



苏联通信技術講座

电话电路的特性和传输质量

Б. 布依諾夫著 · 陈新元 寧燕翼譯 · 人民邮电出版社出版



图 1-1-1 电话电路的特性与传输原理

电话电路的特性和传输原理

作者：[作者姓名] 出版社：[出版社名称]

8
4
7
1

25.10.1971
3

А. В. БУЙНОВ
Характеристики телефонных
Каналов и Качество передачи

СВЯЗЫЗДАТ

1959

電話电路的特性和傳輸質量

著者: 苏联 А. В. 布依諾夫
譯者: 陈新元 章燕賢
出版者: 人民邮电出版社

北京郵政6第13号

(北京市書刊出版業營業許可證出字第0188号)

印刷者: 北京市印刷一厂
發行者: 新华書

开本 787×1092 1/32

印张 1 20 32 頁數 56

加附字號 41,9007

1960 年 1 月北京第一版

1960 年 1 月北京第一次印刷

印數 1-2,500 册

統一書号: 15045·总 1127·有 241

定价: (10) 0.23 元

TN 9
9

前 言

這本書里討論的是如何確定電話電路的質量要求的問題。電話電路應當能保證高質量地傳送電話、傳真電報和音頻電報的信號。

確定電話電路應有的質量要求，應當從弄清楚聽覺和語言的特點開始。這本書里討論了許多包括考慮電路各部分影響在內的評定電話傳輸質量的方法；國際電話諮詢委員會建議的判斷方法；用清晰度法確定清晰度或可懂度的方法；用衰減當量法鑑定傳輸質量的方法以及許多其他的方法。

然後討論了通信電路的電氣特性以及這些特性對傳輸質量的影響。本書里討論得最詳細的是通話電路的電氣特性。這是因為電話通路是可以通用的：它不僅可以用來通電話，還可以用來傳真和通音頻電報。

第一章討論說明了鑑定語言傳送質量的基本方法。其中確定了能保證高質量傳送語言的電話電路的要求。在第二章和第三章里討論的是用來通傳真電報和音頻電報的電路的特性。並且確定了保證高質量傳送傳真和音頻電報信號的要求。最後一章是適于用來傳送語言、傳送傳真圖像和音頻電報信號的通用電路的特性。

本書是供電信工程技術人員閱讀的。

· 蘇聯郵電部技術司

緒 論

任何类型的电气通信，它的方框圖都包括發送設備、电路、接收設備三个部分（圖 1）。發送設備把信息（語言、电 报、圖像）轉變成电的信号。接收設備則进行相反的变換。电路的任务就是把信号由發送設備傳送到接收設備。

最簡單的电路就是一对导綫^①。在这种电路上，傳輸的信号就是由發送設備輸出端發出的信号。如果导綫回路的衰耗很大，电路中就需要增加增音設備。双向增音机可以在两个方向上增音。在增音时也可以利用一般單向的增音机來構成通信，但是这样在反方向上的傳輸就需要在另一对双綫电路上进行。由两个



圖 1

單向双綫电路組合而成的双向电路，叫做四綫电路。

在綫路距离很長时，上面所說的这种利用导綫的方法是不合算的，有时实际上是不可能的。因此通常把發出的信号（也就是發送設備輸出端發出的信号）改变为另一种更加适合于用导綫傳送信号。在接收端再把改变了的信号重新变回原来的信号，送入接收設備。

改变信号就有可能在一对导綫上組成許多个电路，同时傳送若干个通信。为了實現这种可能性，在長途电信技术中广泛地使用了信号頻率分开的方法。

为了要保證相当高的通信質量，电路应当要滿足一定的要求，在一般情况下，电路这个名詞应当理解為保證傳輸通信的各种技术

① 單綫电路是很少用的，因为它的干扰电平太大。

設備的總稱。

因此，組織通信的總任務可以分為兩個問題：確定對通信電路的要求；選擇能滿足這些要求的經濟上合算的設備。

在這本小冊子里，討論的是有關確定長途通信電話電路要求的問題。本書偏重於電話電路的原因，是由於長途電話電路是通用的電路：它不僅可以用來通電話，還可以用來傳送不動的圖像和傳送音頻電報。

在最終確定要求的時候，必須要考慮到，電路可能是直通的，也可能是組合的。要考慮這種情況，比較方便的是運用轉接段的概念。轉接段的意思可以從下面的例子來說明。

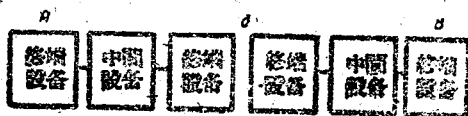


圖 2

長途電話電路的方框圖示於圖 2。一般是利用增音器（在音頻範圍內通信時）或包括變換設備和通話頻率電流放大設備的設備（在高频通信時）來作為終端設備。

$A-B$ 兩點之間的通信以及 $B-B$ 兩點之間的通信都是靠電路來實現的，它們的終端設備都只是設置在兩地之間保持着通信的兩點。這樣的電路叫做直通電路。

要在 $A-B$ 兩點之間通信，也可以組成直通電路。只要在 B 點把終端設備換成中間設備，把 AB 和 BB 兩條線路接通就可以了。還有其他的方法來組織 $A-B$ 兩點之間的通信。其中的一種就是轉接。要組織這樣的接續，必須要把 $A-B$ 電路上在 B 點的終端設備上的輸出端和 $B-B$ 電路終端設備的輸入端相連接。如果在轉接時使用高频電路，那末在轉接點 B （也就是實現轉接的地点）中，從

一条綫路上来的高频信号被終端設備轉換为低频信号。然后又被接通在电路里的另一个終端設備把它重新变成高频的，送入第二条綫路的輸入端①。

把高频信号轉变为低频然后又把低频轉变为高频的过程叫做低频轉接，而被接的干綫段就叫做轉接段。因此，在B点用低频轉接的方法在A-B兩点間实现通信时，干綫上可以分成两个轉接段：A-B和B-B。

① 电路羣的轉接通常是用高频轉接的，也就是沒有把信号轉变为原来信号的过程。

目 录

前言

緒論

第一章 話音傳輸电路的电特性	1
電話傳輸的質量	1
評定話音傳輸質量的主要方法	1
表征傳輸質量的因素	3
電話电路質量的評定	5
淨衰耗	8
有效傳輸頻帶	13
頻譜的選擇對電話傳輸質量的影響	13
傳輸頻帶中淨衰耗的不均勻度對傳輸質量的影響	19
相位失真	21
非線性失真	22
干擾	27
頻率差變	29
第二章 供傳真電報用的電話电路的特性	30
傳真電報的信號	30
电路的頻率特性	30
用電話电路的傳真電報通信	34
非線性失真	37
干擾	37
頻率變化	38
第三章 供音頻電報用的電話电路的特性	38
音頻電報的信號和电路的頻率特性	38
非線性失真	40
頻率差變	40

干扰	41
第四章 通用的电路	41
参考書刊	46

第一章 話音傳輸电路的电特性

電話傳輸的質量

如果電話机听筒的膜片能够把在对方電話机送話器前所作用的声音准确地重新放出来，那么这种電話通信就可以說是理想的了。要实现这样的電話通信，要求不失真地傳輸很寬的頻譜。但是，電話傳輸路徑中的設備所具有的頻率特性总是与理想的頻率特性不同，因此電話傳輸的話音經常或多或少地有些失真。失真的程度决定傳輸質量。

電話傳輸的主要質量指标如下：

話音清晰度，

响度，

逼真度，也就是話音的色調和特性的不失真傳輸程度，

杂音的电平和特性。

虽然經過很多实验和理論研究，但是要选定一个标准和方法在数量上来評定電話通信質量，这仍然是一个未解决的問題。近来出現了一些評定電話通信質量的方法，这些方法不是过于复杂就是不全面，只是根据影响傳輸質量的很多因素中的某一个因素来評定。

問題很难解决的原因，是電話傳輸路徑中最后要經過人的感觉器官，这就使得在具体評定傳輸質量时不能不依靠主觀的感觉了。

評定話音傳輸質量的主要方法

4分制 評定傳輸質量的一种最簡單而且应用最广泛的方法，是4分制（优、良、可、劣）。为了使这个方法接近客觀情况，在作評定結論时要根据很多听众对同一个傳輸所給的平均分数。

公議法 国际電話諮詢委员会根据英国代表提出的評定電話通信質量的方法，建議采用所謂的公議法（見參考資料[1]）^①。这个方法的實質如下。

把待評定的電話通路依次給 24 个用戶通話，每个用戶采用 5 分制来評定傳輸質量。5 分制的等級分为：

- 1) 优異的通路：能够完全自如地交談；
- 2) 良好的通路：交談时要注意，但不需要加大說話力气；
- 3) 中等質量的通路：可以交談，但是要加大說話力气；
- 4) 尚可的通路：可以交談，但用通常的声調交談很困难；
- 5) 惡劣的通路：交談接近不可能程度。

通信質量的总評根据参加試驗的人所給的分数的平均数来决定^②。

为了使試驗时的情况与实际通話情况最近似，对参加試驗的交談者規定一定的交談題目。把繪有 20 个左右几何圖形的卡片發給交談者一方（应答者）。每个圖形都取上名称。交談者另一方（發話者）也領一張卡片，卡片上有三个未簽註的圖形（这三个圖形是从应答者卡片上选出的）。試驗时，發話者应在規定的時間內（4 分鐘到 6 分鐘）說明自己卡片上的圖形，使应答者能在提出一些問題后在自己的卡片上找出相应的圖形，并通知發話者这些圖形的名称。

清晰度法 通常采用評定清晰度的方法来評定傳輸質量，这个方法叫做清晰度法。所謂清晰度就是正确接收話音成分的概率，而話音成分包括句子、字、音节、字母及基頻組^③等。与此相应，引用

① [1], [2]……[10]为參考資料的編号，參考資料一覽表附在本書后面。

② 如果在正常的談話条件下（室内杂音电平 50 分貝，XOTY 式頻譜），有 70% 的試驗者給出中等、良好或优異的分数，那末这个通路就适合运用。

③ 基頻組——主要的譜頻（泛音）組。

句子、字、音节、字母及基頻組的清晰度概念。

在任何一种語言中，上述各类清晰度間都存在一定的关系，并且在必要时可以根据各类清晰度相应的曲綫圖形把某一类清晰度换成任意的另一类清晰度。通常用来作为清晰度标准的是音节清晰度。如果正确接收的音节数佔發送的音节总数的70%，那么通信質量就可以認為是良好的。求清晰度时可以采用实验的方法，也可以按照傳轉系統的电特性采用分析法[2]。

重聞法 另一种評定話音清晰度的标准是易懂度。易懂度与清晰度不同，清晰度是当傳送語音表时正确接收的字的百分数，而易懂度是当通常談話时正确接收的字的百分数。話音的易懂度不仅与电话系統的特性有关，而且与談話內容、表达思想的方式、談話的技巧及室内杂音等有关。因此，决定易懂度时只能采用按照对大量談話进行观察的結果进行統計的方法。由于在这种情况下实际上不可能算出發送的字的总数，所以把易懂度按每100秒談話時間內發生重聞的次数来計量。

表征傳輸質量的因素

等效衰耗 在評定电话通信質量时，用戶首先注意到的是声音响度，所以响度級是評定傳輸質量的重要标准之一。这样，从通信的一方来評定傳輸質量，看起来是有效的，这是因为話机听筒所产生的声音的响度要受很多因素的影响，其中包括电话傳輸路徑的頻率特性。

現在用下面的例子来解釋一下。

假設作用于送話器上的是一个复杂的声音，包括諧頻 f_1 和 f_2 。如果連接音源和收听者的途徑中沒有頻率失真，那末这个声音的各个成分將保持原有的响度比例，在新产生的声音中匯合成总的响度。如果縮小电话通路的傳輸頻帶，那末有部分諧波就不能到达，

收听者听到的声音的响度就会因此而减小。

人們的感觉器官很难准确地判断絕對响度級，但是可以通过比較精确地判断声音响度的差別。因此，采用等效衰耗来評定傳輸質量，具体方法是比較待測試的和标准的傳輸路徑的响度。

国际電話諮詢委员会对等效衰耗下的定义是：等效衰耗是一个指标，表示基本的标准系統和待測試的系統在輸入同样功率的声音时，为了在它們的終端得到相同的聲音感觉，对标准系統所应作的調整。換句話說，傳輸質量的量度，用标准系統中为了使标准系統和待測試的系統有同样的响度傳輸所必須介入（或拆出）的衰耗量来表示。

一般規定電話系統的等效衰耗不应超过 4.4 奈培[1]。必須指出，可以按照電話系統的頻率特性来計算得出等效衰耗。

質量損失 經常选用清晰度（清晰度等效衰耗）来代替响度作为傳輸質量标准。这时，在标准系統和待測試的系統中分別加入衰耗，使它們的字母清晰度都降到80%^①，然后取這兩系統中所介入的衰耗的差作为傳輸質量的量值。

在求傳輸質量与某一已知量（例如干扰）之間的关系时，經常采用上述的方法。計量傳輸惡化（“質量損失”）时，先在有干扰的情况下在标准系統中加入衰耗，使字母清晰度降到80%，然后在沒有干扰的情况下在标准系統中加入衰耗，也使字母清晰度降到80%，算出在这兩種情况下所加入的衰耗的差，就可以得出傳輸惡化的量值。因此，“質量損失”表示当出現干扰时電話系統为了保持原有傳輸質量所必須减少的总衰耗。

傳輸逼真度損失 利用逼真度損失系数[3]也可以近似地評定傳輸質量。这种評定質量的方法的實質如下述。

① 字母清晰度80%是電話通信中所允許的最小值。根据參考資料[2]的数据，俄語的80%字母清晰度相当于49%的音节清晰度。

試驗証明，在平直的頻率特性的电声傳輸途徑中傳送話音時，人的耳朵只有在頻率上限 f_0 減少一定數值 Δf_0 後才會感到聲音質量惡化。 Δf_0 的數值隨 f_0 的數值而變化。在頻率範圍 30—12000 赫中， Δf_0 的量級數目（就是引起比較明顯的質量變化的 Δf_0 數目）等於 31。

如果傳輸頻帶有限，那末使人耳感到質量惡化的 Δf_n 的量級等於 29。當傳輸頻帶同時具有上限和下限時， Δf_n 的值不影響 Δf_0 的值，但 Δf_0 的值卻影響 Δf_n 的值。

在理想的系統中， Δf_0 與 Δf_n 的量級的和，大約在 33—36 範圍內。因此，有人把逼真度損失係數作了如下的定義：待研究的电声傳輸途徑所不允許的（除外的） Δf_n 與 f_0 量級數目對 36（理想系統的 Δf_n 與 Δf_0 的量級和）的比值，叫做逼真度損失係數。根據這樣的定義，在表 I 中舉例列出了不同通過頻帶的電路的逼真度損失係數。

表 I

通 過 頻 帶, 赫	話音逼真度損失, %
300—2400	51
300—2700	47
300—3500	38
150—2400	43
150—2700	39
150—3500	29
100—4500	19
100—8000	8

電話電路質量的評定

從上述的表征傳輸質量的各個因素中，可以明顯地看出話音清

清晰度是最重要的一个因素，这是因为归根到底正是清晰度这个因素决定用电话传输语音的可能性。因此，在决定电话设备是否能运用时，也只有这个因素具有决定性的意义。

在清晰度法和重间法这两种评定清晰度的方法中，重间法能更完全地表示出传输质量，因为重间法所评定的是实际语音的清晰度。但是，由于重间数目不能用计算方法得出，所以重间法不适合在设计机械时采用。另一方面，由于重间法很费事，为了得到精确度为 $\pm 1.5\%$ 的重间结果，必须观察统计 70—80 小时内的重间数目，所以在实际运用时受到限制。

清晰度法比重间法优越的一点，是清晰度能用计算方法（根据电话传输路径的电特性计算）得出。但是，按照无意义的音节表，用均匀的声音读出，也就是采用与正常谈话不同的方式，这样来决定清晰度降低了这个方法的值，而且这个方法也很费事，又需要受过专门训练的人员，所以在实际运用上也受到限制。

这两个方法都不完善，有时甚至会得出相互矛盾的结果。试验证明，最少的重间数相当于等效衰耗 $B=0.5$ 奈培，而最大的清晰度相当于等效衰耗 $B=2-3$ 奈培。

由专家按照测量清晰度的资料来评定传输质量，不可能时常与用户对同一传输所作的评定相同。如果有两个清晰度不同的电话系统，用户在选择时会看中响度级比较高的那个系统。当音节清晰度大于 70% 时，这种对电话系统传输质量上的判断差异几乎是不可避免的。

前面已说过，清晰度是语音传输质量的一个主要指标，但不是唯一的指标。近来，声音重新产生时的逼真度这个因素越来越具有意义了。因此，只根据清晰值来评定传输质量在目前是不容许的，这个方法对某一系统的优劣，可能得出完全不正确的结论。实际上，如果有两个系统都能保证频率不失真，一个系统的传输频带为

100到1950 赫，另一个系統的傳輸頻帶为 1950—10000 赫，那末从清晰度观点来看，这两个系統是等效的，但从話音重新产生的要求来看，这两个系統則完全不能相提并論。

通信电路的頻率特性的不均匀度如果达到 1.5 到 2 奈培，就会明显地改变声音的音色，但是如果接收端有足够的响度，这样的頻率特性几乎不影响清晰度值。

百分之几十的非綫性失真，通常使清晰度降低 2—3%。

利用等效衰耗来評定傳輸質量比清晰度法优越的地方是簡單。

由于可以用計算的方法求出等效衰耗值，所以在設計通信机械时可以采用等效衰耗法。等效衰耗具有相加特性，利用这种特性，可以对電話路徑的各段落分別規定相应的等效衰耗。这一点是其它評定傳輸質量的方法所不及的。等效衰耗法的严重缺点，是这种方法按照响度評定傳輸質量，完全沒有考虑話音清晰度，也沒有考虑声音的逼真度。甚至，在評定两个具有相同有效傳輸頻帶、但頻率特性（在傳輸頻帶內的特性）不同的系統时，根据等效衰耗值很难作出結論。例如，有两个受話器，第一个在低頻时的效率好，而在 800 赫以上时的效率减低；第二个在低頻时的效率稍稍差一些，而在中頻和高頻时的效率很好，但是当利用等效衰耗法来評定这两个受話器时，第一个受話器的等效衰耗小，因而会誤認第一个受話器比較好。等效衰耗法的另一个缺点是測量得出的等效衰耗值的精确度比較低。如果重复測量，各次測量結果可能相差 ± 0.3 奈培左右。对傳輸系統的發送部分和接收部分分別測量得出的等效衰耗的和，比对整个傳輸系統測量得出的等效衰耗可能相差 0.5 奈培。電話傳輸路徑的各段落的有效傳輸頻帶相差愈大，則等效衰耗的这种差別也愈大。要准确地測量長途通信电路的等效衰耗在实际上是不可能的。

利用按清晰度来測量等效衰耗的方法可以消除上列缺点的大部分，但是由于測量复杂，到現在还没有用这个方法來評定电路

質量。

利用求逼真度損失系數的方法來評定傳輸質量，看起來似乎很理想，但是這個方法沒有考慮到工作頻帶中的失真，甚至沒有考慮到所接受聲音的響度，所以實際上應用這個方法只能近似地比較不同工作頻帶的通路在其它條件相等的情況下的傳輸質量。

從上面的敘述可以看出，以上介紹的方法雖然很複雜，但是沒有一個方法能夠全面地表達電話傳輸路徑的傳輸質量。因此，在實際評定長途通信電路的質量的時候，採用根據測量有效傳輸頻帶中各個頻率的電平所得的特性來進行分析的方法。用這種方法來評定電路的質量是正確的，因為人的耳朵就是一個頻率分析器，所以很自然地根據人耳通過話音頻帶的各成分頻率的能力來評定電路質量。

淨 衰 耗

理想的電路 電話通信的傳輸響度與送話器的發送功率、受話器的效率以及連接送話器與受話器的線路的衰耗有關。這時起主要作用的是整個電話傳輸路徑的頻率特性。

長途電話電路中還包括一些其它設備。因此，對長途電路的衰耗值及衰耗頻率特性應該加以考慮，使它們不致影響傳輸質量。很明顯，理想的電路應該在整個傳輸頻帶內不引入衰耗。但是，在實際情況下，要得到 $b_{pa6} = 0$ 的電路是不可能的。下面將說明不得不大大提高工作衰耗的原因。

穩定度 在長途電話電信中，兩個方向的話音最好是用單向的電路傳輸。將兩個單向電路連接成一個二線電路的是差接系統 ΔT 。差接系統的不完善，會使一部分電流從一個單向電路的輸出端進入另一個單向電路的輸入端。這時組成的一個閉合電回路會引起自激。要避免自激和使電路工作穩定，必須使這閉合回路（回授回路）的衰耗大於增益。