

架空电信线路的介入电缆

苏联 B. O. 施瓦尔茨曼 著

李 旣 平 译

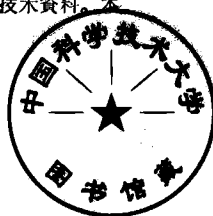


人 民 邮 电 出 版 社

В. О. Шварцман
Кабельные Вставки
в Воздушные Линии Связи
Связьиздат
Москва 1960

内 容 提 要

本书系统地讲解了长途电信架空线路中介入电缆（包括进局电缆）的设计、计算、附属设备以及安装等方面的技术资料。本书可供从事长途电信的工程技术人员参考。



架空电信线路的介入电缆

著 者： 苏联 В. О. 施瓦茨曼
译 者： 李 既 平
校 者： 李 大 章 金 兆 蔭
出版者： 人 民 邮 电 出 版 社
北京东四 6 条 13 号
(北京市书刊出版业营业许可证出字第 048 号)
印刷者： 北 京 市 印 刷 一 厂
发行者： 新 华 书 店

开本 787×1092 1/32 1963 年 7 月北京第一版
印张 2 24/32 页数 44 1963 年 7 月北京第一次印刷
印刷字数 63,000 字 印数 1—2,500 册

统一书号：15045·总1199—有98

定价：(10) 0.40 元

譯 者 序

随着我国社会主义建設事业蓬勃发展，我国长途电信事业也有了很大的发展。近几年来，在长途电信明綫綫路上已广泛装用了載波設備，其中不少是 12 路載波电话机。

广泛采用多路載波設備，特别是大量安装 12 路載波設備，对架空明綫回路的电气特性以及进入增音站和終端站的进局設備提出了严格的要求。因此，在我国，在进局綫路上安装的介入电纜已日愈增多。

此外，由于市政建設，架空通信綫路穿越河流，以及防止强电綫对架空明綫綫路的电磁影响等，也常常需要安装介入电纜。

为了保証明綫通信回路在接入介入电纜后，仍能具有良好的傳輸质量，在設計、施工、維護工作中，都应当严格遵循有关的技术規格和标准。

本书比較全面、系統地讲述了架空电信綫路介入电纜的技术問題。特譯出此书以供讀者參考。

限于譯者的水平，譯文如有不当之处，尙望讀者指正。

譯者

1963 年 5 月

目 录

譯者序

緒論	1
第一章 接有介入电纜时, 架空明綫綫路的电气特性	6
1.1 传输参数	3
1.2 回路間的相互干扰	12
1.3 架空通信綫路中所采用的介入电纜型式	14
1.4 电报回路中的介入电纜	24
第二章 介入电纜的型式和匹配	25
2.1 架空明綫回路和介入电纜回路的阻抗匹配方法	25
2.2 利用自耦变压器进行匹配的方法	31
2.3 利用加感的方法匹配介入电纜	34
第三章 介入电纜的附属設備	47
3.1 十二路載波有色金属回路增音站的进局电纜	47
3.2 鋼綫載波回路的进局电纜	55
3.3 采用介入电纜时, 防止通信設備遭受雷电和强电綫危险影响和干扰影响的措施	57
3.4 介入电纜回路的平衡	62
3.5 介入电纜附属设备的安装方法	67
附录 1. T3 型电纜回路的参数	79
附录 2. MK 型电纜回路的参数	82
附录 3. MKC 型电纜回路的参数	83
参考图书	85

緒 論

在架空明綫綫路中，需要接入介入電纜的原因，一般有下列几种：

1. 由于市政建設的要求，不准架設新的架空明綫綫路，或者需要拆除現有的架空明綫；

2. 当跨越河流、渠道、峽谷、小型湖泊以及其它自然障碍物时，架設架空明綫綫路不經濟或不可能；

3. 由于經濟上或技术上的原因，不能沿桥梁架設架空明綫；

4. 为了避免輸電綫在接近地段对通信綫产生过大的影响；

5. 在山埡和冰凌地区，需要敷設電纜代替架空明綫时；

6. 因穿越隧道，而不可能架設架空明綫时；

7. 因穿越公路和鐵路而需要敷設電纜时；

8. 当高频回路进站时，需要降低回路間的相互干扰时；

根据具体情况，介入電纜的长度可以从几十米到几公里。

如果在城市內敷設介入電纜，則電纜与架空明綫綫路的接合地点应位于市外或城市的边緣。为了保证電纜接續設備在洪水和流冰期間的安全，水底介入電纜的两端应位于最大洪水时河水淹沒不到的地带。

当介入電纜敷設在洪水期間能被水淹沒的低洼岸边时，則水底電纜出水后應該固定在岸边，然后与在整个被水淹沒的地段上敷設的地下電纜相接。

随着具体条件及技术維護上的需要不同，在介入電纜与架空明綫的接合地点，可以設置裝有分綫箱的電纜終端杆、電纜終端房或電纜巡护房。

在架空明綫綫路与地下介入電纜的接合处，一般是設置電纜終端杆。在電纜过河处附近，如能租到維護人員需用的住房，則設置電纜終端房。如果電纜过河处是人烟稀少的地区，通常是建一電纜巡护房，其中設有配綫架。維護人員可以住在此電纜巡护房內。

由于電纜回路与架空通信明綫回路的电气特性不同，因此，当架空通信綫路具有一段或数段介入電纜时，就变成不均匀回路。不均匀回路与均匀回路的电气特性不同，因此，当电能沿綫路傳輸时产生一些不良現象。

为了使架空通信明綫回路的电气特性，能滿足傳輸上的质量要求，必須对介入電纜的結構和电气特性提出一定的要求，并按規定的方法进行装設。

第一章 接有介入电缆时，架空明线 线路的电气特性

1.1 传输参数

表 1.1 中列举了几种电信线路的回路传输参数。由表 1.1 可以明显地看出，明线回路和电缆回路的传输参数是相差很大的。

架空和电缆通信线路的回路传输参数 表 1.1

线路型式		频率 (千赫)	波阻抗		衰减常数 毫奈/公里	相移常数 弧度/公里
			模数 (欧)	相角 ($^\circ$)		
架空线路	4.0毫米铜线 (线担回路)	0.8	564	$7^\circ 35'$	2.8	$118 \cdot 10^{-3}$
		150	545	0°	26.2	3.29
	4.0毫米铜线 (弯钩回路)	0.8	1570	$20^\circ 18'$	15.0	$38 \cdot 10^{-3}$
		25	865	10°	125.0	0.68
电缆线路	T3-0.9	0.8	590	43°	66	0.07
	MK-1.2	0.8	490	41°	43.5	0.05
	MKC-1.2	0.8	520	41°	40.5	0.05
	MKC-1.2	150	180	3°	240	4.1

当架空回路中接有介入电缆时，它就成为不均匀回路。因此，当在这个回路的始端接入振荡器时，即有电磁能以入射波的形式在第一段均匀回路上传播，之后又在其余各段均匀回路上传播。

由于各均匀回路段的波阻抗不相同，因而在这些段的接合点产生反射波，同时，这个反射波传播到其他接合点时，还会不断产生反射。因此，不论在线路终端接有什么样的负载，甚

至在終端負載與綫路匹配的情況下，在這種組合回路中都将产生許多入射波與反射波。

最后，当回路上建立起稳定过程时，組合回路始端的輸入阻抗将等于电压入射波与反射波之和与电流入射波与反射波之和之比，而与終端的負荷无关。象对均匀綫路一样，我們仍將开路阻抗与短路阻抗的几何平均值叫做不均匀回路的特性阻抗：

$$Z_c = \sqrt{Z_{\text{кк}} Z_{\text{кз}}}. \quad (1.1)$$

在一般情况下，不均匀回路的两端具有不同的特性阻抗。

由于在綫路上存在着反射波，因而組合回路的特性阻抗的頻率特性曲綫是波动形的。

最簡單的組合回路是終端接有介入電纜的架空綫路（見圖

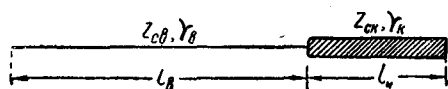


圖 1.1 在終端接有介入電纜的架空綫路

1.1)。这时，組合回路特性阻抗和原来的均匀回路（左侧为架空綫路，右侧为電纜綫路）波阻抗的差別，与回路接合点的反射系数成正比，并与回路的传播常数及均匀回路段的长度有关，

$$\left. \begin{aligned} \frac{Z_c - Z_{c\theta}}{2 Z_{c\theta}} &= p_\theta e^{-2\gamma_\theta l_\theta} \\ \frac{Z_c - Z_{c\kappa}}{2 Z_{c\kappa}} &= p_\kappa e^{-2\gamma_\kappa l_\kappa} \end{aligned} \right\}, \quad (1.2)$$

式中： $Z_{c\theta}$ 、 $Z_{c\kappa}$ ——架空綫路与介入電纜的波阻抗；

$p_\theta = -p_\kappa = \frac{Z_{c\kappa} - Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa} + Z_{c\theta}}$ ——回路接合点的反射系数；

γ_θ 、 γ_κ ——架空綫路与介入電纜回路的传播常数；

l_θ 、 l_κ ——架空与電纜回路的长度。

对 (1.2) 式进行不太复杂的演算，即可看出，組合回路特

性阻抗和原均匀回路波阻抗之间差别的频率特性曲线是波动状的，如图 1.2 所示。

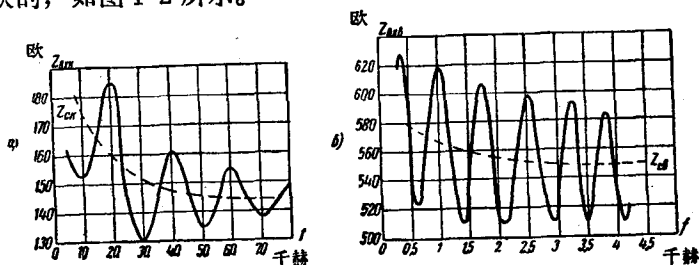


图 1.2 架空线路终端接有介入电缆时的频率特性曲线

a) 从电缆侧看时；b) 从架空线路侧看时

特性阻抗的波动性，使得无法选择双向电话增音机的平衡网络，因此，在具有介入电缆的长距离架空线路上进行音频通话时，就不能保证稳定的工作。

根据国际电报电话咨询委员会的建议，架空通信线路低频回路的均匀性用不均匀衰减值来表示。不均匀衰减值等于实际的特性阻抗 Z_c 与标称的特性阻抗 Z_{c0} 之和与差的比值的绝对值的对数，即：

$$b_H = \ln \left| \frac{Z_c + Z_{c0}}{Z_c - Z_{c0}} \right|. \quad (1.3)$$

当线路上只有一个中间增音机时，增音段的不均匀衰减应比增音段的回路衰减（不包括增音机）至少大 0.2 奈；当有两个中间增音机时，应至少大 0.4 奈；如果多于两个增音机，则超过的数值还应更大一些。

接有介入电缆时，架空线路的工作衰减由下式表示：

$$b_{pa0} = b + \ln \left| \frac{Z_1 + Z'_c}{2\sqrt{Z_1 Z'_c}} \right| + \ln \left| \frac{Z_2 + Z''_c}{2\sqrt{Z_2 Z''_c}} \right| + \ln \left| 1 - \frac{Z'_c - Z_1}{Z'_c + Z_1} \cdot \frac{Z''_c - Z_2}{Z''_c + Z_2} \cdot e^{-2g} \right|, \quad (1.4)$$

式中: b ——組合回路的固有衰減 (应当注意, 它并不等于各个回路段的衰減之和);

g ——組合回路的傳輸常數;

Z'_c, Z''_c ——組合回路的特性阻抗;

Z_1 及 Z_2 ——回路的終端負載。

如前所述, 当頻率改变时, Z'_c 和 Z''_c 值发生变动, 因此工作衰減的頻率特性也不是平滑的。这是由于在各均匀段的接合点因波阻抗不匹配而产生的。工作衰減的波动状頻率特性使得振幅失真增大。

对于具有一段介入電纜的回路, 其工作衰減如按 (1.4) 式进行計算是相当困难的; 如果介入電纜不止一段, 計算工作就更加繁雜。比較簡單的方法是按下面 П. К. 阿庫里生所建議的公式进行計算:

$$b_{pad} = \ln \left| \frac{Z_{ax} + Z_1}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} n_1 n_2 \cdots n_n \right|, \quad (1.5)$$

式中: Z_{ax} ——組合回路始端的輸入阻抗(計算方法見下);

Z_1 ——回路始端的負載;

Z_2 ——回路終端的負載。

n_i 按下式計算:

$$n_i = \frac{Z_{axi}}{Z_{ci}} \operatorname{sh} \gamma_i l_i + \operatorname{ch} \gamma_i l_i,$$

式中: Z_{axi}, Z_{ci} ——第 i 段的輸入阻抗和波阻抗;

γ_i ——第 i 段的傳播常數;

l_i ——第 i 段的長度;

i ——从 1 到 n 的整數。

各个段落的輸入阻抗 Z_{axi} 及整个組合回路的輸入阻抗可按下述方法进行計算: 長度为 l 、波阻抗为 Z_c 、傳播常數为

γ ，另一端終接負載為 Z_e 的均勻回路的始端的輸入阻抗，由下式決定：

$$Z_{e_n} = Z_c \operatorname{th}(\gamma l + \varepsilon), \quad (1.6)$$

式中：

$$\operatorname{th} \varepsilon = \frac{Z_e}{Z_c}.$$

根據公式 (1.6) 首先求出組合回路第 n 個（倒數第 1 段）均勻段的輸入阻抗 Z_{e_n} ，其次再按照該式求出第 $(n-1)$ （倒數第二段）段的輸入阻抗 $Z_{e_{n-1}}$ ，這時終端阻抗應採用 Z_{e_n} 。

然後依次地決定所有其他各個均勻段始端的輸入阻抗，直到第一段始端的輸入阻抗，即可求出整個組合回路的輸入阻抗。

回路另一端的輸入阻抗，按相反的順序進行計算。

已知組合回路的輸入阻抗時，按式 (1.5) 不難算出它的工作衰減。但是，這些計算總歸是很麻煩的。在音頻時，如果介入電纜長度不超過 2—3 公里，或者，在高頻時 (150 千赫)，如果介入電纜長度不超過幾十米，則當計算輸入阻抗時，可以用容量等於 $C \cdot l$ 的等效電容器來代替介入電纜；這裡 C 為 1 公里電纜回路的電容， l 為介入電纜的長度（公里）；這樣，計算就可以大大簡化。

上述計算組合回路工作衰減的方法，通常只應用於具有幾段介入電纜，而且彼此相距不太遠的情況。所謂“相距不太遠”是說，兩個相鄰介入電纜間的明綫回路衰減，在所研究的傳輸頻帶內不夠大，還不足以容許忽略架空綫路與介入電纜接合處所產生的反射波的相互影響。如果這個衰減為 1 奈或更大些的話，則上述的相互作用實際上可以忽略不計。例如，當介入電纜位於增音段的两端，而且段內再無其他介入電纜時，可能會

符合这种条件。

在这种情况下，工作衰减的计算可以显著地简化，而变为计算介入电缆的介入衰减。由于介入电缆通常接于架空线路同一回路的两端，所以，介入电缆的介入衰减可按照与工作衰减相同的公式计算，即：

$$b_i = b_k + 2 \ln \left| \frac{Z_{c\theta} + Z_{c\kappa}}{2\sqrt{Z_{c\theta}Z_{c\kappa}}} \right| + \ln \left| 1 - e^{-2\gamma_k l_k} \left(\frac{Z_{c\theta} - Z_{c\kappa}}{Z_{c\theta} + Z_{c\kappa}} \right)^2 \right|, \quad (1.7)$$

式中： b_k ——介入电缆回路的固有衰减；

γ_k ——介入电缆回路的传播常数。

公式(1.7)的第二项表示因电缆与架空线路特性阻抗不匹配而产生的衰减。依前述阻抗关系式，它可表示为：

$$b_{om} = 2 \ln \left| \frac{1 + \frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}}}{2\sqrt{\frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}}}} \right|.$$

$$\text{由于 } \frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}} = \left| \frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}} \right| e^{i\varphi},$$

所以 b_{om} 与 $\left| \frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}} \right|$ 和 φ 的关系可用图 1.3 中的曲线表示。

例如，当架挂在线担上的 4.0 毫米铜线回路中接有 MKG—1.2 型介入电缆时，在高频时 $\left| \frac{Z_{c\theta}}{Z_{c\kappa}} \right| = \frac{545}{180} = 3.0$ ， $\varphi = 3^\circ$ ，

因之， $b_{om} = 0.3$ 奈。

公式(1.7)的第三项表示由于反射波的相互作用而产生的衰减。不难看出，这种衰减只有在电缆回路的固有衰减比较小的情况下才有实际意义。例如，如果 $Z_{c\kappa}$ 和 $Z_{c\theta}$ 为纯电阻，反射系数

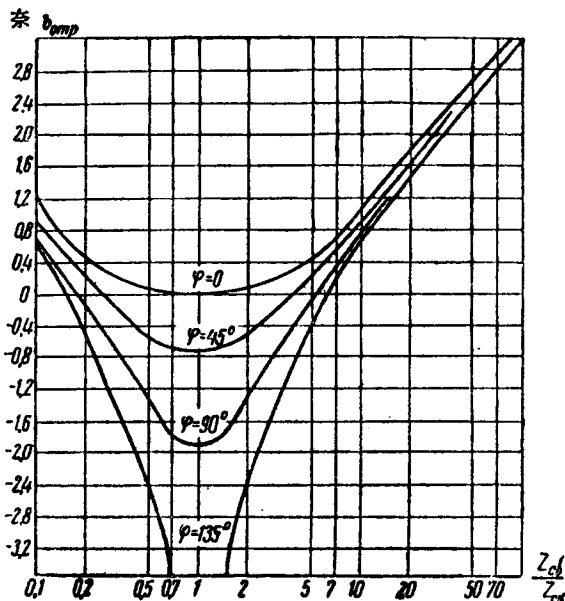


图 1.3 计算介入电缆的介入衰减用的曲线

$$p = \frac{Z_{c\theta} - Z_{ck}}{Z_{c\theta} + Z_{ck}} = 0.5,$$

则当 $b_k \geq 0.4$ 奈时，由于反射相互作用而产生的衰减不超过 0.1 奈。

为了确定由于反射相互影响而产生的衰减频率特性，可把该衰减值表达成下式：

$$b_{\theta 3} = \ln |1 - p^2 e^{-2b_k} (\cos 2a_k - j \sin 2a_k)|, \quad (1.8)$$

式中： a_k ——介入电缆回路的相移常数。

从公式 (1.8) 可知，由于反射相互影响所产生的衰减具有波动状的频率特性。如果反射系数 p 为纯实数，则当 $a_k =$

$\kappa \frac{\pi}{2}$, $\kappa=1, 3, 5$ 时, $b_{\sigma 3}$ 将有最大的正值。

考虑到 $\alpha_{\kappa} l_{\kappa} = \frac{2\pi f_{\kappa} l_{\kappa}}{v}$, 由于反射相互影响所产生的衰减的最大值应该在下列频率时出现:

$$f_{\kappa} = \frac{v}{4l_{\kappa}},$$

式中: v ——电磁能沿电缆的传播速度。

图 1·4 和图 1·5 中的曲线, 是按公式 (1·7) 的计算结果绘出的, 可供计算介入电缆的介入衰减时使用。图 1·4 的计算值是考虑当 4.0 毫米径有色金属导线架挂于线担上, 并接有 T3—1.4 毫米型介入电缆时的情况。图 1·5 是考虑有色金属线的线径为 3.0 毫米, 架挂在弯钩上, 介入电缆也是 T3—1.4 毫米型时的情况。这些曲线也可以用来概略地计算其他型式 (MK、MKC) 或其他心线线径 (1.2, 0.9) 的介入电缆的介入衰减。图中纵轴数值为公式 (1·7) 最后二项的和, 横轴数值为电流频

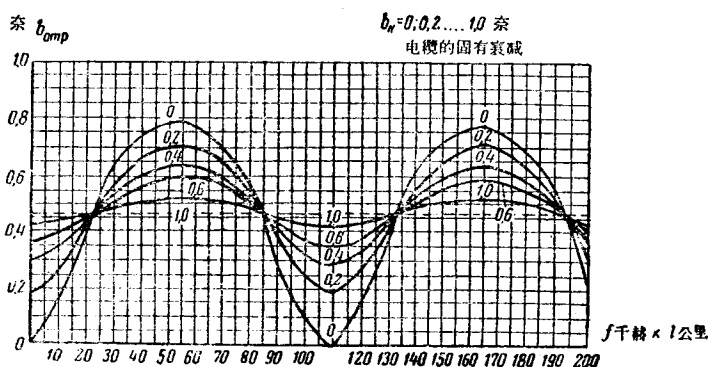


图 1·4 有色金属回路 ($a=20$ 厘米; $d=4$ 毫米) 中接有 T3—1.4 型介入电缆时的反射衰减

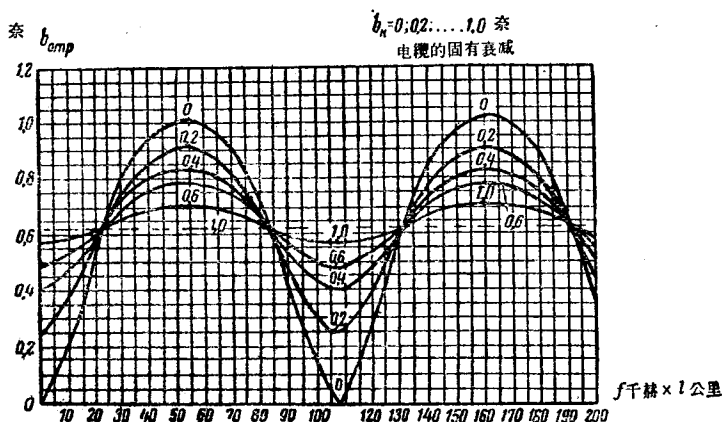


图 1.5 有色金属回路($a=60$ 厘米, $d=3$ 毫米)中接有 T3—1.4 型介入电缆时的反射衰减

率 f (千赫) 与介入电缆长度 L_k (公里) 的乘积。

图中的各曲线分别适用于介入电缆固有衰减值为 0、0.2、0.4、0.6 和 1.0 奈时的情况。

图 1.6 为各种不同长度介入电缆, 在 1—150 千赫频带内, 按照公式 (1.7) 算出来的介入衰减。计算时所考虑的情况是 4.0 毫米有色金属线, 架挂于电缆上, 共介入电缆为 T3—1.2 型电缆。从图中曲线可以看出, 和上面所说的一样, 当架空通信回路中接有介入电缆时, 它的衰减频率特性就成为波动状的。此外, 该图还可用来概略地计算介入电缆的介入衰减。

上述计算方法, 可用来计算输入阻抗, 也可用来计算介入电缆的工作衰减, 从而判断这些数值是否符合规定标准。当架空线路中不是只有一个而是有几个回路时, 在接入介入电缆后, 除了传输参数将要改变外, 还应考虑各回路间的相互干扰。

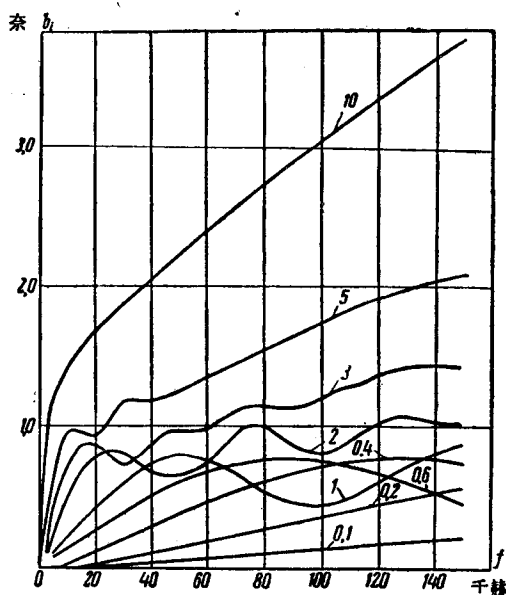


图 1-6 介入电缆的介入衰减的频率特性和电缆长度的关系

1.2 回路間的相互干扰

在架空通信线路与介入电缆接合处所产生的反射波引起回路間的附加干扰。当线路上有两个或更多个回路时，对这种附加干扰就不能不加以考虑。

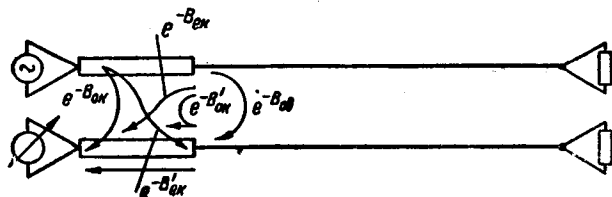


图 1-7 接有介入电缆时，回路間的近端干扰

現在讓我們來研究始端接有介入電纜的兩個回路。假定在兩回路的始端都接以數值等於電纜波阻抗的負載電阻，在終端都終接以等於架空綫路波阻抗的負載電阻。

在所研究的情況下，近端干擾等於由 $e^{-B_{0K}}$ (B_{0K} 為電纜回路的近端串音衰減) 所確定的介入電纜的近端干擾與由 $e^{-(B_{0g}+2b_K)}$ (B_{0g} 為架空綫路回路間的近端串音衰減， b_K 為介入電纜的衰減) 所確定的架空綫路的近端干擾之和，如圖 1.7 所示。但是，這種情況只在架空綫路的波阻抗與介入電纜的波阻抗相同時才成立。

否則，在近端干擾中還應增加下列分量：

1) 由介入電纜與架空綫路接合處的反射所引起，按照遠端串音規律所形成的干擾分量；這種干擾與 $\rho e^{-(B_{eK}+b_K)}$ 成正比，這裡 B_{eK} 為介入電纜回路間的遠端串音衰減， $\rho = \frac{Z_K - Z_g}{Z_K + Z_g}$ 為反射係數；

2) 由介入電纜回路間產生的遠端串音並在介入電纜與架空綫路接合處受到反射所形成的干擾分量。這種干擾與 $\rho e^{-(B'_{eK}+b_K)}$ 成正比。

3) 先在干擾回路中的電纜與架空綫路接合處發生反射，然後在介入電纜回路間按照近端串音途徑串到被干擾回路中，並又在同一接合處發生反射而形成的干擾分量。這種干擾與 $\rho^2 e^{-(B'_{0K}-2b_K)}$ 成正比。

在電纜與架空綫路接合處沒有反射的情況下，遠端干擾(圖 1.8) 由下列兩個分量組成，即：

- 1) 電纜綫路回路間的遠端干擾，與 $e^{-(B_{eK}+b_g)}$ 成正比；
- 2) 架空綫路回路間的遠端干擾與 $e^{-(B_{eg}+b_K)}$ 成正比。

當電纜與架空綫路接合處有反射時，則除上述遠端干擾分