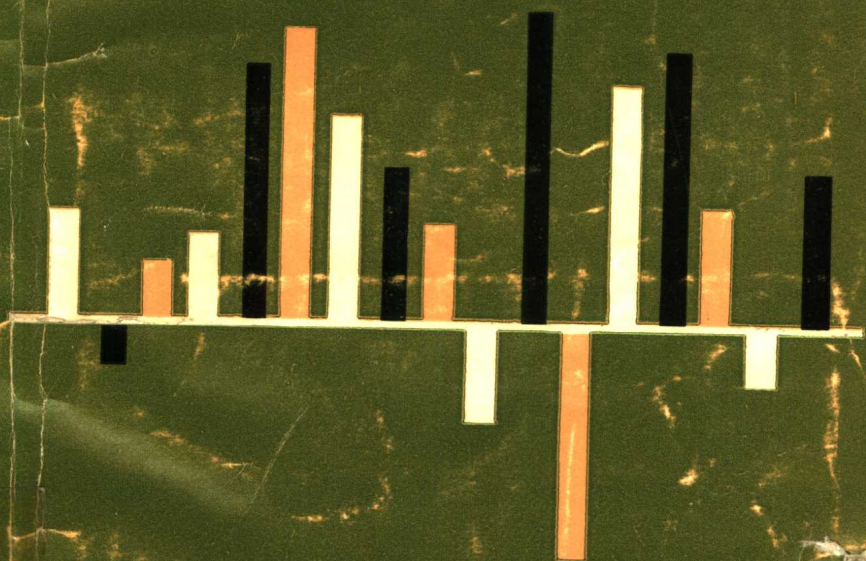


电信技术普及丛书



# 脉码调制通信

《脉码调制通信》编写组编 · 人民邮电出版社出版

电信技术普及丛书

# 脉 码 调 制 通 信

《脉码调制通信》编写组编

人 民 邮 电 出 版 社

## 内 容 提 要

本书是“电信技术普及丛书”之一。“丛书”主要读者对象是从事电信工作的工农兵和管理干部，适合具有初中文化水平，有一些电信、无线电基础的读者阅读。目的是普及电信技术知识，特别是电信新技术知识，为我国电信事业的建设服务。

本书以通俗易懂的方式介绍脉码调制通信的基本知识。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以及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。可供本专业的工人、管理干部、技术人员及工农兵学员阅读参考。

## 脉 码 调 制 通 信

〈脉码调制通信〉编写组编

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 1977年1月 第 一 版

印张：6 16/32 页数：104 1977年1月河北第1次印刷

字数：150千字 印数：1—22,000册

统一书号：15045·总2135—有551

定价：0.53元

# 毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

世上无难事，只要肯登攀。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

## 出版者的话

无产阶级文化大革命是推动我国邮电通信发展的强大动力。在毛主席的无产阶级革命路线指引下，广大邮电职工以阶级斗争为纲，坚持独立自主、自力更生的方针，认真贯彻执行鞍钢宪法，深入开展农业学大寨、工业学大庆的群众运动，使我国邮电通信网的建设和电信技术的研究、应用和推广得到迅速发展。广大电信工人和干部希望了解有关电信新技术知识，以便尽量采用先进技术，加速邮电建设的步伐。

为此，我们在有关部门党组织的领导与支持下，依靠广大工农兵群众，以组织三结合编写组为主，编写了“电信技术普及丛书”，陆续出版。

我们要以马列主义、毛泽东思想为指导，出版好这套丛书，努力运用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点，密切结合三大革命运动的实践，做到内容正确，概念清楚，深入浅出，通俗易懂，适合具有一些电信基本知识的工人和干部阅读。恳切希望广大读者对本书提出批评和建议。

一九七六年五月

## 前 言

在毛主席革命路线指引下，经过无产阶级文化大革命我国邮电事业迅速发展，出现了一派朝气蓬勃、欣欣向荣的大好形势。广大邮电工人、革命干部和工程技术人员以阶级斗争为纲，认真学习无产阶级专政理论，以“世上无难事，只要肯登攀”的革命精神，沿着毛主席指引的方向阔步前进。

由于通信事业发展的需要，随着电子器件，特别是集成电路以及脉冲技术的发展，脉码调制通信得到了迅速发展，它是时分多路通信中的一种主要制式，具有抗干扰性强，易于加密，易于集成化、小型化，设备成本低以及分支转接比较灵活等优点。因此，它为建设现代化的综合通信网提供了有利条件，是通信技术发展的方向之一。为了满足广大工农兵了解和学习这门技术的迫切需要，我们编写了“脉码调制通信”这本书。本书力图用通俗易懂的方式介绍脉码调制通信的基本知识。着重讲述脉码调制通信的基本原理概念，并以30/32路脉码设备为例，简单扼要地介绍了脉码调制端机的组成，介绍了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。

本书的编写是在我单位党委的直接领导和关怀下进行的。组成了领导、群众和专业人员参加的“三结合”小组集体编写，并进行了群众性的审读修改，最后请兄弟单位进行了校阅。但由于我们对马列主义、毛泽东思想学习得不够，水平有限，加上时间仓促，书中必仍存在不妥和错误之处，恳切地希望同志们批评指正。

《脉码调制通信》编写组

# 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       | ( 10 ) |
| 3. 谈谈二进制           | ( 12 ) |
| 4. 把模拟信号变成数字信号     | ( 15 ) |
| 5. 脉码调制信号在线路上的传输   | ( 18 ) |
| 6. 脉码调制是怎样完成通信的    | ( 19 ) |
| 二、脉码调制中的几个基本问题     | ( 23 ) |
| 1. 抽样              | ( 23 ) |
| 2. 量化              | ( 27 ) |
| 3. 13折线            | ( 32 ) |
| 4. 折叠二进制           | ( 38 ) |
| 5. 编码              | ( 40 ) |
| 6. 译码              | ( 53 ) |
| 7. 定时系统            | ( 56 ) |
| 8. 帧同步系统           | ( 69 ) |
| 三、30/32路脉码调制端机     | ( 80 ) |
| 1. 帧结构             | ( 80 ) |
| 2. 30/32路脉码调制端机方框图 | ( 83 ) |

|                                   |                |
|-----------------------------------|----------------|
| 3. 二/四线转换设备 .....                 | ( 86 )         |
| 4. 发送支路 .....                     | ( 87 )         |
| 5. 接收支路 .....                     | ( 101 )        |
| 6. 端机的其它组成部分 .....                | ( 108 )        |
| <b>四、30/32路脉码调制标志信号变换系统 .....</b> | <b>( 111 )</b> |
| 1. 怎样使自动电话局迅速、正确地接通电话 .....       | ( 111 )        |
| 2. 怎样用脉码通信线路打通电话 .....            | ( 115 )        |
| 3. 标志信号信道是怎样公用的 .....             | ( 120 )        |
| 4. 标志信号系统的出中继器和入中继器电路 .....       | ( 128 )        |
| 5. 24路脉码调制标志信号变换系统简介 .....        | ( 133 )        |
| <b>五、传输系统 .....</b>               | <b>( 139 )</b> |
| 1. 脉码传输线路有哪些特性 .....              | ( 139 )        |
| 2. 怎样延长通信距离 .....                 | ( 144 )        |
| 3. 为什么要进行线路编码 .....               | ( 152 )        |
| 4. 为什么脉码调制抗干扰性强和易于加密 .....        | ( 154 )        |
| 5. 再生中继器的电源如何供给 .....             | ( 157 )        |
| 6. 怎样知道哪个中继器出了毛病 .....            | ( 160 )        |
| <b>六、脉码调制的发展和应 用 .....</b>        | <b>( 167 )</b> |
| 1. 脉码调制的一次群 .....                 | ( 169 )        |
| 2. 脉码调制的高次群 .....                 | ( 171 )        |
| 3. 脉码调制通信与频分制通信的相互衔接 .....        | ( 182 )        |
| 4. 向毫米波进军 .....                   | ( 186 )        |
| 5. 脉码调制应用于卫星通信 .....              | ( 192 )        |
| 6. 揭开新的篇章 .....                   | ( 195 )        |



# 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，设法在一对中继线上同时能接通多路电话。

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，它具有抗干扰性强、设备体积小和成本低等优点。

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

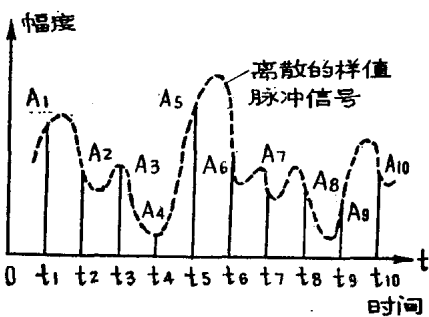
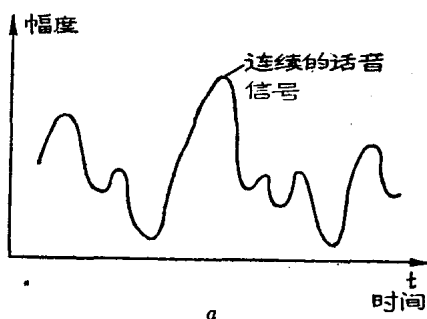


图 1.1 连续信号的抽样

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离散值来代表，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。若离散画面的时间间隔很长，那我们看到的只能像幻灯那

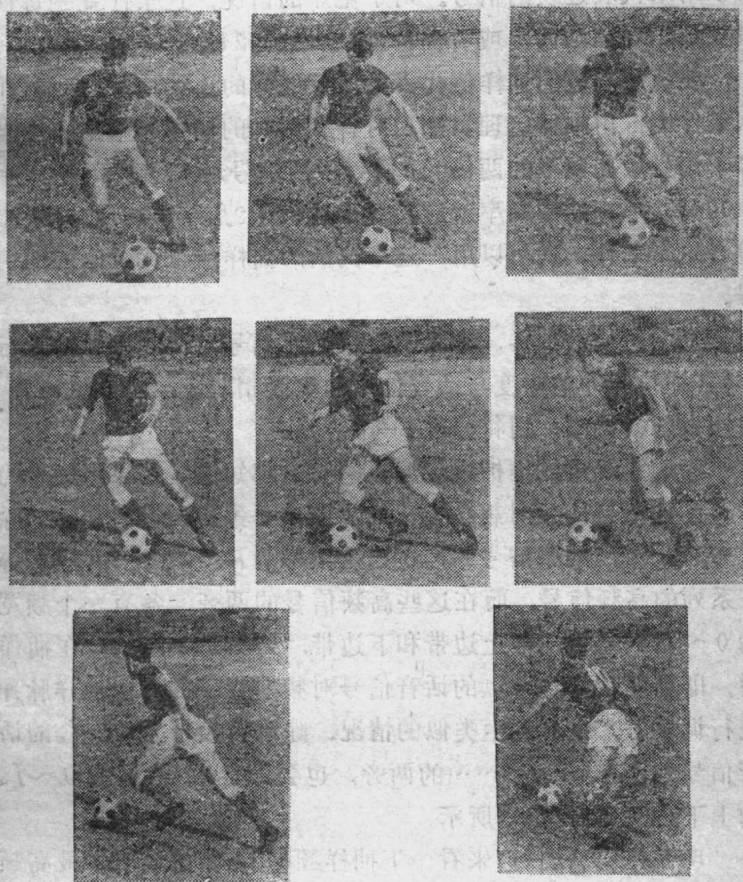


图 1.2 一段电影胶片

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，这条件就是每秒最少要拍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话音那样的连续信号，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<sup>①</sup>。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，实际上好象话音信号对一连串脉冲进行调幅(样值脉冲的幅度与话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。

学过无线电或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 $0 \sim f_m$ 的边带，即上边带和下边带，如图1.3所示。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 $f_s$ 、 $f_{2s}$ ……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。

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

<sup>①</sup>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。

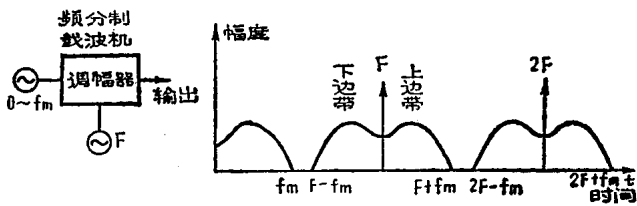


图 1.3 频分制调制频谱

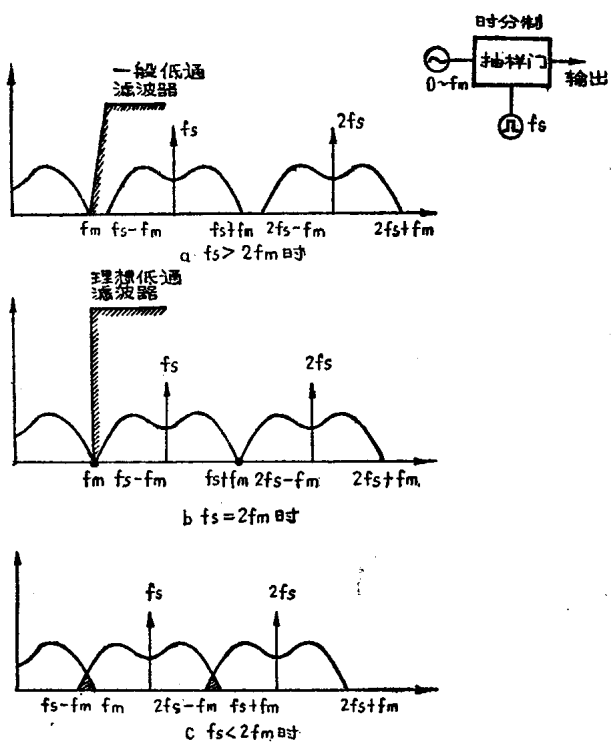


图 1.4 时分制抽样频谱

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，更便于用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。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300~3400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频带300~3400赫，它的截止频率仍为3400赫，所以可留出 $(f_s-f_m)-f_m=1200$ 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务，因而减少了制作滤波器的困难，降低了成本。

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，再依次插入若干路语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语音信号，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1.5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语音信号，其波形如图1.5中的曲线 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 所示。

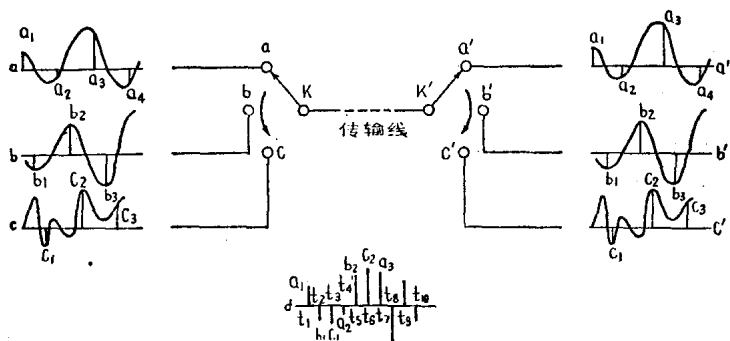


图 1.5 时分制多路通信示意图

由图1.5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1.5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1.5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只三路，可以是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的。但是，传输这种高度不等的窄脉冲是非常不利的。脉冲越窄，线路衰减越大，失真越严重。而且这种脉冲信号即使遭到轻微的噪声，就会使脉冲幅度变化，这就意味着信号的失真。何况根据话音的规律这窄脉冲的幅度变化，高低相差可达100倍以上，噪声对幅度的影响很显著，造成的失真也大。因此这种脉幅调制通信在传输过程中要使其信号不失真是很困难的。所以试验结果，脉幅调制时分制通信的传输质量还不如频分制好，所以一般只能在复用路数较少和噪声不显著，质量要求不高的电路中使用。

1937年，在改进脉幅调制的研究中，得出了一个新的设想，即采用脉冲编码的时分制多路通信，简称脉码调制通信（PCM通信）。这种通信方式有许多显著的优点（将在第六章中介绍），因而得到了迅速的发展。

脉码调制方式是一种数字通信方式。为了便于对脉码通信进一步了解，我们下面先介绍一下有关模拟信号和数字信号的问题。