

苏联邮电部技术处通信技术講座

多路电话 脉冲调制法

苏联 А. И. 尤勤 著

ЛЕКЦИИ ПО ТЕХНИКЕ СВЯЗИ
А.И.ЮДИН
ИМПУЛЬСНЫЕ МЕТОДЫ
МОДУЛЯЦИИ
ПРИ МНОГОКРАТНОМ
ТЕЛЕФОНИРОВАНИИ
СВЯЗЬИЗДАТ 1956

內 容 提 要

本书扼要地敘述了关于時間划分的多路通信原理，討論了脈冲調制和調制的基本方法和形成脈冲的各种方法，并对各种脈冲調制方法作了比較。

本书可供長途電信实际工作的技術人員参考，又可作为高等学校電信系長途電信課程的补充教材。

多路電話脈冲調制法

著 者: 苏联 А. И. 尤 勤

譯 者: 刘 侃

校 者: 張 煦

出版者: 人 民 郵 電 出 版 社

北京市东四區 6 條胡同 13 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號)

印刷者: 人 民 郵 電 出 版 社 南 京 印 刷 厂

南京太平路戶部街 15 號

發行者: 新 華 書 店

開本 787×1092 1/32

1957年11月南京第一版

印張 1 $\frac{26}{32}$ 頁數 29

1957年11月南京第一次印刷

印刷字數 38,000 字

統一書號: 15045 · 總 682 · 有 124

印數 1—972 冊

定價 (11) 0.34 元



序

无綫电中繼通信綫的运用以及它和电纜干綫的联合使用，除了适合高品质的多路电话通信以外，还能傳送远距离的无綫电广播和电视节目。

这本讲义簡略地敘述关于時間划分通路的多路通信原理，討論脈冲調制反調制的基本方法和形成脈冲的方法，以及比較各种不同方式的脈冲調制。

这本讲义可供在多路电话方面工作的有綫电信专门人員参考，还可作为長途电信基础課程的补充教材，在这門課程中目前还没有敘述脈冲通信方法。

苏联邮电部技术处

導 言

初期的無線電中繼綫路是用米波通信的。人們掌握分米和厘米波段的通信后，使多路無線電通信問題的解决有新的可能性。

多路無線電通信綫路是一連串的無線電信收发站，彼此相隔直接視綫距离。組成这种綫路的每一站，从前面的发信站收得信号，并把它放大而发送到后面一站。

近代無線電中繼綫路是在5到20厘米的波段內工作。如在5厘米以下的波段內通信，則由于雨雪吸收無線電波，比較不稳定。利用在20厘米以上的电波組織多路通信也有困难，并且在这种情况下的天綫建筑将会很龐大。

就同时可利用的通路数目，通信距离，以及質量指标來說，無線電中繼通信綫路不比电綫綫路差。在交通困难的地区，电綫綫或架空明綫不可能敷設，只有無線電才能解决通信問題。無線電中繼綫不但应用于多路通信，而且对于电视节目的远程傳送，亦可以成功地应用。还須指出，建筑無線電中繼綫所需的時間比建筑同样长度的电綫綫为短，而且無線電綫路設備所耗費的有色金属少得多。

多路無線電中繼通信既可利用長途架空明綫和电綫通信設備所普遍采用的頻率复用原理，还可利用時間复用原理〔参考資料5、6、7〕。

由于在超短波傳播、超高頻振盪的产生和接收、脈冲技术以及多路有綫通信等各方面的研究获得了成功，才有可能实现

多路无綫电中繼通信。

苏联科学家对于无綫电中繼通信的发展有过很大的貢獻。还是在1922年, *Б. А. 符維竟斯基*就实现了第一次的超短波无綫电通信, 而且对于超短波傳播方面有許多重要成就。1930年, *А. Н. 舒金*提供了关于无綫电脉冲通信的原理。*С. Н. 高古林*在1935年的著作, 建議多路无綫电话通信采用脉冲幅度調制。对于无綫电中繼通信綫的发展有重大价值的还有: *Б. А. 柯捷里尼可夫*和*Б. Н. 西福罗夫*在各种通信系統抗扰性問題及超高频无綫电收信問題方面的論著; *Н. А. 吉維雅古夫*, *Б. Ф. 柯瓦林哥*, *М. С. 聶依孟*和許多其他科学家在超高频振盪产生和放大方面的論著; *А. А. 比斯篤里柯尔斯*和*Б. Б. 塔塔利諾夫*在定向天綫理論和技术发展方面的論著。

近代多路无綫电中繼綫有整套的复杂設備。它的主要部分是:

- 甲) 保証多路傳送的終端复用設備,
- 乙) 收信和发信設備,
- 丙) 天綫裝置,
- 丁) 电源設備,
- 戊) 輔助設備。

在无綫电中繼綫路应用設備的有关問題中, 这本讲义所討論的只是時間划分通路設備所用的脉冲調制基本方法。

序 导 言

脈冲通信方法的一般概

1. 电信通路的频率划分和时间划分..... (1)
2. 柯捷里尼可夫定理..... (4)
3. 电平分层法..... (11)
4. 理想濾波器中脈冲的通过..... (13)

脈冲的形成

5. 形成脈冲的基本方法..... (19)
6. 利用多諧振盪器形成脈冲..... (19)
7. 电阻式触发器..... (23)
8. 限幅器..... (24)
9. 微分和积分电路..... (28)

脈冲的調制和反調制

10. 脈冲調制的方式 (32)
11. 脈冲幅度的調制和反調制 (33)
12. 脈冲寬度的調制和反調制 (36)
13. 脈冲相位的調制和反調制 (39)
14. 脈冲編碼調制 (46)
15. 各种脈冲調制方式的比較 (51)

参考資料

脈冲通信方法的一般概念

1. 电信通路的頻率划分和時間划分

在多路电话和电报同时通信的情形，不論有綫或无綫，最常用的是各个通路按照它們的頻率划分的通信系統，即所謂通路頻率划分的通信系統。大家知道，在这种情形，每一路电话、电报或任何其他傳送（广播、傳真等等），利用各种不同載頻的調制或鍵控使頻率标度升高。很明显，沿有綫电路或从无綫电发信或收信設備天綫傳送到指定的通信对方的电波，其总頻帶寬度与电信通路的数目有直接关系。

在这种电路复用系統中，各种形式的通信信号是同时傳送的，但因为每个电信通路必須有一定的頻帶，所以在某个綫路上組成的通路数目如有增加，則这个綫路傳送的总頻譜就加寬。在有綫电路中，傳送的頻率愈高，能量損失(衰减)愈大。所以，在这种綫路內裝置的各个增音机的相隔距离必須縮短。至于无綫电通信，每一电信通路需要有一定的发送信号功率，所以路数增加时，无綫电发信机的总功率必須增加。

由于这些原因，在通路頻率划分的情形，多路电话电报的設備都是价值很高、体積很大的。所以，在发展頻率划分方法的同时，还繼續寻求其他更合理和更灵活的方法，使在同一綫路能实现更多的通信。

这些方法之一是按照時間划分的方法来划分通路（通路時間划分）。虽則这个方法远在波多电报机发明的时候(1874年)就已知道，但它的普遍应用只在无綫电技术，特別在其中的脈

冲技术积极发展之后才成为可能。近年来由于脉冲技术的迅速发展，得出了許多新的多路通信方法，这些方法都是基于通路時間划分的原理。

依据通路時間划分原理的新的多路系統，与依据通路頻率划分原理的多路系統比較，优点首先在于避免了在通路頻率划分中所不能不用的复杂的濾波器，就是說，多路設備中体积最大和价值最貴的部分可以不用。

脈冲多路通信制（用脈冲調变）的另一相当重要的优点，是任何类型的干扰都減弱很多，这是因为这种通信制可以保証有很大的信号干扰比；这个比值大于現在利用連續波調幅的頻率多路制所得的。

在依据通路時間划分原理的多路脈冲通信系統中，有綫綫路或无綫綫路依次供各个信号傳送。在这种情形，某一綫路或无綫电通路所可通过的**全部**頻带，在各一定時間段內完全为一个通路利用。我們記得，在通路頻率划分的情形，一个电话通路或任何其他通路，傳輸时只占有全系統所通过的总頻带的一部分。

現在举例来解釋多路脈冲制的作用原理。图1示单方向（从左向右傳送消息）的三路通信。分路器 P_1 和 P_2 的弧刷 III 是同步和同相旋轉，就是說，它們在每一时刻是处于相同的位

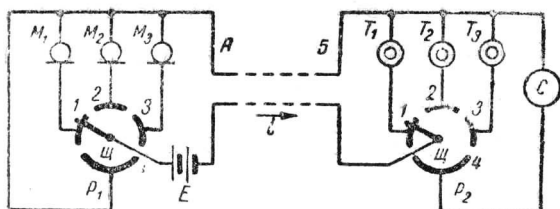


圖 1. 通路時間划分的多路电话

置。利用 B 站的同步設備 C 維持必要的同步和同相，它是由來自 A 站的特殊脈沖控制的。

从图 1 可以明了，分路器弧刷的每一轉將順序組成下列电路：

甲) 送話器 M_1 (接触片 1)，电池 E ，有綫 电路，受話器 T_1 ；

乙) 送話器 M_2 (接触片 2)，电池 E ，有綫 电路，受話器 T_2 ；

丙) 送話器 M_3 (接触片 3)，电池 E ，有綫 电路，受話器 T_3 ；

丁) 接触片 4，电池 E ，有綫 电路，同步設備 C 。

弧刷繼續旋轉，將再次組成上述序列的各个电路。

在沒有信号时，从 A 站发送直流脈沖至电路輸入端，脈沖的持續時間依賴于接触片 1、2、3、4 的长度和分路器 P_1 弧刷的旋轉速度。这时为了使收受站能够把同步脈沖和其他脈沖区别开来，同步脈沖的持續時間配得較长，在本例中，是将接触片 4 加长，使比接触片 1—3 长。

号碼为 1、2、3、4 的脈沖(图 2)，将分别在 M_1-T_1 、 M_2-T_2 、 M_3-T_3 、4— C 电路中通过。



圖 2. 分路器在沒有信号情况下旋轉时电路中的电流形狀

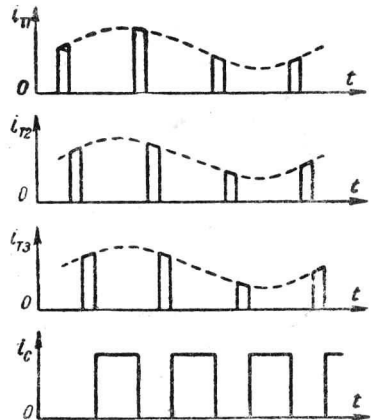


圖 3. 在受話器和同步設備中的电流

假設送話器膜片上的声压变化使送話器的电阻改变，則很明显，电流脈冲 1、2、3 的幅度也将改变。設三个送話器中每一个的电阻是按照图 3 虛綫所示的正弦規律改变。那末，在电流脈冲作用下，各个受話器的膜片将振动，又如脈冲数目足够多，則受話器将重現各送話器的正弦振盪。这样，不只是正弦振盪而且是任何其他类型的振盪都可以傳送。

多路脈冲通信的原理，从上述可以明了。現在只須确定，足以正确重現信号的脈冲数目究竟需多少。

2. 柯捷里尼可夫定理

大家知道，滿足奇利赫尔条件（有限数目的最高点和最低点，有限数目的断裂点和断裂前后的有限值）的任何函数 $F(t)$ 可以由傅利叶二重积分表达：

$$F(t) = \int_0^{\infty} \cos \omega t d\omega \cdot \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) \cos \omega t dt + \\ + \int_0^{\infty} \sin \omega t d\omega \cdot \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} F(t) \sin \omega t dt。$$

令

$$A(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) \cos \omega t dt;$$

$$B(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(t) \sin \omega t dt。$$

于是得

$$F(t) = \int_0^{\infty} [A(\omega) \cos \omega t + B(\omega) \sin \omega t] d\omega。 (1)$$

利用三角学中的一定关系①，可将式(1)写成下列形式：

$$F(t) = \int_0^{\infty} G(\omega) \sin[\omega t + \psi(\omega)] d\omega, \quad (2)$$

其中

$$G(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}, \quad (3)$$

$$\psi(\omega) = \arctg \frac{A(\omega)}{B(\omega)}. \quad (4)$$

从式(2)可以明确傅利叶二重积分的物理意义：任何非周期性过程（特别是任何脉冲的傳送）可以表达为无限大数目正弦振盪的总和。这些振盪的所有頻率完全填滿从零到无限大的頻譜，就是說，在非周期性过程的頻譜組成中，有零到无限大的頻率（一般情形）存在。

可是，对于任何通信的信号傳送，将发送頻率限制在一定的最高頻率 Ω_m 就已足够。

在这种情形，依据数学②，上列 $A(\omega)$ 和 $B(\omega)$ 可用傅利叶級数，即下列总和表达：

$$A(\omega) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k \cos \frac{k\pi\omega}{\Omega_m}; \quad (5)$$

$$B(\omega) = \sum_{k=0}^{\infty} b_k \sin \frac{k\pi\omega}{\Omega_m}, \quad (6)$$

① И.Н.勃朗希吉恩, К.А.西門嘉依夫著“数学手册”，國立技术書籍出版社(Гостехиздат)，1955年，第184頁。

② В.И.斯米尔諾夫著“高等数学教程”，第二卷，第408—410頁（1953年第12版）。

式中系数 a_k 和 b_k 由下式决定:

$$a_k = \frac{2}{\Omega_M} \int_0^{\Omega_M} A(\omega) \cos \frac{k\pi\omega}{\Omega_M} d\omega;$$

$$b_k = \frac{2}{\Omega_M} \int_0^{\Omega_M} B(\omega) \sin \frac{k\pi\omega}{\Omega_M} d\omega。$$

設使

$$\frac{a_k + b_k}{2} = d_k \text{ 和 } \frac{a_k - b_k}{2} = d_{-k},$$

則式(5)和式(6)右边的总和不取在 $k=0$ 到 $k=\infty$ 而是取在 $k=-\infty$ 到 $k=+\infty$ 的范围。于是这些公式就具有下列形式:

$$A(\omega) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \cos \frac{k\pi\omega}{\Omega_M}; \quad (7)$$

$$B(\omega) = \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \sin \frac{k\pi\omega}{\Omega_M}。 \quad (8)$$

将式(7)和式(8)代入信号公式(1), 得:

$$\begin{aligned} F(t) &= \int_0^{\Omega_M} \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \cos \frac{k\pi\omega}{\Omega_M} \cos \omega t d\omega + \\ &+ \int_0^{\Omega_M} \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \sin \frac{k\pi\omega}{\Omega_M} \sin \omega t d\omega = \\ &= \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \int_0^{\Omega_M} \cos \omega \left(t - \frac{k\pi}{\Omega_M} \right) d\omega = \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \frac{\sin \Omega_M \left(t - \frac{k\pi}{\Omega_M} \right)}{t - \frac{k\pi}{\Omega_M}} = \end{aligned}$$

$$= \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \frac{\sin 2\pi F_M \left(t - \frac{k}{2F_M} \right)}{t - \frac{k}{2F_M}} \quad (9)$$

这样，当发送频率的频谱有上限频率 F_M 时，通信信号可按式(9)计算，从中可以求得发送信号 $F(t)$ 所需要的脉冲持续时间。

依据柯捷里尼可夫定理，频谱限制为 O 到 F_M 的任何时间函数 $F(t)$ ，可以利用一个跟一个相隔时间 Δt 的离散数发送[参考资料9]：

$$\Delta t = \frac{1}{2F_M}。$$

实际上，如果改变式(9)中的 t 值，使 $t = \frac{n}{2F_M}$ ，其中 n 是整数，则得

$$\begin{aligned} F(t) &= \sum_{K=-\infty}^{\infty} d_K \frac{\sin 2\pi F_M \left(\frac{n}{2F_M} - \frac{k}{2F_M} \right)}{\frac{n}{2F_M} - \frac{k}{2F_M}} = \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_K 2F_M \frac{\sin \pi (n - k)}{n - k}。 \end{aligned} \quad (10)$$

在除 $k = n$ 外的所有 k 值时，这级数各项变成零，结果得：

$$F\left(\frac{n}{2F_M}\right) = 2\pi F_M d_K。 \quad (11)$$

这样，在收受端每经一时间 $\Delta t = \frac{1}{2F_M}$ 将挨次得到各个 d_K 值。按照式(11)，可以依据这些值以任何准确度将 $F(t)$

重現。

柯捷里尼可夫定理的物理意义是：任何通信信号可用各个

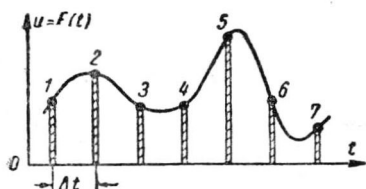


圖 4. 用一系列离散值傳送信号

离散的很短的脈冲傳送，它們的高度等于給定时刻的信号电压瞬时值（图 4），脈冲間的距离等于時間段 Δt 。

这种可能性最好用图 5 說明。假設需要傳送电位器滑

触子連續移动时的电压变化。这时不是将电位器上的电压变化連續傳送，而是利用一系列离散点傳送电位变化的規律。

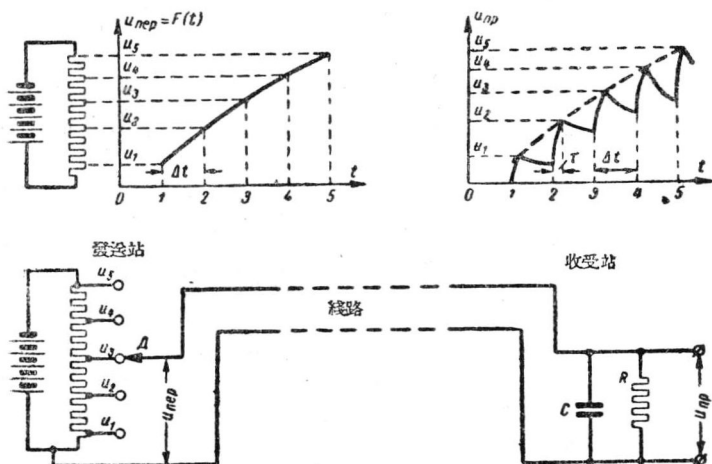


圖 5. 用一系列离散值傳送电位器滑触子上的电压变化

再假設发送站电位器滑触子 A 从某一接触点移到另一接触点所經過時間段为 Δt ，在每一接触点上停留的时间是 $\tau \ll \Delta t$ ，并且 $\tau = RC$ 。

这时，收受站的电容器 C 端电压 u_{np} 在時間 τ 內来得及升

到 u_1 值，而在 $(\Delta t - \tau)$ 時間內电容器放电降到小于 u_1 的某一电压，然后充电而升到电压 u_2 并再稍微放电；此后重新充电而升到电压 u_3 ，再稍微放电，依此类推。結果是收受站的电压曲线 u_{np} 将与曲线 u_{nep} 的形状不同，这是由于在 u_{nep} 上面迭加了振盪，它的周期比 u_{nep} 的周期小几倍。

在收受站連接一个低通濾波器，它的截止頻率等于 u_{nep} 的頻率，就可以濾去迭加在 u_{nep} 上面的振盪而得到形状和 u_{nep} 相同的曲线 u_{npo} 。

因此，如利用持續時間 τ 比发送信号的周期为小的脈冲，任何信号都可以傳送。

在脈冲傳送的情形，脈冲的重复周期的持續時間 Δt 不得超过 $\frac{1}{2F_m}$ ，其中 F_m 是信号发送頻譜的最高頻率，即

$$T_n \leq \frac{1}{2F_m} \text{ 或 } F_n \geq 2F_m,$$

式中 F_n 是脈冲的重复頻率。

一般說来，脈冲的重复頻率愈高，发送信号在收受設備中的重現愈有保証。所以，通常選擇的脈冲重复頻率 F_n 是比最高发送頻率高几倍。

現在来計算在实现脈冲電話通信时发送站和收受站(图1)分路器弧刷的旋轉速度。选取脈冲的重复頻率 F_n 等于发送信号最高頻率的三倍，即 $F_n = 3F_m$ 。電話傳送的最高頻率选作是3400赫。于是 $F_n = 3 \times 3.4 \text{ 千赫} = 10.2 \text{ 千赫}$ 。因之，发送站和收受站的分路器应有10200轉/秒的轉速。

很明显，在这样高的速度，分路器不可能是机械构造的，應該构造得实际上沒有慣性，就是說，必須是电的或电子射綫的构造。

用脈冲发送給定信号时，在各个脈冲之間存在間隙，这間隙就可用来在同一綫路发送其他信号脈冲。

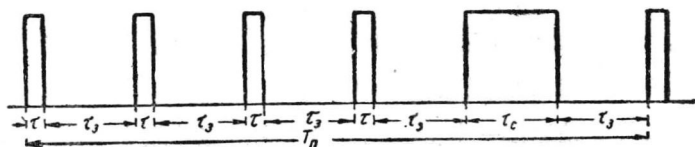


圖 6. 同时傳送几个信号的脈冲序列

从图 6 可見，脈冲的重复周期 T_n 包含 N 个脈冲（持續時間各为 τ ），一个同步脈冲（持續時間为 τ_c ），以及 $N+1$ 个空隙（持續時間各为 τ_3 ）。所以

$$T_n = N\tau + \tau_c + (N+1)\tau_3,$$

从而

$$\tau = \frac{T_n - \tau_c - (N+1)\tau_3}{N}. \quad (12)$$

这样，脈冲的持續時間依赖于同时通信数 N 、脈冲之間空隙時間 τ_3 和同步脈冲的持續時間 τ_c 。

現在来計算十二路脈冲电话制（ $N=12$ ）的脈冲持續時間。

通常采取 $\tau_c = \tau_3 = 8\tau$ ，于是

$$T_n = \tau(16 + 9N),$$

从而

$$\tau = \frac{T_n}{9N+16} = \frac{1}{F_n(9N+16)}. \quad (13)$$

因为在电话傳送时 $F_n = 10$ 千赫，所以

$$\tau = \frac{1}{10^4(9 \times 12 + 16)} \approx 0.8 \text{ 微秒}$$

如下面所示（本章第四节），低通滤波器的最佳通过頻带

寬度等于

$$\Delta F_{onm} = \frac{0.685}{\tau}。$$

从而可知，发送脉冲的持續時間如为 0.8 微秒，則需要的最佳頻帶寬度是：

$$\Delta F_{onm} = \frac{0.685}{0.8 \times 10^{-6}} = 856 \times 10^3 \text{ 赫}。$$

在这样的頻帶，頻率划分法可以实施 $856 : 4 = 214$ 路通話（大家知道，每一電話通路需要 4 千赫）。可見，在平衡电路的導線上采用脉冲通信法在經濟上是不合算的。倘如電話通路的数目不关重要，則通路時間划分法也可应用于有綫电路。

在无綫电通信以及在使用高频同軸電纜或波导的情形，脉冲通信法有一定价值。

脉冲傳送法特別适合于分米和厘米波段（頻率从 300 到 30,000 兆赫），在这波段內比較容易取得頻帶約为 5—10 兆赫的寬帶通路。

3. 电平分层法

在用一系列离散值发送信号的最簡單情形，决定离散值数目的是在時間上彼此隔开 $\Delta t = \frac{1}{2F_m}$ 的瞬时值（其中 F_m 是发送頻譜的最高頻率）。从图 4 可見，原始信号是由相隔時間段 Δt 的一个跟一个的瞬时值來傳送。

那些經常存在于任何电信通路中的干扰，能使按一定时刻发送的信号瞬时值失真，因此收受端将得到另一种信号。在大多数情形，干扰电压小于信号电压（这里不討論被干扰遮盖的收信），所以收信时得到的信号，它的細微部分是失真的。如果預先放棄傳送这信号的細微部分，干扰作用就可以除去。