРК
心綫直徑 (毫米)	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	0.5	0.6	0.7	0.5	0.5
参 数	72.2	57.0	47.0	32.8	23.8	190.0	131.6	96.0	72.2	47.0
R_0 , 欧/公里						190.0			32.8	190.0
G_0 , 微法/公里						0.100			0.111	0.100
L_0 , 毫亨/公里						0.55~0.6			*	*
$R_{us} = \frac{1}{G_0}$ 千米欧·公里						2.0			0.1	

* 无数据。

除了考虑气象情况的影响及通过线路的电流的性质以外，可以认为，在线路结构、导线的材料和直径不变时，线路任何一公里上的一次参数是不变的。在全线上保持本身一次参数不变的线路称为均匀线路，以区别于不同线段具有不同一次参数的非均匀线路。当电流的频率

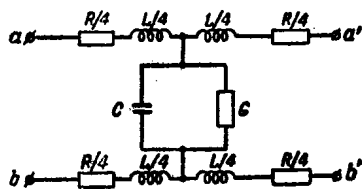


图 1-2 通信线路的等效电路

率为已定并不变时，均匀线段的 1 公里线路可以用如图 1-2 所示的等效电路来代替。从图中可以看出，线路的有效电阻 R 和电感 L 在电路中是串联着的，而电容 C 和绝缘电导 G 则是并联着的。参数沿着均匀线路均等而对称地分布着。为了使电路接近于这些条件，在等效电路中以四个电阻来表示双线路的 1 公里的电阻，每个电阻等于 $R/4$ 。与此相似地，也用四个电感来表示电感 L ，每个电感等于 $L/4$ 。

电磁能在线路上以波电压和波电流的形式传播。波电压与波电流的比值具有阻抗的因次，对于一定条件下的每条线路具有固定的数值—— Z_c ，称为波阻抗。当电流和电压是正弦波时：

$$Z_c = \frac{U_{\text{波电压}}}{I_{\text{波电流}}} \quad (1-1)$$

波阻抗的数值同线路的一次参数和电流的频率有关。当通过线路的电流的频率变化时，波阻抗的变化极大。

接在线路终端(输出端)的负载阻抗严重地影响着输入端测得的阻抗值。在线路始端测得的阻抗称为线路的输入阻抗。只有在负载阻抗 Z_n 等于波阻抗 Z_c 的情况下，输入阻抗才同

波阻抗相等。因此，只有在綫路的負載阻抗等于 Z_0 ，或在綫路长到負載对于輸入阻抗的影响很小时，才能直接測量波阻抗。根据綫路的一次参数計算波阻抗的方法見附录 I。

到达綫路終端的波电压和波电流，或入射波，只有在負載阻抗等于綫路的波阻抗的情况下，才将全部能量供給負載。如負載阻抗和綫路的波阻抗不相等，則将有部分能量由綫路的終端以电压和电流的反射波的形式回到始端。这种現象称为反射。在綫路所連接的負載阻抗不等于綫路的波阻抗的各种情况下，都会发生反射現象。

反射不仅发生在綫路的終端，还会发生在綫路的均匀性被破坏的所有截面处。这样，在通信架空綫路和电纜綫路的串联的連接点就会发生反射。沿着綫路由終端回到始端的反射波，在綫路中引起一系列的不良現象。最严重的是发送端电能的反射損失，在极端情况下可达 100%，例如在綫路的終端开路或短路产生全反射时就会这样。反射波的一部分电能消耗在綫路的有效电阻和絕緣电导上。

由于反射的影响，綫路終端的电流电压将不等于入射波值。例如，在綫路的終端开路时，綫路終端的电流等于零，而电压等于入射波电压的两倍。在綫路的終端短路时，电压等于零而电流加一倍。当电压、电流是正弦波时，反射波电压、电流由下式决定：

$$\left. \begin{aligned} U_{omp} &= p U_{nad} \\ I_{omp} &= p I_{nad} \end{aligned} \right\}, \quad (1-2)$$

$$\text{式中 } p = \left| \frac{Z_n - Z_0}{Z_n + Z_0} \right| \text{——反射系数}; \quad (1-3)$$

U_{omp} 及 I_{omp} ——反射波电压、电流；

U_{nad} 及 I_{nad} ——入射波电压、电流。

在連接設備或連接綫路時，可以利用匹配輸入阻抗的方法來減少反射的有害影響。用經過適當計算的綫路設備元件，或在通道的不匹配的元件之間連接以專門的匹配變壓器來進行匹配。

當電波沿綫路傳播時，電流和電壓值減小。由於在有效電阻 R 和感抗 ωL 上的電壓降，電壓隨着波的傳播而減小。頻率越高這電壓降越大，因為有效電阻和感抗都隨着頻率的升高而增加。綫路中的電流由於沿綫分布的電容 C 和絕緣電導 G 的分路作用而減小。頻率升高則分路電流增加，功率 P 也相應地減小。

因此， U 、 I 和 P 的數值在綫路的不同截面處是不等的。當綫路終端的負載匹配時，終端的電流 I_2 、電壓 U_2 和功率 P_2 總是分別小於綫路始端的電流 I_1 、電壓 U_1 和功率 P_1 。功率、

電流和電壓在電波傳播時的減小的現象，叫做綫路的衰耗。它同綫路的一次參數及電流的頻率有關。綫路的衰耗值以奈培(奈, N)計量，在綫路的波阻抗同負載阻抗相等的條件下由下式決定：

$$b = \ln \frac{U_1}{U_2}; b = \ln \frac{I_1}{I_2}; b = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}. \quad (1-4)$$

採用對數標度大大簡化了衰耗值的計算。

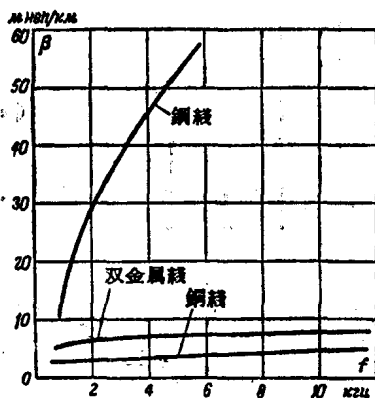


圖 1-3 鋼綫、銅綫和雙金屬綫路的衰耗曲綫

根据一次参数计算线路损耗的方法见附录 I。在附录表 II-1~II-4 中列出了一些架空和电缆通信线路的损耗值。图

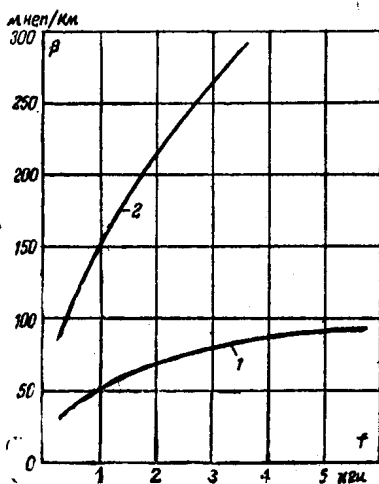


图 1-4 电话电缆的损耗曲线

1—扭绳绝缘、心线直径 $d=1.2$ 毫米的电缆；2—空气-纸绝缘、心线直径 $d=0.5$ 毫米的电缆

1-3 和图 1-4 表示电路损耗随电流频率增加的变化曲线。在 1 公里线路上引起的损耗叫做公里损耗，用字母 β 表示。

两终端站间的通信线路，常由具有不同一次参数、不同损耗的架空线路和电缆线路串联组成。在这种情况下，如在连接点装设匹配装置，则复杂通道的总损耗可以用通道各部分的损耗的算术和来计算。例如，当负载匹配时，

图 1-5 所示的复杂线路的总损耗等于：

$$b = b_{K1} + b_A + b_{K2} = 0.5 + 1.2 + 0.6 = 2.3 \text{ 奈。}$$

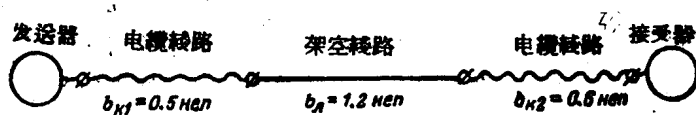


图 1-5 由架空及电缆线路组成的电路

波电流和波电压沿着线路传播时，不仅改变着数值，同时也改变着相位。在 1 公里线路上波电流和波电压的相位变

化叫做相移常数(α), 以弧度計量。 β 和 α 是复数量 γ ——傳播常数——的分量:

$$\gamma = \beta + j\alpha. \quad (1-5)$$

傳播常数 γ 及其分量 β 和 α 的計算方法見附录 I。

衰耗值不能决定綫路任意截面处的功率、电压和电流的絕对值。为了便于应用对数形式来記錄这些数值而引入电平的概念。在綫路任一截面处或綫路任一段上的电平, 用其功率、电压或电流对某些假定的原始值(零电平)的比值的对数来計算。在波阻抗为 600 欧的綫路中, 原始值取为: 电压 $U_0 = 0.775$ 伏, 电流 $I_0 = 1.29$ 毫安, 功率 $P_0 = 1$ 毫瓦。如已知綫路任一截面处的电压 U (伏)、电流 I (毫安)、功率 P (毫瓦), 則可按照下式求出电平:

$$p = \ln \frac{U}{0.775} \text{ 奈}; \quad p = \ln \frac{I}{1.29} \text{ 奈}; \quad p = \frac{1}{2} \ln P \text{ 奈}. \quad (1-6)$$

在一个計算中, 共同的測量单位——奈培——可以把綫路的不同截面处的衰耗和电平統一起来。例如, 綫路两截面間的电平差就等于两者間的衰耗。已知通道的一个截面处的电平(例如其始端的电平)和各段綫路的衰耗, 則所有其他截面处的电平也就容易求出。

只在計算具有純有效波阻抗 $Z_c = 600$ 欧的綫路时, 才取数值 0.775 伏 (1.29 毫安)。当測量或計算波阻抗不是 600 欧的綫路时, 应将按照 600 欧計算的电压值乘以 k , 而电流值除以 k :

$$k = \sqrt{\frac{Z_n}{600}}, \quad (1-7)$$

式中 Z_n ——不同于 600 欧的純有效波阻抗。

在附录 IV 的表中列出了 $Z_c = 600$ 欧时的电平以及相应的

U 、 I 和 P 值。

在表中同負电平相应的数值是：

$$U < 0.775 \text{ 伏}, I < 1.29 \text{ 毫安}, P < 1 \text{ 毫瓦}.$$

通信綫路按照其結構分为架空綫路和电綫綫路两种。

架空通信綫路的导綫挂在固定于电杆——一般为木杆——的絕緣子上。架空通信綫采用鋼綫、銅綫或双金属綫；双金属綫以鋼綫为基础，被复以厚度为 0.2 毫米以下的銅层。直径 4 毫米和 3 毫米的导綫用得最普遍。

根据悬挂的方法，导綫又分为悬挂在綫間距离 60 厘米的弯鈎上和悬挂在綫間距离 20 厘米的綫担上两种。后一种悬挂方法最好，因为随着綫間距离的减小，相邻通信綫路以及附近經過的强电綫路的影响也会降低。架空通信綫路的特点是对于不同天气的影响的防护能力很小。季节温度变化达 80°C 时，銅綫的有效电阻变化 1.46 倍，鋼綫变化 1.5 倍。輸入阻抗、衰耗及綫路的其他特性也同时变化。由于雨、积冰、导綫結霜等的影响，导綫間的絕緣电阻及电容也会变化。

在电綫綫路中，导綫由紙、塑料或棉紗編織物絕緣，編成导綫束，再用鉛或聚氯乙稀的外皮加以保护。根据心綫的数目、直径、心綫束排列的方法和絕緣型式的不同，通信电綫有好几种結構。

对于各种結構的电綫來說，心綫电阻随温度的变化要比架空綫路小得多，而天气情况——雨、导綫結霜等对綫路的参数則完全没有影响。通信电綫心綫的直径不大于 1.4 毫米，其电阻及衰耗比架空綫路大。應該注意到，在偶然性的破坏方面，电綫綫路的可靠性比架空綫路要高得多。最常用的通信电綫的基本数据見附录Ⅲ。

架空綫路状况的主要指标是不对称性，即組成綫路的导