

苏联邮电部技术处
通信技术讲座

同轴电缆上的 高频电话通信

苏联 A. A. 列申斯基著

1. 同軸電纜載波機的一般特性

利用同軸電纜載波機能夠進行大量長途通信（通過千百個電話通路進行）和在長距離傳輸電視節目。

這種載波機所組成的電話通路，能完全符合於現代長途電信通路的要求。通信距離可達一萬到一萬二千里。任何一個電話通路都可用來傳送調幅制音頻電報，調頻制電報，或傳真電報。兩個或三個電話通路聯合起來就能組成傳輸廣播節目的通路。

同軸電纜干綫的特點，是有大量無人管理的遠距離供電增音站。因為上千的電話同時在一個回路上傳輸，而且經過公共的增音機，所以在這種通信系統中，分攤到每個通路的設備體積、電子管的數量、銅和鉛的耗費量都是不大的。

同軸電纜載波終端機是以12路基本羣為基礎而組成的。12路基本羣是長途通信的標準羣，其工作頻譜是60—108千赫。載波終端機也包括有標準60路基本羣，它的工作頻譜是312—552千赫，是由五個12路基本羣組成的。標準60路基本羣同樣也可以組成對稱電纜的載波機（K—60式）。此外，同軸電纜的載波終端機可以全部的或大部分的用來組織無線電接力電路上的多路通信。

本書只論述關於同軸電纜上電話通信的問題。同軸電纜上電視節目傳輸的問題另有專門的講題¹⁾。

1) К.П. 耶格羅夫：電視信號在長途綫路上的傳輸。（蘇聯郵電出版社，1953年）

2. 同軸電纜的構造及其主要特性

為了在電話綫路上組織大量的電話通路或電視通路，就需要有很寬的頻帶。在同軸電纜上，寬頻帶信號能夠得到最有效的

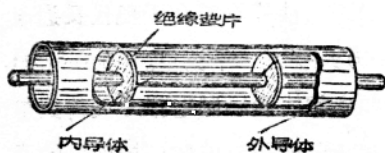


圖 1

的傳輸。最常用的同軸綫對的構造如圖 1 所示。同軸綫對的一根導體（外導體）是銅管，另一導體（內導體）是銅綫。利用

絕緣墊片把內導體固定在銅管內，并使兩個導體的中心互相重合。

由于同軸綫對的導體是這樣配置的，所以流經導體的通信信號電流幾乎不形成外部磁場。

這可由圖 2 所示的電磁場圖看出。若外導體接地，則環繞它的電場實際上是沒有。

由于外部電磁場很弱，各個同軸綫對間的串音衰耗很大，所以在同一電纜中，整個工作頻帶內的電信信號都可以進行双向傳輸。因此，同軸電纜上的通信制

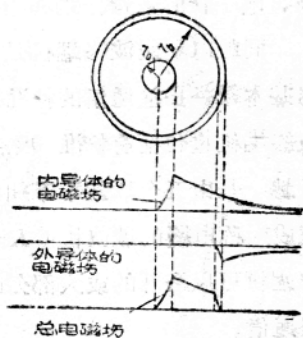


圖 2

式就可以是單電纜式的（向相反方向傳輸信號的綫對位于同一根電纜中）。

帶有几个同軸綫对的電纜，其構造是这样的，即在電纜中各个同軸綫对(管子)間可能發生電的直接耦合。但是，在集膚作用的影响下，各同軸綫对外導体間的耦合随頻率的增高而减少。因此，同軸綫对間的串音衰耗关系与对称綫对間的串音衰耗关系不同。为了在同

軸電纜的較低載波頻率范圍內增加一些串音衰耗，導体的外面一般纏着兩根相互重迭的鋼帶。在增音段內，同軸綫对間的远端串音衰耗的大概特性示于圖 3。

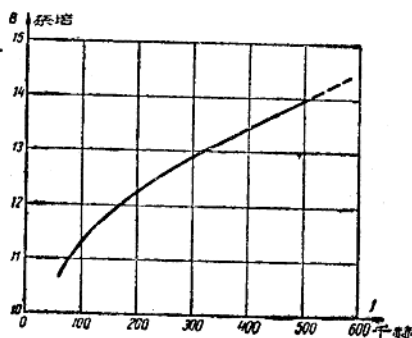


圖 3

通信綫路的近端串音衰

耗較大，这是由于在通信綫路近端，各段的干擾電流是几何相加，而在远端則是算朮相加。

同軸綫对每公里的衰耗可按下列公式計算¹⁾

$$\beta = \frac{4.18 \times 10^{-6} \sqrt{f \varepsilon} \left(\frac{r_o}{r_a} + 1 \right)}{12 r_o \ln \frac{r_o}{r_a}},$$

式中： r_o ——外導体的內半徑（圖 2），

r_a ——內導体的半徑。

根据 $\frac{r_o}{r_a}$ 比值， β 有一最小值。当

1) B. H. 庫列蕭夫：通信電纜的原理，71 頁。（苏联邮电出版社，1950 年）

$$\frac{r_0}{r_a} = 3.6$$

时, β 的值最小。

此时, 计算每公里衰耗的公式将有下列形式:

$$\beta = \frac{2.51 \times 10^{-3}}{d_0} \sqrt{f_0}$$

式中: d_0 ——外导体的内径。

标准同轴电缆的尺寸如下: 内导体的直径是 2.52 公厘, 外导体的内直径是 9.4 公厘。这种电缆每公里的衰耗可由下式计算:

$$\beta \approx 0.285 \sqrt{f} \text{ 奈培 / 公里,}$$

式中: f ——频率, 单位兆赫。

在一定的载波频带宽度下, 同轴电缆尺寸的选择首先是从经济上来考虑决定的。减小内外导体的直径, 可以降低电缆投资。但是当在减小直径时, 电缆中的衰耗将与外导体的直径成

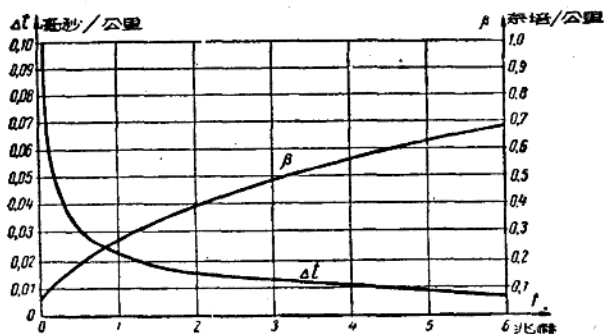


图 4

反比地增加，因而中間增音站的数目遂相应增加。

導体直徑是2.52和9.4公厘的标准同軸電纜，每公里衰耗的頻率特性曲綫示于圖4。圖4同时也指出了在同軸電纜上波羣傳播時延差 Δt 的特性曲綫，時延差的数值是对 $f = \infty$ 而言的。

标准同軸電纜特性阻抗的正常数值是75欧姆。

同軸綫对構造上的不均匀性，能够產生二次反射波，二次反射波和主波在方向上一致，在時間上有相移。这种因不均匀性而產生的同向波束在傳輸形象时将產生干擾。

可以大致的認為，由于在不均匀地点的反射而引起的電纜特性阻抗变动的均方根值，不应超过下式所决定的数值：

$$\frac{\sqrt{\Delta Z^2}}{Z_0} = \frac{\sqrt{1 + 4\alpha^2 r^2}}{\alpha \sqrt{r}} \sqrt{\frac{\beta}{L}} e^{-\frac{P_S}{2}},$$

式中： α ——同軸電纜的相移常数，

β ——同軸電纜的衰耗常数，

r ——電纜不均匀性的相关距离，相关距离是在電纜長度上，确定不均匀性間关系的一个数值。此值約在4到8公尺之間。

若有效信号和同向波束电平差的容許值(P_S)是4.6奈培，工作頻譜的上限是6兆赫，电视电路的長度 $L=1000$ 公里，則由上式可知電纜特性阻抗的容許偏差值应是：

$$\sqrt{\Delta Z^2} \leq 0.15 - 0.17 \text{ 欧姆。}$$

当同軸電纜的各个制造長度能正确組合时，上述数值可以达到。

兩種具有同軸綫對的長途電纜的心綫配置圖示于圖 5。一種電纜(圖 5a)有四個同軸綫對和一些業務通信及信號用的心綫。另一種是混合電纜，其中除同軸綫對和業務通信及信號用心綫外，還有通載波用的對稱四綫組。

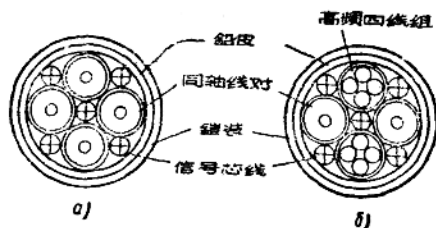


圖 5

3. 電話通路的主要質量指標

長途通信干綫上包含有許多串連的轉接段，這些轉接段可能是同軸電纜，也可能是未加感的對稱電纜。因此為使各種長途通信系統能正常地協同工作，這些系統的電話通路的質量指標必須是相同的。

目前，在電纜上運用的各種長途通信系統的電話通路，都採用下述主要標準：

1. 有效傳輸頻帶 300—3400 赫。
2. 淨衰耗 0.8 奈培。
3. 低頻傳輸轉接段的最大數量 5。
4. 在 2500 公里的段落上，在相對電平為 -0.8 奈培的點上，雜音表的電壓是 1.1 毫伏。

在相对电平为零之点，此电压值相当于 $10,000 \times 10^{-12}$ 瓦 = 10000 微微瓦，在大于 1 % 的观察时间内不应超过此数值。

按照國際電話諮詢委員會的規定，上述雜音标准适用于长度为 2500 公里的同軸電纜綫路，此綫路除終端站外，尚有 3 个 60 路羣轉接站，3 个 12 路羣轉接站和 2 个音頻轉接站，如圖 6 所示。

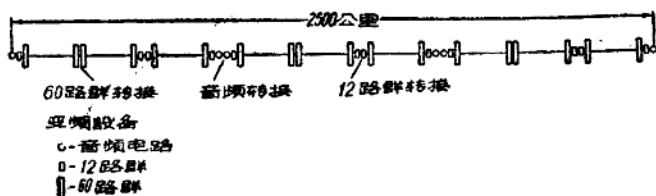


圖 6

5. 電路上傳輸信号的頻率偏差不应超过 2 赫。
6. 备用增益（对通路的振幅特性而言）較正常
測試电平不应小于 0.8 奈培。
7. 在同一个回路上，載波机任何通路間可懂
串話的防護度，不应小于 7.5 奈培。
8. 在一个通路上，發送对接收的防護度不应
小于 6 奈培。
9. 当有一个轉接段时，通路的穩定度不应小于
0.6 奈培。
10. 在一个轉接段上，淨衰耗穩定度的变化不
应超过 ± 0.15 奈培。
11. 在一个轉接段上，通路的非直綫性失真系数不
应大于 2 %。

4. 電話終端机的組成原理

A. 概 述

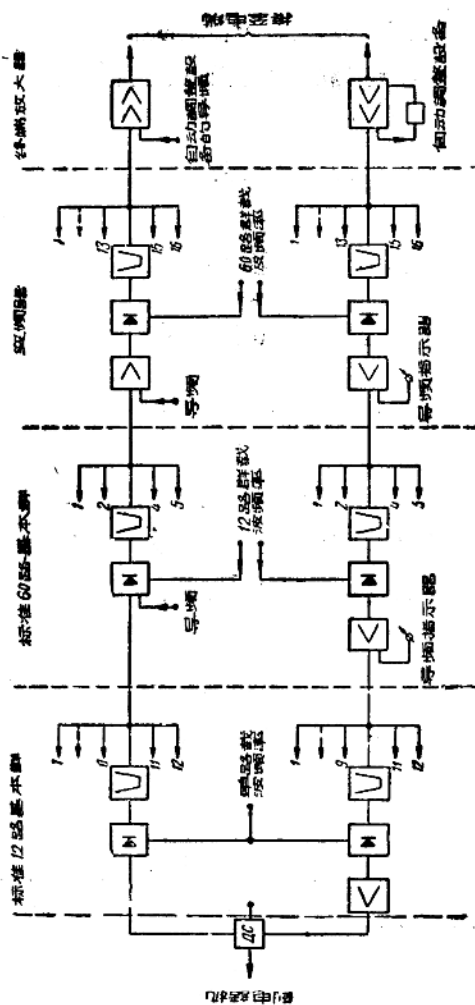
通路的質量指标，在相当大的程度上是决定于通信系統的多路電話終端机。因为長途通信系統的主要質量指标是一致的，所以这些系統的終端机的構造有許多是相同的。这無論对机器的維护和制造都有很大好处。在同軸電纜上，通信用的終端机由下列标准部件組成：

1. 标准12路基本羣。
2. 标准60路基本羣。
3. 供給多路終端机用的載波頻率的諧波發生器。

B. 标准12路基本羣

标准12路基本羣的方框簡圖示于圖7。在12路基本羣中，無論在發信电路或收信电路都有个别变頻器和晶体帶通滤波器。此外，在每一通路的接收部分都有帶淨衰耗調整器的低頻放大器。

在12路基本羣中，由十二个話机流來的說話电流，用下述方法進行調幅，即把說話电流搬移到从60到108千赫頻譜中的一段上。不同方向的傳輸是利用差动裝置(AC)來進行的。到达長途回路另一端后，60—108千赫頻率範圍內的电流，經過反調幅變成音頻电流，然后經過差动裝置流至電話机。



2

有四个轉接段（通过十个串联的晶体帶通滤波器）时，晶体帶通滤波器能保証从300到3400 赫的頻帶在通路內有效地傳輸。在傳輸时，晶体滤波器对其他通路的干擾电流的衰耗在5.7 奈培以上，不允許这些电流通过。

12路基本羣个别变頻的載波頻率按下式計算：

$$f_n = 60 + 4n \text{ 千赫},$$

式中： $n=1, 2, 3, \dots, 12^1)$ 。

B. 标准60路基本羣

由圖7 可知，在載波机中每五个12路基本羣組成一个60路基本羣。

五个頻率為60—108千赫的12路羣的电流，借助于羣变頻器变换为頻率从312到552千赫的电流。在每个羣变頻器的輸出端設有相应的帶通滤波器以分开需要的頻帶。頻率变换的电路圖示于圖8。

60路基本羣的羣变頻器的載波頻率按下式确定：

$$f_n = 420 + 48n \text{ 千赫},$$

式中： $n=0, 1, 2, 3, 4$ 。

这种60路基本羣是長途通信多路載波机的标准型式。它不僅用在对称電纜的60路通信系統中，而且也用在多路无綫电接力綫路的通信系統中。

1) 关于个别調幅（反調幅）的詳細講述請參見：“B—12型 12 路明綫載波電話系統”（人民郵電出版社，1957年）。

Г. 60路基本羣的變頻器

為了在綫路上傳輸，標準60路基本羣的輸出電流必須進行頻率交換，交換時要使它們在整個工作頻帶內，對羣放大器系統產生均勻的負荷。

在一個同軸綫對上組織960個電話通路時，羣的變頻如圖7所示。

如果打算在一個同軸綫對上，組織1000路以上的載波電話通信，則最好是再加入一個240—600路羣。

因為60路基本羣輸出端的電平很低，約為-6奈培左右，所以標準60路基本羣的輸出電流在這裡被放大，如圖7所示。為了沿綫路傳輸時，各大羣之間互不干擾，60路羣的電流在放大以後，如圖8所示，利用不同的載波頻率進行頻率交換，並採用相應的帶通濾波器消除變頻器輸出端的一個邊帶。在這些大羣中，其中一個60路標準羣（頻帶312—552千赫）不再經過頻變直接送入綫路。

60路變頻器的載波頻率可按下列公式確定：

$$f_n = 124(2n-1) \text{ 千赫,}$$

式中：n—5, 6, 7, ……18。

此外，還有一個60路羣（第一個大羣）利用612千赫作為載波頻率。

Д. 獲得載波頻率的原理

同軸電纜載波終端機需用的全部載波頻率電流，都是由一

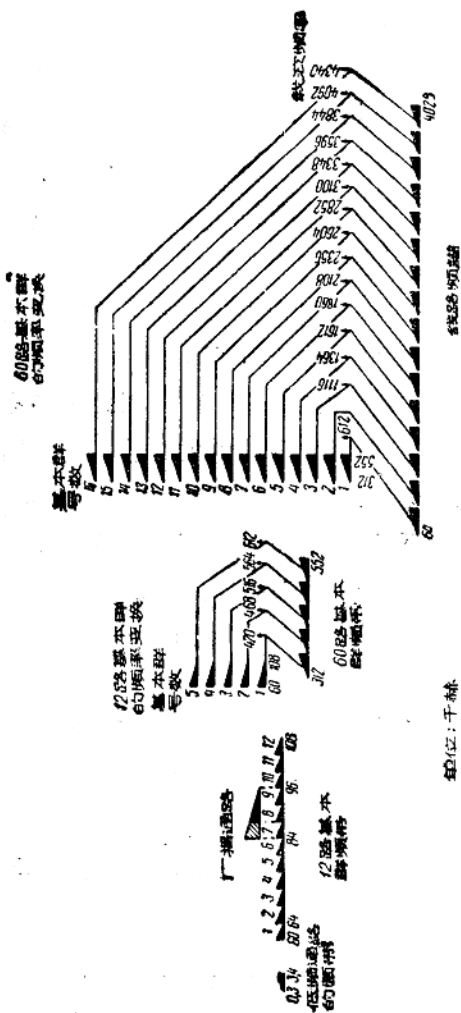


图 8

个高穩定度的振盪器（穩定度是 1×10^{-7} — 2×10^{-7} ）供給的。

單路变频器及12路羣变频器的載波頻率电流是由諧波發生器供給的，供給此諧波發生器的电流的頻率是4千赫。

60路羣变频器的載波頻率是由124千赫通过諧波發生器供給的，而124千赫也是基波4千赫的諧波。这样，終端站的全部載波頻率相互間都有直接联系。

第一个諧波發生器，由高度穩定的主控振盪器得到4千赫基本頻率的电流。主控振盪器一般制造成100千赫的頻率，这是由于在这个頻率时，振盪器有可能得到很高的穩定度。为了工作可靠起見，应用分頻系数不大的分頻器把主控振盪器的頻率变为4千赫。

为了使两个終端站的載波頻率同期（通信綫路上不傳輸載波頻率电流），兩站的主控振盪器要定期地進行同期，以及和标准頻率比較。必要时可用人工方法或自动方法調整主控振盪器的頻率。在后一种情况中，主控振盪器的穩定度可以低一些，約为 1×10^{-6} 。

5. 綫路羣放大器

同軸电纜載波机的質量指标在相当大的程度上决定于綫路放大器的質量。这些放大器同时放大很多电话通路的电流，而且在通信綫路上安裝得还很密（每隔7—10公里1个）。

上述特点对綫路放大器提出了下列的基本要求：

- 1) 非直綫性失真要很小，以避免通路間的相互干擾，

- 2) 能够高度准确而又穩定地均衡綫路的振幅頻率特性,
- 3) 每个放大器引入通路的雜音值要很小。

此外, 由于这种放大器装設在无人管理增音站 (HYH) 上, 并且靠同軸电纜作远距离供电, 所以它們应当是用电很省, 工作非常可靠, 电子管寿命又長。

有人管理增音站 (OYH), 也就是供給远距离供电电流的供电站, 它每隔100—200公里装設一个。

放大器采用强負回授, 約为4—5奈培, 以保証得到很小的非直綫性失真和穩定的頻率特性。为了能在三級放大器中实现强負回授后仍能得到几个奈培的增益, 在放大器中必須采用質量很高的电子管, 即真空管的互導与極間电容和的比值 (S/C) 很大。

同軸电纜載波机的綫路放大器是寬頻帶放大器, 在工作頻帶中, 其最高頻率和最低頻率的比值是相当大的。当有1000个左右的电话通路时, 工作頻率范围約为4兆赫; 如打算在这个干綫上傳輸高質量的电视时, 則頻帶寬度应为6—7兆赫。

因为綫路放大器是强負回授放大器, 所以它的增益特性曲綫在工作頻帶外不应急剧降低。为了使在回授电路中的相移不超过容許值, 以保証放大器穩定, 这一点是必要的。因此, 当工作頻帶是6—7兆赫时, 綫路放大器的放大范围应当是数十兆赫。

为了在頻率特性有高度穩定性和准确性的情况下保証这种寬頻帶的增益, 遂对放大器的元件和布綫提出了嚴格的要求。在設計安裝时, 很小的寄生电容都得考慮。甚至电子在电子管

中的飛越時間，以及電子在同授電路中沿導綫流動時，將縮短放大器穩定範圍的相角幾度都应当注意。

為了使綫路羣放大器不致產生很高的本身熱雜音，在放大器的輸入電路中使用熱雜音很小的電子管，而且將輸入變壓器設計到最大的電壓放大係數（該頻帶所能允許的）。較大的變壓係數可以獲得最大的信號雜音電平比。為此，在輸入電路中還接有專門的電抗元件，此元件同時亦可修正一部分綫路的振幅——頻率失真。

整個綫路增音段的振幅頻率失真，主要是在放大器的負同授電路中得到均衡。在這種情況下，綫路放大器的增益值大約相當於增音段的衰耗值。在放大器輸出端，一個電話通路頻帶上的熱雜音功率，將沿頻帶依照下式而變：

$$P_{\text{ш шх}} = P_{\text{ш вх}} e^{2S}。 \text{註一}$$

因此，在電話通路上，頻帶高頻部分的雜音電平將大大地超過頻帶低頻部分的雜音電平。為了在整個頻率範圍內均衡信號與雜音的比值和得到最長的增音段，在羣放大器系統中進行傳輸電平圖的傾斜調整。傾斜調整可使工作頻帶高頻部分的傳輸電平升高，低頻部分的傳輸電平降低。此時，也改變了放大器中工作頻帶內由非直綫性失真所產生的雜音的分布，這一點在確定通路輸出端的雜音值時應當予以注意。

當利用通路羣傳輸電視時，在中間放大器上，要提高對放大器輸入阻抗（在輸入端和輸出端的）與綫路輸入阻抗配合的要求。輸入阻抗不匹配時，和有不均勻性一樣，將產生二次反

註一 $P_{\text{ш шх}}$ 即 P 輸出雜音； $P_{\text{ш вх}}$ 即 P 輸入雜音——譯者。

射同向波束。

按照國際電話諮詢委員會的建議，輸入阻抗的匹配應滿足下列不等式：

$$8 \leq 2b + \ln \left| \frac{Z_{B1X} + Z_A}{Z_{B1X} - Z_A} \right| + \ln \left| \frac{Z_A + Z_{B2}}{Z_A - Z_{B2}} \right|,$$

式中：b—增音段的衰耗，單位奈培。

此公式只考慮到由於放大器和綫路輸入阻抗不匹配所形成的同向波束。在实际工作中，放大器和綫路的不匹配還將增加由於隣近放大器的電纜中的不均勻性而產生的同向波束。因此，放大器和綫路的匹配應比上述不等式規定的還要更好。

從在通路中得到最大的信號——雜音比的觀點來看，綫路放大器中增益調整的配置也是一個主要問題。

在綫路放大器中必須實現兩個主要的增益調整。

第一種調整是按照相應增音段的衰耗來調整。

第二種調整是按照在以前的增音段（一個或幾個）中，由

於電纜溫度變化而引起的衰耗變化來調整。

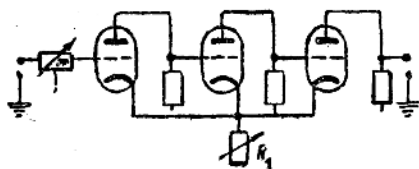


圖 9

圖 9 是用在長途通信多路系統中的標準三級綫路放大器概略電路圖。

綫路放大器對整個三級來講有高度的負回授。因此，這種放大器的增益調整實際上可以在兩個地方進行：在放大器輸入端或在公共負回授回路中。

應用可變衰耗器在放大器輸入端進行增益調整，和把調整