

119463

基本宮藏

電話明綫的串音和交叉



5
151
人民邮电出版社

電話明線的串音和交叉

趙國南著

人民郵電出版社

內 容 提 要

本書敘述架空明綫電話回路間串音和交叉方面的問題 着重從理論上進行分析，由淺入深地加以闡述和導演，主要是介紹和學習蘇聯的先進科學技術，適用於電信專業高等及中等技術學校教學、參考用。書中並附有許多實用表格和公式 可供實際工作中參考使用 所以也適用於電信工程技術人員。

電 話 明 綫 的 串 音 和 交 叉

著 者:	趙	國	南
校閱者:	白	其	章
出版者:	人 民 郵 電 出 版 社 北京東四區 6 條胡同13號		
印刷者:	人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 廠 南京太平路戶部街13號		
發行者:	新	華	書 店

1957年4月南京第一版第二次印刷 2,001—3,010冊
850×1168 1/32 114頁 印張7 $\frac{4}{32}$ 印刷字數163千字 定價(11)1.50元

★北京市書刊出版業營業許可証出字第〇四八號★

統一書號: 15045·總215-有44

序 言

本書“電話明線的串音和交叉”可以認為是作者最近一年來在學習串音和交叉方面的一份學習報告。

在學習串音和交叉問題的過程中，深深感覺我們必須加緊學習、深入鑽研，更必須認真虛心地學習蘇聯先進電信科學。本書中所有分析電話迴路間串音影響及交叉效果的一些公式主要是從許多蘇聯資料中搜集的。這些公式相互之間具有着嚴謹的系統性。作者在導演並鑽研這些系統嚴謹的公式的過程中，深切體會蘇聯電信學術的先進。從資本主義國家出版的有關書刊上想獲得這樣有系統又完整的理論知識是辦不到的。

在編著本書的過程中，曾獲得交大電信工程系線路傳輸教研室周玉坤教授和許德紀教授等許多幫助，惠借書籍，並指導勉勵。特別需要說明的，在導演經由第三迴路間接耦合的遠端串音影響的一些公式時，曾得到許德紀教授的重大啓發，這裏一併謹致謝忱。

最後必須指出：只有在共產黨和人民政府的領導下我們才能有這樣好的教學環境和進行科學研究工作的條件，我們必須提高覺悟，加緊學習，努力工作，積極進行社會主義的建設，這樣才不辜負黨和政府對我們的關懷與期望。

讀者如發現本書中錯誤希望批評指教。

本書讀者對象為大學和專科電信學校學生及中、高級電信技術人員。

趙 國 南

一九五四年八月於上海交通大學

緒 論

電信是社會的神經系統，對國民經濟、對國家機構的正確工作，以及對加強國防力量、鞏固世界和平和滿足勞動人民在文化上及生活上的需要都具有很重大的意義。

在貫徹總路線為實現祖國社會主義工業化的大規模建設時期，祖國和人民對於電信的需要是更加迫切了，要求是更提高了。電信部門必須確保國家機密和可靠暢通的優良質量，更好地為人民服務和更有效地使用電信工具。

目前我國長途電信線路，串雜音現象還很嚴重。因此我們電信工作者，一方面應該加強機線維護工作，一方面更應該在實際工作中同時對於串音和交叉的理論深入鑽研，逐步提高。

回顧一下防止串雜音以及交叉的歷史是很有幫助的。在這一世紀的初期，電話迴路上串雜音影響的主要問題祇是要求減免平行的電力線的干擾作用。因此早年在這方面的努力主要是表現在迴路兩導線的連續扭絞以及在同一線担上相鄰線對的兩對導線不是同一樣的高度，以便減低迴路間的耦合影響；此外，並應用很簡單的交叉程式。

一九二〇年左右，增音機和載波多路制逐漸應用。由於增音機的應用，傳輸長度加長了，送入電信迴路的功率也加強了。又由於載波多路制的應用，通信頻率提高了，於是串音的影響也更嚴重。其他如廣播節目的傳送，電平很高，更加強了通信服務的困難。因此迴路的扭絞方法和線對架設高度不同的方法逐漸淘汰，而致力於交叉程式的設計。

一九三〇年以後，由於載波多路制已廣泛採用，同時頻率一再提高，於是迴路兩導線的距離縮小了，而兩鄰近迴路的中心線之間的距離逐漸加大，此外幻路的利用也漸漸放棄了，同時交叉是更密了，交叉點的位置偏差和導線的垂度和紮縛的規定也更嚴格了。

兩個交叉桿之間的距離在早年的交叉程式中是400公尺，在近年新式的交叉程式中只有40公尺或50公尺了。迴路兩個導線之間的距離在早年的交叉程式中約30公分，可是在近年某些新式的交叉程式中已縮短為15公分了。兩迴路中心線之間的距離在早年的交叉程式是60公分，而在某些新式的交叉程式中增大至70公分或75公分了。

解放以前，我國在帝國主義和封建主義壓迫下，各方面都是半殖民地的狀態，在電信線路的建築和交叉方面也是如此，幾乎完全抄襲資本主義國家的一套落後程式。有的是美式，有的是日式，簡單陳舊，雜亂無章。

解放以後，大規模的線路恢復工程必須立即進行。郵電部侯德原同志設計了八八式交叉程式。八八式交叉程式有兩套，一套在每個迴路上均可裝通三路載波電話；另一套只有二分之一的迴路上裝通三路載波電話，其餘可裝通單路載波電話、中頻載波電話、節目傳送及有增音機的長途話頻電路。

八八式交叉取消了幻路的利用，用在我國郵電部規定的標準八線担上。木担可多至六道，如有需要還可增加。

此外郵電部汪德成同志又設計了 T_1 式交叉程式，這是為了改進原有的 T 式交叉程式而設計的。因為原有的 T 式交叉錯誤很多， T_1 式交叉就是以最經濟的方法來改良原有 T 式交叉的線路而設計的。

T_1 式交叉可裝四道四線木担，可在六個迴路上裝通三路載波，其餘一個迴路為話頻迴路，另外一個迴路由兩條導線電報

線和巡房線所佔用。

八八式和 T₁ 式交叉程式的設計在當時還是採用三路載波頻率為基礎的。在線對利用方面，也只注意到可以利用一部分載波線對的實線中間進局供給區間短距離通信以節省短距離區間線對建設費用。沒有考慮到短距離通信應該用鋼線來解決；同時也沒有考慮到在有色金屬線迴路上可以裝置更多路的載波通信，例如十二路載波通信。這些有色金屬線迴路不應中間進局，以保證它們的傳輸質量。

最近兩三年來，我們逐漸看到一些蘇聯的電信線路交叉資料。蘇聯電信科學的發展，如同蘇聯其他先進科學方面的成就一樣，一日千里，這是和優越的社會主義制度分不開的，蘇聯先進資料對我們的幫助和啓示作用是極大的。

蘇聯電信線路桿面型式是多種多樣的，有八線担的、有十線担的、也有彎鉤的。長距離的和重要的電話迴路的導線是用有色金屬線的，可裝通十二路載波電話；至於短距離的電話迴路的導線是用鋼線的，在鋼線上也可裝通單路載波電話。這種種都說明了蘇聯電信線路的設計具有着高度的科學性和政治思想性，是在客觀物質條件及自然條件的前提下爲了盡可能爲人民服務和爲國家建設而創造的。不同桿面型式的電信線桿必須有不同的交叉程式，這些交叉程式是由蘇聯當代有線電信權威學者阿庫利奧教授領導設計的。本書附錄中載有蘇聯1947年交叉規範主要資料，以供研究。

前面曾經說過，在貫徹總路線爲實現祖國社會主義工業化的大規模建設時期，祖國和人民對於電信的需要是更加迫切了，要求是更提高了。因此建設以北京爲中心的全國電信網絡是我們電信工作者當前的重大政治任務，我們必須結合我國具體情況，認真虛心地學習蘇聯電信線路的先進經驗，相信不久的將來一定會制訂全套新的電信線路桿面型式和交叉程式。最近據聞郵電部設計局已決定採用蘇聯的七種標準桿面型式和交叉程式，作爲新設線路的標準型式，這是具有重大的意義的。

目 錄

序 言

緒 論

第一章 串音的基本概念 (1)

1.1 電話迴路中的串音和雜響..... (1)

1.2 迴路之間相互串音的原因..... (2)

1.3 近端串音和遠端串音..... (3)

1.4 近端串音衰減和遠端串音衰減..... (4)

1.5 串音衰減的測定..... (7)

1.6 雙線迴路減低串音的作用..... (12)

第二章 平行的未交叉迴路之間的串音 (15)

2.1 耦合迴路的微分方程式..... (15)

2.2 耦合電容的分析..... (18)

2.3 架空明線迴路間耦合電容的計算公式..... (23)

2.4 耦合電感的分析及計算公式..... (29)

2.5 耦合電容和耦合電感的測定..... (32)

2.6 未交叉平行迴路之間的近端串音和遠端串音..... (34)

2.7 近端電磁耦合係數和遠端電磁耦合係數..... (40)

2.8 無窮長平行的迴路之間的近端串音衰減 B_0 (42)

2.9 我國現行長途電話線路的 B_0 的計算..... (43)

2.10 近端串音衰減的分析..... (48)

第三章 平行的交叉了的迴路之間的串音 (54)

3.1 等距離交叉的分析..... (54)

3.2 基本交叉程式的來由..... (62)

3.3	基本交叉程式的交叉衰減	(64)
3.4	組合交叉程式的命名	(68)
3.5	組合交叉程式的交叉衰減	(74)
3.6	吸收現象的分析	(79)
第 四 章	經由第三迴路的間接串音	(85)
4.1	第三迴路引起間接串音的原因	(85)
4.2	間接串音的分類	(86)
4.3	未交叉平行迴路之間的間接耦合	(88)
4.4	分析間接耦合的節段綜合法	(92)
4.5	用節段綜合法求解平行未交叉迴路之間經由第三迴路的 雙近端耦合的遠端串音電流	(96)
4.6	平行的交叉了的迴路之間的間接耦合的各類情況	(99)
4.7	兩相對交叉程式中沒有相同的最大指數時的雙近端串 音	(103)
4.8	兩相對交叉程式中具有一個相同的最大指數時的雙近端 串音	(113)
4.9	兩相對交叉程式中具有兩個相同的最大指數 n 及 k ($n =$ $2k$) 時的雙近端串音	(121)
4.10	兩相對交叉程式中具有兩個 ($n \neq 2k$) 及更多個的相同 的最大指數時的雙近端串音	(127)
4.11	經由導線束的雙近端串音	(135)
4.12	經由所有交叉的第三迴路及導線束的間接耦合的遠端串 音衰減總值	(137)
第 五 章	架空線路的結構不規則對於串音和交叉效果的 影響	(139)
5.1	架空線路的結構不規則的分類	(139)
	單元段長度不一致對於交叉迴路之間的近端串音的影	

响.....	(141)
5.3 桿面型式不規則對於交叉迴路之間的近端串音的影響 ...	(146)
5.4 近端電磁耦合系數的偏差 ΔK_0 的計算.....	(149)
5.5 單元段長度不一致對於交叉迴路之間的遠端串音的影響 响	(158)
5.6 桿面型式的不規則對於交叉迴路之間的遠端串音的影響 {	(156)
5.7 綫路結構不規則對於經由第三迴路的間接串音的影響 ...	(158)
第 六 章 串音衰減的總值及串音衰減的定額	(164)
6.1 迴路整個長度內或每增音段內有着不同的桿面型式或不 同的交叉程式時的近端串音衰減總值.....	(164)
6.2 迴路終端負載不匹配對於遠端串音的影響.....	(167)
6.3 遠端串音衰減的總值.....	(171)
6.4 串音電流電平和信號電流電平的差額——迴路之間的互 衡度.....	(175)
6.5 迴路間互衡度的確定.....	(178)
6.6 近端串音衰減定額及遠端串音衰減定額的確定.....	(180)
6.7 話頻迴路的交叉設計舉例.....	(183)
6.8 交叉區接續點的交叉規則.....	(186)
第 七 章 幻路的串音和交叉	(188)
7.1 幻路交叉的分析.....	(188)
7.2 幻路交叉了以後串音衰減的計算.....	(190)
7.3 實路與幻路之間，以及兩幻路之間的耦合電容及耦合電 感的計算式.....	(199)

附 錄 蘇聯 1947 年交叉規範主要資料
參考資料

第一章

串音的基本概念

1.1 電話迴路中的串音和雜聲

電話迴路中所有的各種干擾，有着種種不同的來源。這些來源主要的是：相鄰的電報迴路或電話迴路的電磁感應，交流及直流的電車電力線及高壓輸配電線等強電流的感應，天電的干擾，內燃機的引燃裝置以及無線電波的影響等等；此外，導體中電子的熱騷效應以及導體的接觸電阻的變化等等也都是引起干擾的重要因素。其中導體聯接點的接觸不良是電話機中劈拍聲的主要原因，嚴重時足使通信中斷。

以上種種干擾基本上可分為雜聲和串音兩大類。雜聲中包括劈拍聲、沙沙聲、電報聲及哼聲等等。串音則可以分為可以聽懂的和不可能聽懂的兩種。

同一木桿上許多架空電話迴路之間的相互影響，有的表現為可以聽懂的串音，有的却表現為不可能聽懂的串音。可以聽懂的那些串音是由於干擾迴路對於被干擾迴路的串音電流的組成頻率沒有經過變換以及兩個迴路的通過頻帶相同所致。如果頻帶經過搬移或串音電流的組成頻率已經變換，例如由於載頻的倒置等等，那末相互影響所表現的串音就變為唧唧咕咕的聲音而不可能聽懂了。有時候，雖然沒有經過變頻或將頻帶搬移，但是由於許多相鄰的電話迴路對於被干擾迴路同時都有着串音電流，這樣也會使串音成為不可能聽懂的。

1.2 迴路之間相互串音的原因

上面已經說過，串音是一種干擾現象，就是當一個電話迴路上在通話時，在相鄰的、並行的迴路上可以聽到這個通話。

串音影響程度嚴重時，對方收聽者簡直不能辨別那一個迴路是真正的通話迴路。

產生從一個迴路到另一個迴路上去的串音的原因是由於迴路之間存在着電的耦合和磁的耦合。此外迴路之間還存在着漏導的耦合。可是如果線路維護良好，絕緣子的性能符合規格，實際上後一種的耦合作用是很微小的，所以通常可略而不計。

什麼叫做電的耦合？又什麼叫做磁的耦合？

爲了說明這兩種耦合的基本原理，首先可從電場和磁場的概念着手。

圖1.2—1中所表示的是兩根並行的導線的截面圖。假定導線I是干擾者，導線II是被干擾者。如果在某一瞬時，導線I上具有正電荷 $+Q$ ，那末在導線II上便感應着負電荷 $-Q'$ 。這兩個電荷在一般場合中，它們的絕對值是並不相等的。這是因爲在導線I的周

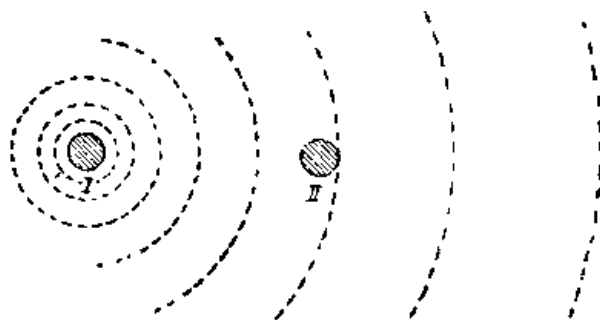


圖 1.2—1 電場和磁場

虛線代表電場的等位面 and 磁場的磁通

圈，不但有着導線Ⅱ；除了導線Ⅱ以外，可能還有着其他導體以及整個大地。

假定過了一些時間，導線Ⅰ上的電荷變為 $-Q$ ，那末在導線Ⅱ上便感應着電荷 $+Q'$ 。因此當導線Ⅰ上的電荷或正或負地作某種變化時，電場強度也隨之而作相同的變化，因此在導線Ⅱ上的電荷將或負或正地也有着相同的變化。如果將導線Ⅱ的兩端接地，那末在導線Ⅱ中便會有着這種變化的電流。這種現象便稱做電的影響，這兩個導線之間便稱做存在着電的耦合。

如果在導線Ⅰ中通有電流，那末在該導線的周圍便產生磁場。這個磁場的磁通貫穿了並包圍了導線Ⅱ。當導線Ⅰ中的電流作某種變化時，磁場中的磁通隨之而作相同的變化，於是在導線Ⅱ中便感應着電動勢。如果導線Ⅱ的兩端和大地聯結，便形成一個迴路，導線Ⅱ中便也有電流通過。這種現象便稱做磁的影響，這兩個導線之間便稱做存在着磁的耦合。

1.3 近端串音和遠端串音

以單線迴路的例子來說明電的耦合和磁的耦合怎樣造成了近端串音和遠端串音。

在圖1.3—1中，導線Ⅰ及導線Ⅱ之間存在的電的耦合作用可以電容器 C_{II} 表示。

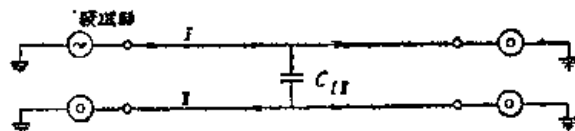


圖 1.3—1 迴路間電的耦合作用可以等效電容表示

當沿導線 I 中發送電話電流時（左端發送，右端接收），該電流的一部分將自導線 I 經由電容器 $C_{I\text{II}}$ 串到導線 II 中去。串入導線 II 中的這個電流便分為兩部分，一部分流向左端，一部分流向右端；因此平行迴路的左右兩端均可聽到串音。

通常在發送器的同一端所表現的串音叫做近端串音，而在對方的一端所表現的串音叫做遠端串音。

導線 I 及導線 II 之間存在的磁的耦合作用可以變量器的兩個繞組的互感 $M_{I\text{II}}$ 表示（圖 1.3—2）。因此在導線 II 中被感應的電流在導線 II 的整個長度內都是自右向左流去。

所以，通過近端的話機和遠端的話機中的串音電流包含着兩部分：電的耦合電流和磁的耦合電流。

圖 1.3—1 及圖 1.3—2 中所畫的在近端和遠端的兩個被感應電流的方向指出：電的耦合電流和磁的耦合電流在近端是相加，而在遠

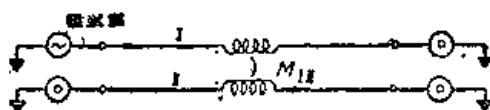


圖 1.3—2 迴路間磁的耦合作用可以等效互感表示

端是相減。換句話說，在近端是這兩個電流的和，而在遠端是這兩個電流的差。

1.4 近端串音衰減和遠端串音衰減

迴路之間相互串音影響的程度是用串音衰減來表示的。串音衰減的定義是和迴路上電磁波傳播時的衰減的定義相似的，因此串音衰減是干擾迴路發送端電流的電功率 P_1 和被干擾迴路中的串音電流的電功率 P_2 的比率的自然對數的半數，即：

$$B = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| \text{ 奈} \quad (1.4-1)$$

上式中 P_1 及 P_2 均指表觀功率。

在圖1.4—1中，假定迴路 I 是干擾者，迴路 II 是被干擾者。迴路 I 的波阻抗是 Z_{01} ，傳播常數是 γ_1 ($\gamma_1 = \beta_1 + j\alpha_1$)；迴路 II 的波阻抗是 Z_{02} ，傳播常數是 γ_2 ($\gamma_2 = \beta_2 + j\alpha_2$)。當兩迴路終端的負載均匹配時，於是：

近端的串音衰減 B_δ ：

$$B_\delta = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{1\delta}}{P_{2\delta}} \right|, \quad (1.4-2)$$

或

$$B_\delta = \ln \left| \frac{I_{1\delta}}{I_{2\delta}} \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \right| = \ln \left| \frac{I_{1\delta}}{I_{2\delta}} \right| + \ln \left| \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \right|, \quad (1.4-2a)$$

或

$$B_\delta = \ln \left| \frac{U_{1\delta}}{U_{2\delta}} \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \right| = \ln \left| \frac{U_{1\delta}}{U_{2\delta}} \right| + \ln \left| \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \right|, \quad (1.4-2b)$$

遠端的串音衰減 B_θ ：

$$B_\theta = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_{1\theta}}{P_{2\theta}} \right|, \quad (1.4-3)$$

或

$$B_\theta = \ln \left| \frac{I_{1\theta}}{I_{2\theta}} \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \right| = \ln \left| \frac{I_{1\theta}}{I_{2\theta}} \right| + \ln \left| \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \right|, \quad (1.4-3a)$$

或

$$B_\theta = \ln \left| \frac{U_{1\theta}}{U_{2\theta}} \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \right| = \ln \left| \frac{U_{1\theta}}{U_{2\theta}} \right| + \ln \left| \sqrt{\frac{Z_{02}}{Z_{01}}} \right|, \quad (1.4-3b)$$

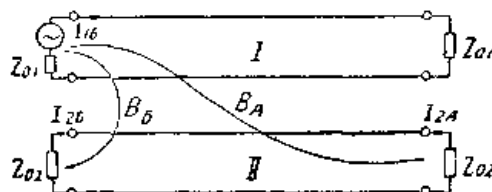


圖 1.4—1 近端串音衰減和遠端串音衰減

如果兩迴路的特性阻抗是相同的，那末：

近端串音衰減 B_δ ：

$$B_\delta = \ln \left| \frac{I_{1\delta}}{I_{2\delta}} \right| \text{ 奈,} \quad (1.4-4a)$$

或

$$B_\delta = \ln \left| \frac{U_{1\delta}}{U_{2\delta}} \right| \text{ 奈,} \quad (1.4-4b)$$

遠端串音衰減 B_δ ：

$$B_\delta = \ln \left| \frac{I_{1\delta}}{I_{2\delta}} \right| \text{ 奈,} \quad (1.4-5a)$$

或

$$B_\delta = \ln \left| \frac{U_{1\delta}}{U_{2\delta}} \right| \text{ 奈,} \quad (1.4-5b)$$

因此考慮兩個特性相同的迴路的串音衰減時，該串音衰減就直接是電流比率或電壓比率的自然對數。

另外又有一種表示串音影響程度的單位，叫做串音單位。串音單位是根據被干擾迴路的串音電流和干擾迴路發送端電流的直接比率導來的。由於這個比率通常十分微小，爲了便利起見，將這個比率再乘以1,000,000，所得結果便稱做串音單位。因此1000串音單位就相當於電流比率0.001。

當兩個迴路的特性阻抗相同時，電流比率 0.001 也就是 60 分貝，即 6.9 奈。如果當兩迴路的特性阻抗不相同時，那末就必須補加修正係數 $\ln \left| \sqrt{\frac{Z_{01}}{Z_{02}}} \right|$ 。所以用串音單位來表示串音影響的程度是不全面的，同時又是比較不便利的。

串音衰減的數值愈高，串音影響的程度愈是輕微；串音衰減的數值愈低，串音影響的程度愈是嚴重。串音當然是不歡迎的，所以我們希望獲得高值的串音衰減。可是當信號在線路上傳播時，我們却希望線路的衰減愈小愈好，這兒是不是存在着矛盾呢？

必須注意，信號在迴路上有效地傳播至接收端是通信的主要要求，因此是希望的。信號沿迴路上傳播時溜出迴路，串到別的迴路中去，當然是不希望的，因此也是必須避免的。希望的傳播當然要求衰減愈低愈好，不希望的、必須避免的傳播當然要求衰減愈高愈好，因此兩者是並不矛盾的，而是完全一致的。

1.5 串音衰減的測定

測定串音衰減，通常應用下列兩種方法：

- (1) 電平表測定法，
- (2) 衰減器比較法。

用電平表測定串音衰減時（圖 1.5-1），先量得干擾迴路發送端的電平 $V_{1\delta}$ ，再測定被干擾迴路近端的串音電流電平 $V_{2\delta}$ 及遠端的串音電流電平 $V_{2\theta}$ 。於是近端串音衰減等於：

$$B_{\delta} = V_{1\delta} - V_{2\delta} \quad (1.5-1)$$

又遠端串音衰減等於

$$B_{\theta} = V_{1\delta} - V_{2\theta} \quad (1.5-2)$$