

HENGDIANLUJISHUQIYUANLIJIYINGYONG



# 集成电路计数器原理及应用

天津科学技术出版社

**集成电路计数器  
原理及应用**

凌肇元 编著

\*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道124号

天津新华印刷一厂印刷

天津市新华书店发行

\*

开本 787×1092毫米 1/32 印张 17 1/2 字数 373,000

一九八〇年二月第一版

一九八〇年二月第一次印刷

印数: 1—12,000

统一书号: 15212·4 定价: 1.58元

# 前 言

逻辑门电路和计数器可广泛运用于自动控制、数字仪表、计算机、通讯等许多领域。为了加速实现四个现代化、推动技术革新和技术改造,集成逻辑门电路和计数器的推广运用非常迫切。本书就是适应这种需要而编写的。

本书以集成电路计数器为中心,力图通俗而又比较系统地介绍数字集成电路的基础知识。第一章简要介绍了双稳态电路、二进制、逻辑式、逻辑图和逻辑运算等基本知识;第二章分析了逻辑门电路的基本工作原理和由集成门电路构成的脉冲电路,并对各种类型的集成电路触发器,作了比较详细的讨论。第三章介绍各种类型的集成电路计数器,包括各种计数电路、译码器、寄存器和显示器;为了说明如何运用集成电路计数器解决实际问题,第四章专门提供一些典型的应用实例,并结合应用介绍一些常用的传感器。

全书以TTL型集成电路为主,相应地介绍了CMOS集成电路和PMOS集成电路,也联系到HTL和DTL集成电路。应用实例采用TTL、CMOS和PMOS集成电路,但其基本原理和有关的逻辑图例,对各种类型的集成电路都基本适用。

作者力图深入浅出地讲清基本原理及其应用,未作深入的数学分析,以适应具有中等文化水平的广大业余爱好者、中等学校师生和“七·二一”大学学员的需要,尤其考虑了具

有一定实践经验的工人、技术人员从事技术革新的迫切需要。

由于本人知识有限，经验不足，书中谬误之处在所难免，恳请读者批评指正。

在编写过程中，得到《无线电》杂志编辑室、天津大学、特别是天津四十二中学的大力支持和帮助，在此表示衷心感谢。

凌肇元

---

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一章 预备知识.....                | 1   |
| 1.1 概述 .....                 | 1   |
| 1.2 双稳态触发电路 .....            | 6   |
| 1.3 二进制计数电路 .....            | 14  |
| 1.4 二进制数 .....               | 17  |
| 1.5 基本逻辑门电路 .....            | 22  |
| 1.6 逻辑式、逻辑图和逻辑运算 .....       | 28  |
| 1.7 逻辑代数的图示法 .....           | 36  |
| 1.8 逻辑符号说明 .....             | 48  |
| 1.9 数字集成电路型号命名 .....         | 51  |
| 第二章 门电路、触发器和脉冲电路 .....       | 59  |
| 2.1 TTL “与非” 门电路.....        | 59  |
| 2.2 “与非” 门电路的电压传输特性 .....    | 62  |
| 2.3 “与非” 门的前后级搭配 .....       | 67  |
| 2.4 “与非” 门直流参数的测试和测试仪器 ..... | 70  |
| 2.5 RS触发器.....               | 80  |
| 2.6 维持—阻塞 (WZ) 触发器 .....     | 88  |
| 2.7 JK触发器.....               | 97  |
| 2.8 D触发器和T触发器 .....          | 104 |
| 2.9 触发器之间的相互转换 .....         | 110 |
| 2.10 由TTL门电路构成的脉冲电路.....     | 115 |
| 2.11 PMOS集成电路 .....          | 128 |
| 2.12 CMOS集成电路 .....          | 144 |

|                               |            |
|-------------------------------|------------|
| 2.13 PMOS集成电路触发器 .....        | 171        |
| 2.14 CMOS集成电路触发器 .....        | 186        |
| 2.15 MOS集成电路的测试 .....         | 192        |
| 2.16 数字集成电路使用注意事项 .....       | 198        |
| 2.17 晶体管和集成电路混合使用时的电平转换 ..... | 209        |
| <b>第三章 计数器</b> .....          | <b>221</b> |
| 3.1 二—十进制计数器的一般概念和代码的含义 ..... | 221        |
| ✓3.2 二—十进制异步计数器 .....         | 228        |
| 3.3 其它进制异步计数器 .....           | 242        |
| ✓3.4 二—十进制同步计数器 .....         | 257        |
| 3.5 其它进制同步计数器 .....           | 265        |
| 3.6 异步可逆计数器 .....             | 294        |
| 3.7 同步可逆计数器 .....             | 313        |
| 3.8 可变进制计数器 (可变分频器) .....     | 318        |
| 3.9 左移码环形十进计数器 .....          | 322        |
| 3.10 数码寄存器 .....              | 328        |
| 3.11 数字管译码显示器 .....           | 332        |
| 3.12 八段译码器 .....              | 348        |
| 3.13 计数器的调试和检修 .....          | 358        |
| 3.14 MOS集成电路计数器 .....         | 369        |
| <b>第四章 应用举例</b> .....         | <b>395</b> |
| 4.1 数字计数器 .....               | 395        |
| 4.2 预置数字计数器 .....             | 405        |
| 4.3 机床自动进给数控器 .....           | 413        |
| 4.4 数字式长度比率计 .....            | 417        |
| 4.5 数字雨量计 .....               | 420        |
| 4.6 竞赛产量计数器 .....             | 427        |
| 4.7 数字计时器和数字毫秒计 .....         | 430        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 4·8 数字钟 .....               | 442 |
| 4·9 数字频率计 .....             | 448 |
| 4·10 红外线数字转速表 .....         | 459 |
| 4·11 十进制数字加减器 .....         | 464 |
| 4·12 十进制数字乘法器 .....         | 473 |
| 4·13 十进制数字除法器 .....         | 488 |
| 4·14 汽车数字仪表 .....           | 491 |
| 4·15 简易售货计算机 .....          | 499 |
| 4·16 电子顺序控制器中的步进器 .....     | 508 |
| 4·17 时间顺序控制器 .....          | 521 |
| 〔附表〕 .....                  | 528 |
| 附表1 薄膜石英晶体振荡器特性参数 .....     | 528 |
| 附表2 2CU型硅光敏二极管特性参数 .....    | 529 |
| 附表3 3DU型硅光电三极管特性参数 .....    | 530 |
| 附表4 接近开关特性参数 .....          | 531 |
| 附表5 干簧继电器特性参数 .....         | 532 |
| 附表6 部标准TTL集成电路系列品种代号 .....  | 534 |
| 附表7 部标准HTL集成电路系列品种代号 .....  | 539 |
| 附表8 部标准CMOS集成电路系列品种代号 ..... | 541 |
| 附表9 常用的TTL中速电路型号对照 .....    | 543 |
| 附表10 常用的TTL高速电路型号对照 .....   | 545 |
| 附表11 常用的DTL低速电路型号对照 .....   | 546 |
| 附表12 常用CMOS集成电路型号对照 .....   | 547 |
| 附表13 常用PMOS集成电路型号对照 .....   | 548 |
| 附表14 十进制到二进制的转换表 .....      | 550 |
| 主要参考书目 .....                | 551 |

# 第一章 预备知识

## 1.1 概 述

一般所说的数字装置，由三个主要部分组成。第一部分，是把变化着的各种物理量，如位移、速率、时间、温度、压力、流量、体积、电压、电流、频率、声音、光强、磁性以及浓度等等，通过光电、声电、热电、压电、磁电以及化学、生物等效应，变换成电量并形成电脉冲信号，这一任务叫模拟—数字转换，它是由叫做传感器的部件和各种电子辅助线路完成的。第二部分是对转换来的电脉冲信号进行计数，以便对生产过程中的各种参量进行严格的定量测量和控制，并进行必要的记忆和运算，这是由计数器和运算电路以及其它控制电路来实现的。第三部分叫做执行机构，它是根据人们预先确定的具体要求，预置某些数字，待计数器计数到预置的这些特定数值时，发出信号，使伺服机构动作，执行自动控制、自动变换、自动记录等任务。

温度由低到高、速度由小到大等，都是连续变化的。所谓连续变化，一方面指的是随着时间连续变化，不会中断；另一方面指大小连续变化，不会跳跃。连续变化的量称为模拟量。自然界中日月星辰的运行，树木花草的生长，水流、风速等都是模拟量。但是，数字仪表的数字变动，是不连续的。脉冲的个数，以个为单位，也是不连续的。不连续变化

的量，叫数字量。举例说，时间是连续变化的模拟量，但数字钟显示的是每隔一秒或一分有规则地变换一个数字，在一秒钟或一分钟之内，数字钟的显示是没有变化的。再如水银温度计里，水银柱的升降是个模拟量，而数字温度计显示的是数字量；计算尺是模拟式计算工具，算盘是数字式工具。测量的数字化，就必然会遇到将模拟量变成数字量这个问题。

模拟量和数字量的转换中，利用传感器来接收和反映各种物理量的变化。传感器的种类繁多，譬如，光电传感器，利用光敏二极管（或光敏三极管、光电池、光敏电阻等）与光电转换电路配合，使光信号变换成电脉冲信号，电脉冲信号再输入计数器计数；利用接近开关和干簧管可以将位移、转速、振动、升降等等机械动作变换成脉冲信号，从而运用计数器测得移动、转动、振动等的次数，或者控制其数量；热电传感器，则可以利用热敏电阻、热电偶等，配合电子线路，使温度的高低转换成电脉冲数，从而由计数器的读数来表示温度的高低。再如压力、拉力、扭力的大小，可以利用应变电阻片、压电晶体等，并配合电子线路，使压力、拉力、扭力的大小，转换成电压、电流或频率的大小，再由计数器来读数，直接表示压力、拉力、扭力的数量。其它如光栅、感应同步器等等，都可以作传感器用。

集成电路计数器是一种电子通用部件。深川里的水流、峡谷里的风速、高速公路上的汽车速率、精密机床上的微小位移等物理量的自动测量，自动生产线上各个程序的时间、炼钢炉里变化着的温度、化学反应塔里的压力等物理量的自动控制；水文观测的参数、气象预报的数据、商店和邮局里

数字秤显示的重量等物理量的运算和处理，都要用到计数器。象数字钟、数字秤、数字频率计、数字转速表等数字仪表，更是离不开计数器了。可以说，计数器既是一切数字测量仪表的基础，也是数控技术和计算技术的基本部件，它在自动测量、自动控制、自动运算中应用极为广泛。

计数器为什么有如此广泛的用途呢？这要从它所具有的基本特性谈起。

第一，计数器的一个基本功能是可以快速而精确地计数。不论从哪种物理量转换来的电脉冲，都可以输入计数器进行计数，使计数器在测量仪表中得到广泛的应用。测量仪表的数字化，已成为现代化测量仪表发展的一种趋势。

第二，计数器可以预置某个数字，当计数器计到这个数字时，输出一个信号，去控制某个装置，实现数控。

第三，计数器有可逆特性，如一位加法计数单元每接收一个电脉冲，就从数字 0 的状态顺着 1、2、3……的次序变化到数字 9 的状态，减法计数器则每接收一个电脉冲，就从数字 9 的状态顺着逆过程 9、8、7……的次序变化到数字 0 的状态。所以，可逆计数器既可以作加法计数，又可以作减法计数。如果再附加上简单的辅助线路，经过适当的组合和变换，还可以做成十进制乘法器和除法器。因此，计数器可以方便地构成运算器，实现某些数字运算，提高自动控制效能。

第四，计数器的计数状态，既可寄存，又可用数字管显示，还可以远传，在几个地方同时显示一个数。例如用计数器测量雨量，下雨过程中雨量的大小直接用数字显示出来，读数直观、迅速、一目了然，用传输线将数字信号引入室

内，还可实现遥测。

要说到计数器的妙用，那真是举不胜举。如果我们置身于数控世界，环顾四周，处处可以看到计数器在默默地工作着：只字不差地计数，认真负责地指挥。

当我们来到水库，走进自动化操作室，看到一排又一排的显示数字在跳动：有的数字指示水位高低；有的数字指示水面宽度；有的数字指示水流量；有的是下雨时指示雨量用的；还有一排显示数字，旁边有许多只按键，显示的数字自动地忽而增大、忽而减小，这是水库闸门升降的远距离数控装置；……。在这里，计数器在大显身手哩。

水位高度、水面宽度以及降雨量等的变化，都是线度的增减。通过传感器实现每变化一厘米或一毫米就发出一个电脉冲信号，将这些脉冲信号输入计数器，就可以表示出水位、水宽、水压。它们的功用虽不同，基本道理都一样，其中用计数器实现计数显示也是一致的。

水库闸门高达十几米，按照人们预置的数字，在“水闸升降数控仪”的指挥下自动地上升、下降。它也是利用传感器来获得升降距离的信号，不过由于水库闸门时而上升时而下降，所以要用可逆计数器。预置的数字是可以根据实际需要控制的高度而变更的。例如我们可以用数字流量计来控制闸门的升高和下降。流量计一般是用涡轮作传感器，涡轮的转速随着流速的增大而增大，每转动一周发出一个电脉冲，由计数器记录下流速，再通过运算部分算出流量并显示出来。如果我们将数字流量计预置到某两个数字，一个是上限、一个是下限，当计数达到上限数字时，发出闸门下降的信号，到达下限数字时，发出闸门上升的信号，于是实现了

用流量来自动控制闸门的升降。

新型汽车上也已安装上数字仪表，如数字汽车里程表、数字汽车速率表，数字计时表等。车轮的转动经过齿轮变速，每行驶一百米使干簧继电器发出一个信号，数字里程表的计数器就计一个数。运用时基信号测出每分钟或每小时的里程数，就形成速率表。汽车上采用了这些数字仪表，可以迅速、直观地了解行程与车速。

基本计量的数字化，使时间、温度、位移、压力等基本物理量的显示和控制变得十分精确和灵活，这对提高科学实验和工程测量的质量非常有利。

用数字计时器代替停表，大大提高了计量精度。停表只能估计到0.01秒，而数字计时器可以精确到毫秒、微秒。数字钟是将石英晶体的振荡信号，经分频后输入计数器计数，用数字指示时间。采用集成电路，将类似数字钟原理的数字装置缩小放到表壳里，就成了数字手表。

通过数字计时器，预置一系列的时间，待达到某个预置时间，计数器就发出脉冲信号，推动某个执行机构工作，这就是时间程序控制的原理。例如，学校里自动定时打铃；火车站里自动定时预报进站、检票；电化教学过程中各种幻灯、录音、电视的自动启闭，等等，都是属于时间程序控制的。另外，通过数字温度表、数字压力表，预置一系列的温度、压力，待达到某个预置的温度、压力时，计数器发出信号，推动某个执行机构工作，就可实现温度、压力的自动控制。

微小位移的数字化测量，可提高精密机床加工质量，并把精密加工自动化向前推进一大步。利用光栅作传感器，可

以把微米数量级的位移通过计数器用数字显示出来，而数字化的优点之一就是可以利用数字发出控制信号，这样，在加工过程中，可以同时进行公差监督和加工量测量，当测量结果达到预定要求时，就自动完成停车、退刀、卸料等动作，这就使加工速度和成品率大大提高。

数字秤是把重量的称量数字化。用计数器很容易做成十进位加法器、减法器、乘法器、除法器，结构很简单。这些计算器和数字秤配合使用，就使商店的售货、记帐、结算、开票等工作自动化，效率大为提高。

在港口、码头、货栈，把数字秤、数字计算器和运输自动生产线结合起来，还可使运货、卸货实现自动控制，加快运输过程，提高统计效率。

上面列举了计数器的一些效能。从而也看出执行机构的作用在于接收到计数器发出的数控信号后，通过继电器或者晶体管、可控硅、脉冲变压器等去开动机械手、接通步进电机或其它电动工具，做某种特定的动作，达到控制的要求。

## 1.2 双稳态触发电路

计数器的基本功能就是对接收来的电脉冲进行计数。一提起数，就会想到日常习惯使用的十进制数。一位十进制计数器可以计 0—9 十个数，多位十进制计数器可以计多位十进制数。

十进计数器电路有十个不同的稳定状态，从起始状态开始，每接收一个计数脉冲，就改变一种状态，接收十个计数脉冲就回到起始状态。如果用一种状态代表一个十进制数，

十个状态恰好代表十个数。

进一步剖析十进计数器电路的内部结构，可看到它是由更基本的单元电路组成的，这种基本单元电路叫做双稳态电路。顾名思义，双稳态电路具有两个稳定的状态，一个状态输出低电位，一个状态输出高电位。

其实，具有两个不同状态的事物及其相互转化是极为普遍的，如电灯的亮和暗，开关的通和断，晶体管的通导和截止，电位的高和低等等，这反映了普遍的对立统一规律。

在数字技术中用符号“0”和“1”表示上述两种对立的状态。譬如把输出低电位记为“0”，输出高电位记为“1”。双稳电路只有“0”和“1”两种状态。我们把“0”和“1”叫做代码，显然，代码只是一种符号，表示某种信息，它们不同于十进制数字运算中的0、1、2、3…。但是“0”、“1”代码也能运算，它必须遵守一种叫做“二进制”的运算法则。

所以，为了学习数字电路和掌握计数器原理，首先要了解双稳态电路。

双稳态电路如同一只开关一样，对它输入一个信号，开关接通，再输入一个信号，开关断开，即输入二个信号，完成一次开关动作。因此，双稳态电路可以用来保存“0”和“1”的信息，即具备通常所说的“记忆”作用。此外，还可用来计数。每输入二个脉冲，就恢复原先的状态，并发出一个进位脉冲信号，实行“逢二进一”。

双稳态电路由两个反相器交叉耦合而成（图1·2·1），图中(a)是标准画法，(b)更便于说明原理，从图(b)看出，每个反相器的输出，通过电阻 $R_K$ 和 $R_b$ 分压后耦合到另一个反相

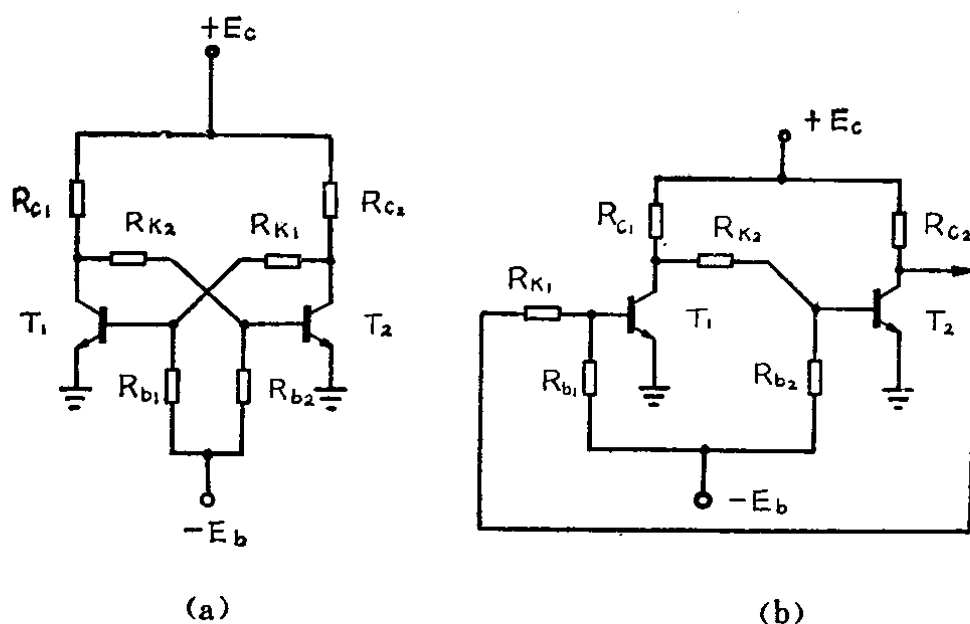


图1·2·1 双稳态触发器

器的输入端，形成正反馈。因此，双稳态电路实际上是一个对称的具有正反馈的两级反相器。

其工作原理分析如下：

### 1. 稳态建立

接通电源时，两个晶体管都要导通，一旦导通后，两管集电极电位都要下降，从而使对方的基极电位都要下降，这就出现了矛盾。由于晶体管和元件参数的不完全对称，或各种外界干扰因素，总会引起两晶体管的电流发生微小差异，通过正反馈又扩大了这种差异。假定 $T_1$ 导电稍强，则必将产生以下连锁反应：

$$I_{c1} \uparrow \rightarrow V_{c1} \downarrow \rightarrow V_{b2} \downarrow \rightarrow I_{b2} \downarrow \rightarrow I_{c2} \downarrow \rightarrow V_{c2} \uparrow \rightarrow V_{b1} \uparrow \rightarrow I_{b1} \uparrow$$

$\uparrow$

如此不断循环加剧的结果，使 $T_1$ 饱和， $T_2$ 截止，电路处于一个稳态。

## 2. 触发翻转

在饱和管 $T_1$ 的基极输入一个负脉冲，就将引起以下变化：

$$V_{b1} \downarrow \rightarrow I_{b1} \downarrow \rightarrow I_{c1} \downarrow \rightarrow V_{c1} \uparrow \rightarrow V_{b2} \uparrow \rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} \uparrow \rightarrow V_{c2} \downarrow$$

直到 $T_1$ 截止， $T_2$ 饱和。这个过程和上述稳态建立过程一样，实质上是一个强烈的正反馈过程，进行得非常迅速，所需时间极短，称为雪崩过程。电路从一个稳态迅速翻到另一个稳态。

这时，如果在 $T_2$ 管的基极输入一个负脉冲，触发器将翻转回来，回到原先的稳态。

## 3. 计数触发

上述双稳态电路的触发翻转，要从左右两边分别引入信号，当连成计数触发形式时，则如图 1·2·2 所示，计数信号从同一个输入端引入。图 1·2·2 比图 1·2·1 增

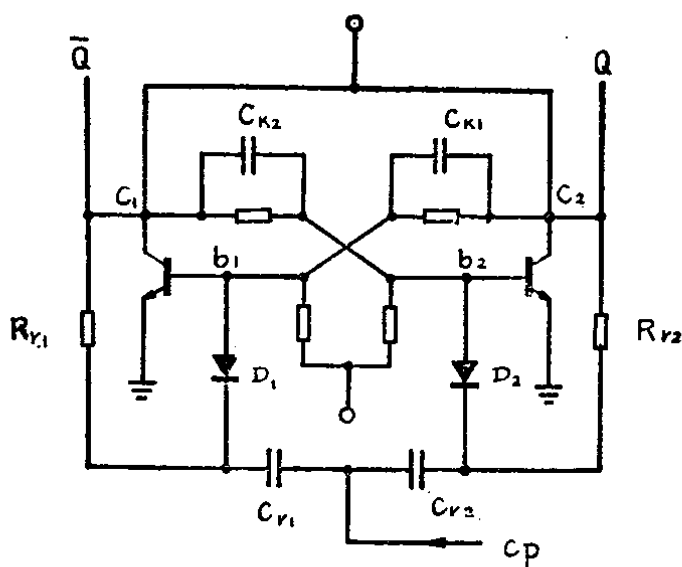


图1·2·2 计数触发形式

加了加速电容 $C_{k1}$ 、 $C_{k2}$ ，导引门 $C_{r1}$ 、 $R_{r1}$ 和 $C_{r2}$ 、 $R_{r2}$ 及导引二极管 $D_1$ 、 $D_2$ 。

图1·2·2采用自控门触发方式。 $C_r$ 和 $R_r$ 组成微分电路，不过微分电阻 $R_r$ 不接地而接晶体管的集电极。从图中看到微分电阻 $R_{r1}$ 的一端接在左管的集电极，设左管通导，由于通导管集电极电位很低，使 $R_{r1}$ 和 $D_1$ 相连的一端电位也很低， $V_{ces} = 0.3$ 伏，而通导管的基极电位约为0.7伏，所以 $D_1$ 通导，触发脉冲CP的负跳变能够通过导引二极管 $D_1$ 加到通导管的基极；微分电阻 $R_{r2}$ 的一端接右边截止晶体管的集电极，由于截止管集电极电位很高， $R_{r2}$ 和 $D_2$ 相连的一端电位也很高， $D_2$ 反偏置而截止，使触发脉冲CP不能加到截止晶体管的基极。由此看出，采用自控门触发方式，可以起到正确的导引作用。

还必须指出，图1·2·2利用脉冲信号的跳变沿进行触发，而且用的是下降沿（负跳变）。双稳态电路对触发脉冲的跳变沿陡度和幅度有一定的要求。双稳态电路状态的改变仅仅产生在触发脉冲负跳变的瞬间，因此只要触发脉冲负跳变沿结束，电路就能接受另一个触发脉冲的作用。

导引电路和触发方式这两点，在今后分析各种触发器时会多次遇到，还要作一番深入的探讨。

加速电容 $C_k$ 可以提高双稳态电路的翻转速度，并帮助双稳态电路可靠翻转，产生记忆作用。

图1·2·2各点的波形如图1·2·3所示。

当我们分析了双稳态电路的工作原理之后，再来概括一下双稳态电路的特性，为以后分析数字电路作准备。

（1）图1·2·4是双稳态电路的逻辑符号图，从图