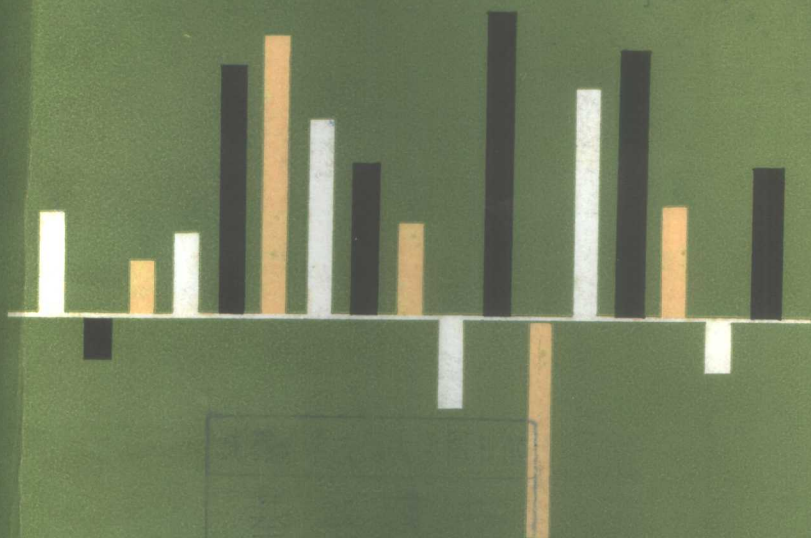


电信技术普及丛书

652138

5007

3116·2



频码调制通信

(修订本)

冯丙昌等 编著 · 人民邮电出版社出版

电信技术普及丛书

脉 码 调 制 通 信

(修 订 本)

冯丙昌等 编著

人民邮电出版社

内 容 提 要

本书以通俗易懂的方式介绍脉码通信的基本知识。首先讲述脉码调制通信的工作原理，然后以30/32路脉码设备为例，扼要地介绍了脉码调制端机的组成、脉码调制通信的标志信号变换系统和传输系统，最后介绍了脉码调制通信的发展和应用。可供从事通信工作的技术人员、管理干部、工人阅读，也可供有关院校的师生参考。

脉 码 调 制 通 信

(修 订 本)

冯丙昌等 编著

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

开本：787×1092 1/32 1982年6月 第 二 版

印张：7·8/32 页数：116 1982年6月河北第二次印刷

字数：164千字 插页：1 印数：22,001—26,600 册

统一书号：15045·总2135—有551

定价：0.63 元

出版者的话

为了普及电信技术知识，特别是电信新技术知识，为我国的通信现代化服务，我们组织编写了一套“电信技术普及丛书”陆续出版。这套丛书的主要读者对象是具有中学文化水平、有一些电信基本知识的工人、管理干部和初级技术人员。在编写中，力求做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂；使读者读过一书后，能对某项技术的基本原理和主要情况有一个概括的了解，作为进一步学习的入门向导。我们殷切希望广大读者对这套丛书提出意见和建议，帮助我们做好这一工作。

修 订 版 前 言

脉码调制通信一书自出版以来，得到了广大读者的热情支持和鼓励，在此表示衷心的感谢。根据目前通信事业的不断发展以及广大读者提出的不少宝贵意见，这次再版时对原书进行了修改：加强时序概念、增加了主要特性指标和新的发展；删去了24路的内容和已不符合标准的内容；对各章节内容的安排也进行了适当的调整。由于我们水平有限，书中还会存在一些缺点和错误，望广大读者提出意见。参加本书修改工作的是原编写组的全体同志，第一、第六章由冯丙昌同志编写，第二章由陈继努同志编写，第三章由沈承弼同志编写，第四章由张云麟同志编写，第五章由窦瑞华同志编写。全书由冯丙昌同志统一整理。

1980年9月于
重庆邮电学院

目 录

一、什么是脉码调制通信	(1)
1. 时分制多路通信.....	(1)
2. 模拟信号和数字信号.....	(11)
3. 谈谈二进制.....	(14)
4. 把模拟信号变成数字信号.....	(19)
5. 脉码调制信号在线路上的传输.....	(23)
6. 脉码调制是怎样完成通信的.....	(24)
二、脉码调制中的几个基本问题	(27)
1. 抽样.....	(27)
2. 量化.....	(31)
3. 编码.....	(44)
4. 定时系统.....	(51)
5. 同步系统.....	(57)
三、30/32路脉码调制端机	(68)
1. 帧和复帧结构.....	(69)
2. 30/32路脉码调制端机的方框图	(72)
3. 二/四线转换设备	(74)
4. 发送支路.....	(77)
5. 接收支路.....	(102)
6. 端机的其它组成部分.....	(114)
7. 端机的一些技术指标.....	(117)

四、30/32路脉码调制标志信号变换系统	(122)
1. 怎样使自动电话局迅速、正确地接通电话.....	(122)
2. 怎样用脉码通信线路打通电话.....	(127)
3. 标志信号信道是怎样公用的.....	(131)
4. 标志信号系统的出中继器和入中继器电路.....	(141)
5. 标志信号变换系统的发展概况.....	(149)
五、传输系统	(151)
1. 数字线路有哪些主要指标.....	(152)
2. 市话电缆有哪些特性.....	(155)
3. 怎样延长通信距离.....	(160)
4. 为什么脉码调制抗干扰性强并易于加密.....	(163)
5. 再生中继器具有哪些功能.....	(166)
6. 如何衡量再生中继器的性能.....	(173)
7. 为什么要进行线路编码.....	(176)
8. 远供、监测和误码测试仪.....	(178)
六、脉码调制的发展和应用	(184)
1. 脉码调制的一次群.....	(186)
2. 脉码调制的高次群.....	(190)
3. 脉码调制通信与频分制通信的相互衔接.....	(205)
4. 向毫米波进军.....	(210)
5. 脉码调制应用于卫星通信.....	(217)
6. 揭开新的篇章.....	(220)

一、什么是脉码调制通信

1. 时分制多路通信

当你在打电话的时候，有时拨了对方的号码后，会听到表示占线的嘟、嘟……的声音（忙音），电话打不通。这可能是对方正在和别人讲话，但也可能是用来连接两个电话机之间的线路都被占用了。譬如说，两个市话局之间的中继线是有限的，如果同一时间有许多人打电话，把这些中继线都占用了，那么，后来的用户就打不通了。

电话机的数目越多，各用户使用电话的次数越频繁，就要有更多的市内电话中继线才能适应需要。另外，随着大容量长距离载波系统的发展和长途自动电话业务的不断增加，对原有市话中继线路和近郊长途线路的需求也在迅速增加，这样就必须设法增加市内中继线路。如果要在两局间增设电缆，则受土建工程的限制，困难较多，投资也比较大。所以势必要求对原有中继线采用多路复用方式，也就是说，要使在原有线对上能同时接通多路电话。

在多路复用方面，曾采用过短程载波通信方式。但由于市话电缆的串音较大，效果不够理想。这就要求能有一种新的通信方式，它既能在串音防卫度较差的电缆上进行多路复用，又能利用原市话局站设备，而且对短程通信来说，也比较经济可靠。本书要介绍的小容量，短距离脉码调制通信，就是能适应

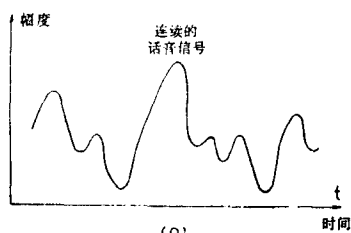
上述要求的一种通信方式，由于它具有抗干扰性强、噪声和畸变不致积累、传输质量高、设备体积小和成本低等突出的优点，目前在市话中继线上得到广泛使用。

脉码调制通信与频分制的载波通信不同，是属于时分制多路通信中的一种主要制式。要了解脉码调制通信，需要首先谈谈什么叫时分制多路通信。

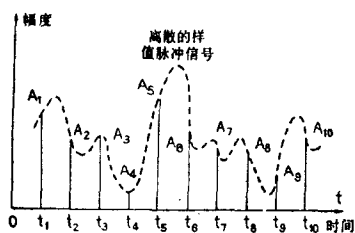
人们从实践中得出这样一个结论，要想传输话音信号，可以不必把信号在各个瞬时的

电流都连续地送出去，而只需每隔一定时间对信号幅度取一个瞬时值传出去就可以了。例如，要传送图 1.1，

a 所示的连续话音信号，我们只需象图 1.1, b 那样，在 t_1 时刻传送当时的幅值 A_1 ，在 t_2 时刻传送幅值 A_2 ，在 t_3 时刻传送幅值 A_3 ……。把这些离散的幅值传送到对方以后，对方就可以依据这些离散的幅值，恢复出原始的连续信号。我们把离散地抽取



(a)



(b)

图 1.1 连续信号的抽样

信息的过程叫做抽样，抽出来的每个离散值叫样值。由于样值具有脉冲的形状，因此称它为样值脉冲。

连续变化的信号可以用一连串在时间上是离散的样值脉冲信号来代表，这就是时分制的概念。这个概念是不难理解的。在日常生活中也有不少这种例子。例如在拍摄电影时，连续的动作不可能用一幅胶片把它连续地全都摄下来，而只能很快地

摄下一幅一幅不连续的（离散的）画面，如图1.2所示。若离

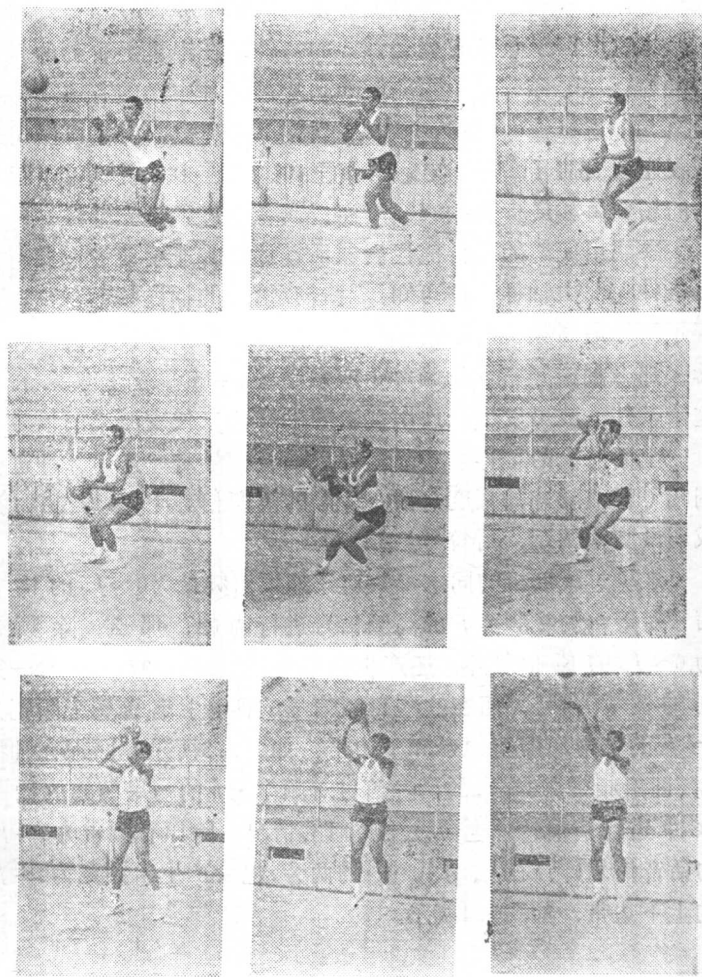


图 1.2 一段电影胶片

散画面的时间间隔很长，那我们看到的只能像幻灯那样，是离散的动作；若离散场面取得足够多，例如每秒钟取24幅，那么在放映时，由于眼睛有视觉暂留的特性，在银幕上看到的就不是象幻灯片那样一幅一幅离散的画片，而是生动的有连续感的场面了。这就告诉我们，在一定条件下，离散的样值可以用来代表连续的信号。对于电影的情况，这条件之一就是连续动作的场面每秒最少要拍24幅画面，或者说每秒最少抽样24次。

要想用离散的抽样值代表象语音那样的连续信号，要有什么条件呢？由抽样定理可知，对音频信号的抽样频率至少应当等于信号最高频率的两倍^①。譬如说，信号最高频率为 $f_m=3400$ 赫，那么抽样频率就应当等于或大于 $2f_m=6800$ 赫。如果符合这个条件，就可以用一连串离散的抽样值来代表原来的信号。

上面所说的抽样，实际上好象语音信号对一连串脉冲进行调幅（样值脉冲的幅度与语音信号的幅度相对应，参看图1.1），或叫做脉幅调制，用符号PAM来表示。

维护过载波机的同志都知道，如果用频带为 $0\sim f_m$ 的话音信号对等幅的载频为 F 的高频信号进行调幅，那么，除频带为 $0\sim f_m$ 的原信号外，还产生频率为 F 、 $2F$ 、 $3F$ ……等一系列的高频信号，而在这些高频信号的两旁，各有一个频宽为 $\nu\sim f_m$ 的边带，即上边带和下边带，如图1.3所示。同理在抽样时，即用频带为 $0\sim f_m$ 的话音信号对频率为 f_s 的一串等幅的抽样脉冲进行调幅时，也会发生类似的情况。除原有频带为 $0\sim f_m$ 的话音信号外，在 f_s 、 f_2 ……的两旁，也会产生出频宽为 $0\sim f_m$ 的上下边带，如图1.4所示。

^①抽样频率，严格地说应是带宽的两倍，考虑到音频信号下限频率接近为0，因此可认为对音频信号的抽样频率为信号最高频率的两倍。

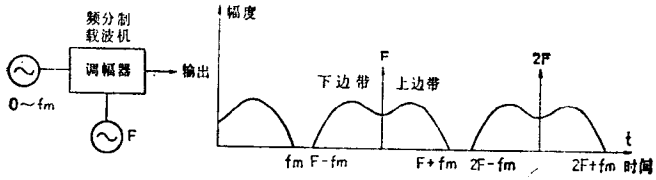


图 1.3 频分制调制频谱

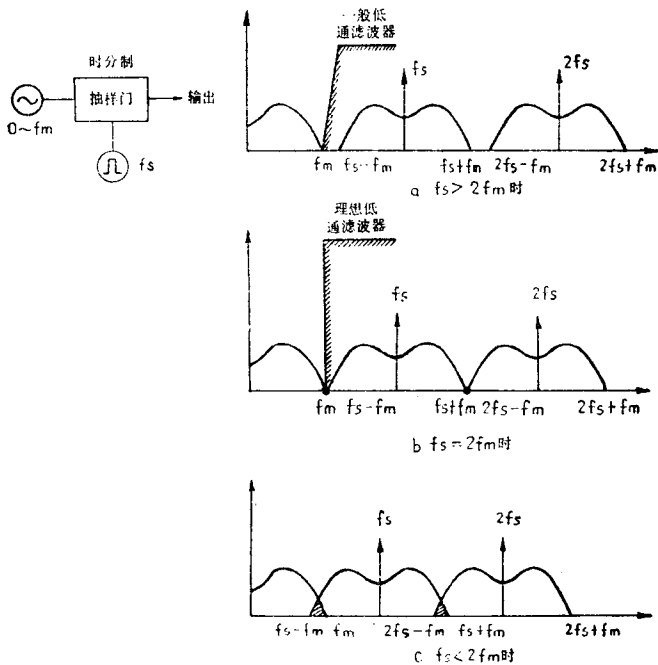


图 1.4 时分制抽样频谱

现在我们从图1.4来看一下抽样频率 f_s 和话音信号最高频率 f_m 的关系。

如果抽样频率 $f_s=2f_m$ 时,如图1.4, b所示,频率为 f_m 的原信号和频率为 f_s-f_m 的下边带信号刚好在同一点上分开。这时如果在接收端用一个截止频率为 f_m 的低通滤波器,就可把频率为 $0\sim f_m$ 的原信号从频谱中分离出来。这就是说,接收到的离散样值经过一个低通滤波器,就能恢复为原来的话音信号。如果取 f_s 略大于 $2f_m$ 时,如图1.4, a所示,则在 f_m 与 f_s-f_m 之间就留出一些频率间隙,这样就可用一般的低通滤波器恢复原来的话音信号。如果 f_s 比 $2f_m$ 低,则如图1.4, c所示, f_s 的下边带就和话音信号的频带有一部分是重叠的,这样就会引起话音信号的严重失真,因而是允许的。

这样我们可以清楚地看到,只要抽样频率 f_s 等于或大于话音信号最高频率 f_m 的两倍,即 $f_s\geq 2f_m$,就能通过一个低通滤波器完全恢复出原来的话音信号。也就是说,当满足以下条件时,信号中包含的信息就可不受抽样的影响,即:

<1>原始信号的频带是受限制的,它的最高频率不超过 f_m 。

<2>抽样频率 f_s 等于或大于二倍 f_m 时,抽样后的信号就包含原始信号的全部信息。这时,在接收端只要将其通过一个截止频率为 f_m 的低通滤波器,就能恢复原始的信号,这一过程可用图1.5来表示。这就是抽样定理要说明的问题。

实际上,目前话音传输频带一般都规定在 $300\sim 3400$ 赫,即最高频率 $f_m=3400$ 赫。为了使 f_s 略大于 $2f_m$,并与载波通信每路带宽占 4000 赫的标准一致,所以我们在电路中所用的抽样频率 f_s 为 $2\times 4000=8000$ 赫,其周期 $T_s=\frac{1}{8000}=125$ 微秒,即每隔 125 微秒抽样一次。由于低通滤波器的任务是滤出原始的话音

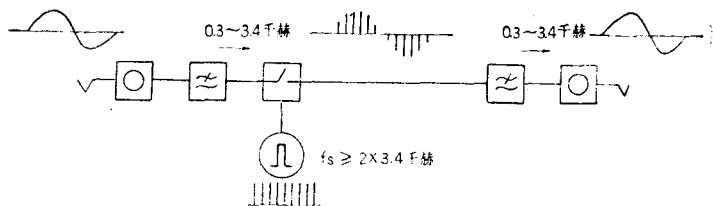


图 1.5 抽样原理示意图

频带300~3400赫，它的截止频率仍为3400赫，所以可留出 $(f_c - f_m) - f_m = 1200$ 赫频率间隙，这样就可以降低对低通滤波器的要求，可以设计结构较简单的滤波器来完成任任务，因而减少了制作滤波器的困难，降低了成本。

以上是时分制的概念。那么又怎样来实现时分制多路通信呢？首先让我们来看一下频分制是怎样多路化的。

一般通信线路能够传输信号的频率范围，远远超过话音信号的频率范围。例如架空明线传输信号的频率可高达150千赫。若有一条通信线路上。进行一路音频电话通信，则只占用300~3400赫的传输频带，尚有很大的空闲频带可以用作传输其他信号。在频分制中，最简单的可采用调制的方法，将另外一路话音信号进行调制，使其变为高频信号。在接收端用滤波器将高频信号和在通信线路上同时传输的音频信号区分开来，高频信号再经过检波恢复成话音信号。这样就在一条通信线路上实现了两路电话通信，其中一路为音频通信，另一路为高频通信，如图1.6所示。如果我们将多路话音信号，分别采用不同频率的载波进行调制后，经同一条通信线路传输到对方，然后用滤波器加以区分，再经反调制恢复成话音信号，这样就可实现多路通信。这种方法称为频分制多路通信。

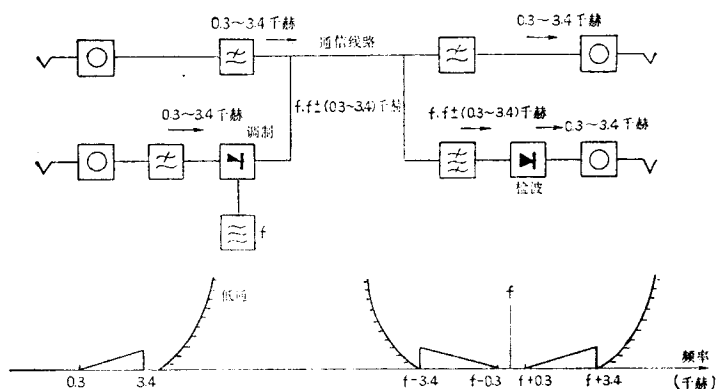


图 1.6 频分制多路通信原理

在时分制通信中，抽样所占的时间是很短的，一般只有几个微秒。抽第一个样值后，要经过125微秒才抽第二个样值。如果把这样的离散样值通过传输线路传送，那么，线路只是在很短的一小段一小段时间内传送信号，而大部分时间是空闲的。如果我们利用这些时间空隙，再依次插入若干路话音信号的抽样脉冲进去，不是可以用一条线路来传送更多的话音信号，从而实现多路化了吗？这就是时分制多路通信的基本思路。

我们以一对线路上，单方向开通三个话路为例，并配合示意图1.7加以说明。设想有两个转换开关 K 和 K' 。它们不但转得很快，每秒钟要旋转8000转；而且双方旋转臂的位置总是严格对应的。当 K 接通接点 a 时， K' 刚好接通接点 a' ；当 K 接通接点 b 时， K' 刚好接通接点 b' ……。在接点 a 、 b 、 c 上分别加上待传送的三路话音信号，其波形如图1.7中的曲线 a 、 b 、 c 所示。

由图1.7可见，在时间 t_1 ， K 和接点 a 相接， K' 正好和 a' 相接。此时信号 a 的幅值即抽样值 a_1 就通过线路送出，被 a' 点所接收。在时间 t_2 ， K 和接点 b 相接， K' 正好和 b' 相接。此时，信号 b 的抽样值 b_1 就通过线路送出，被 b' 点所接收。在时

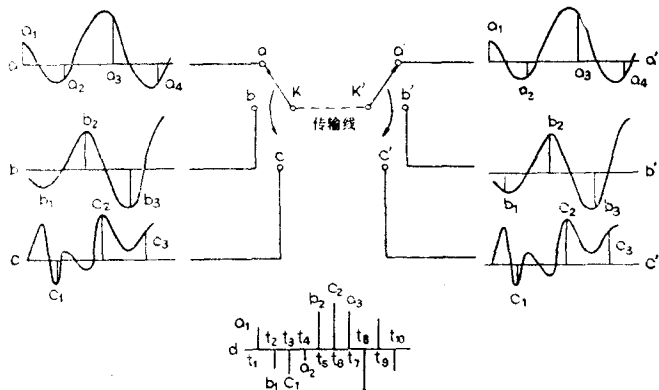


图 1.7 时分制多路通信示意图

间 t_3 ， K 和接点 c 相接。此时，信号 c 的抽样值 c_1 就通过线路送出，被 c' 点所接收。此后 K 和 K' 继续旋转，分别依次接通接点 a 、 b 、 c 和 a' 、 b' 、 c' ，一次又一次地重复上面的过程。

从图1.7的曲线图可以清楚地看到，在线路中，是周而复始地依次传送各话路的样值，即 $a_1、b_1、c_1、a_2、b_2、c_2、a_3、b_3、c_3$ ……。而在接收端， $a'、b'、c'$ 各接收点所得到的则分别是 a 路、 b 路、 c 路信号的样值。 a' 点收到样值 $a_1、a_2、a_3$ ……； b' 点收到样值 $b_1、b_2、b_3$ ……； c' 点收到样值 $c_1、c_2、c_3$ ……。由于 K 和 K' 是每秒转8000次，所以对各路而言都是每秒抽样8000次，即抽样频率是8000赫。它大于话音频率3400赫的两倍。这样，根据抽样定理，如果 $a'、b'、c'$ 各点都接一个截止

频率为3400赫的低通滤波器，就可以分别得出 a 、 b 、 c 的话音信号。 a 、 b 、 c 三路信号虽然都通过同一线路传送，但是由于它们抽样的时间不同，在公用线路中传输所占用的时间位置不同，所以在接收端仍能把它们区分开来，不致互相混淆，从而实现多路通信。正因为是利用传送时间的不同来区分各路信号的，所以把它叫做时分制多路通信。这与大家所熟知的载波通信即频分制多路通信有本质上的区别。

从上面的例子可以看到，要实现时分制多路通信， K 和 K' 两个开关转动的速度必须一样，而且在任何时候，两个开关转动的位置也必须一致，即能同时接通 aa' ，或 bb' ，或 cc' ，否则就乱了。这个条件叫同步。要保持正常的时分制多路通信，收发双方必须严格保持同步。

图1.7的示意图只是用来说明时分制多路通信的原理。当然 K 和 K' 绝不可能只是一对每秒转动8000次的机械开关。实际上，在发收两方的各路上都装有一个电子开关，分别叫做抽样门和分路门。它们在特定的脉冲信号的控制下，依次打开。先是同时打开 a 和 a' 门，让 a 路信号通过；然后同时打开 b 和 b' 门，让 b 路信号通过……。所以总起来看，它们所起的作用是和转换开关 KK' 一样。这些问题将在以后介绍。

另外，实际上的时分制多路通信也不是三路，而是24路、30路、120路等。但是“时分”这个基本道理是一样的。

从上面的例子可以看到，在线路中传送的是一串脉冲信号，脉冲的幅度是随信号的大小而变化的。这种时分制多路通信叫做脉幅调制方式，或叫做 PAM 方式。

这种脉幅调制的时分制多路通信在1930年已开始研究，也曾研制出24路时分制多路通信的样机。但是没有得到发展。

脉幅调制信号的脉冲幅度是随原始信号的幅度变化而变化