7.1 串行通信概述

7.2 串行口的结构

7.3 串行口的四种工作方式

7.4 波特率的设定与计算

7.5 STC89C52单片机之间的通信

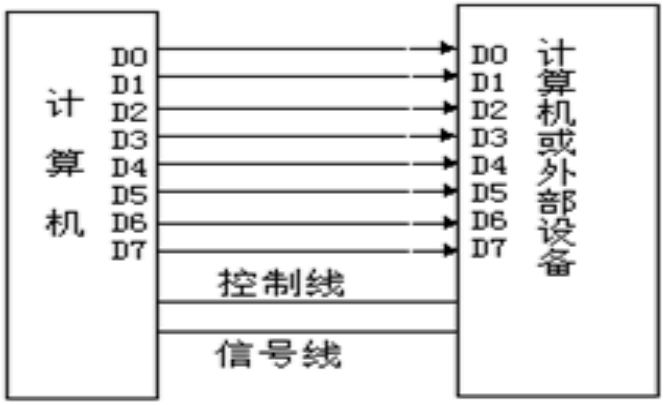
7.6 PC与单片机间的通信

7.1 串行通信概述

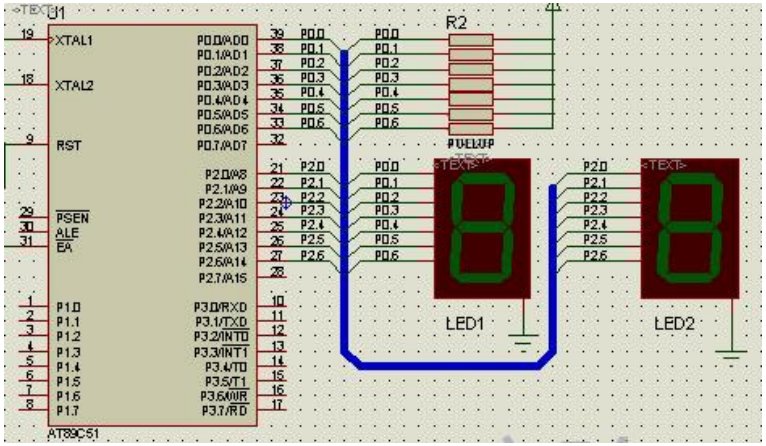
7.1.1 数据通信

1、**并行通信和串行通信**（数据通信的两种常用形式）

（1）并行方式——数据的各位同时发送或同时接收。

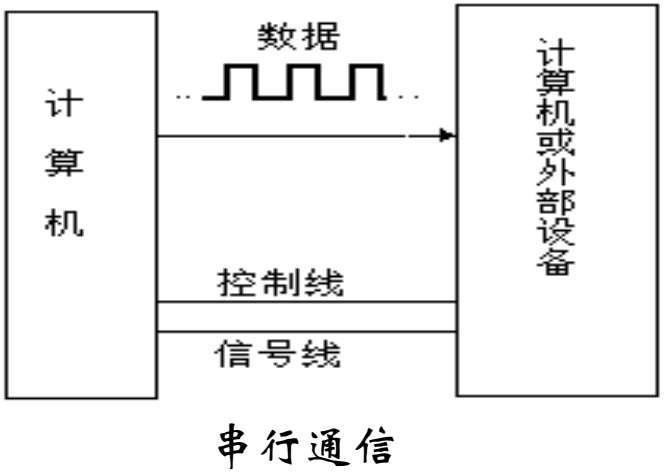


并行通信

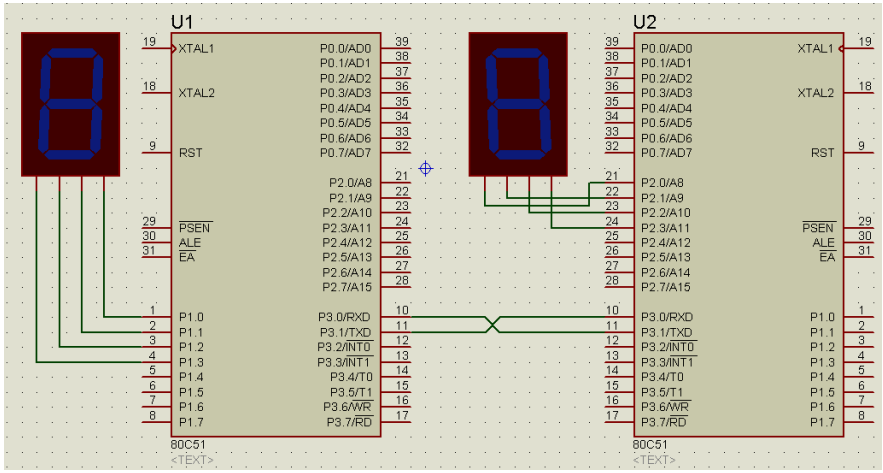


并行传送特点：逻辑清晰，控制简单，传送速度快，但因需要多根传输线，故一般只在近距离通信中使用。

(2) 串行方式——数据的各位依次逐位传送。



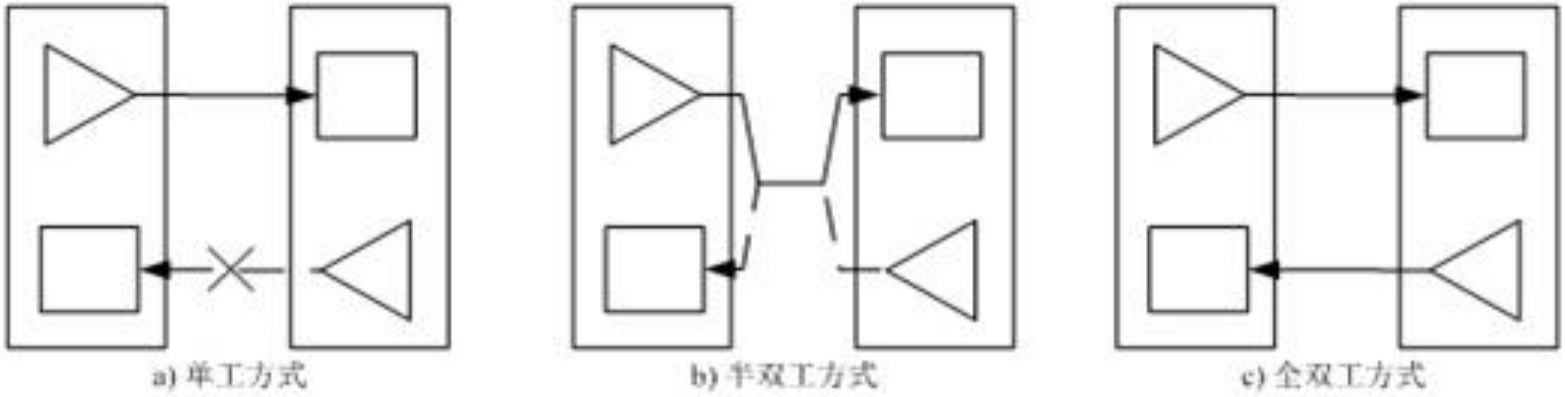
串行通信



串行传送特点：控制较并行传送复杂，传输速度慢，但因只需较少传输线，故适合于远距离通信。

2、单工、半双工、全双工

按照传输**数据流向**，串行通信具有3种传输形式：单工、半双工和全双工。



在**单工制式**下，通信线的一端为发送器（TXD），一端为接收器（RXD），数据只能按照一个固定的方向传送。

在**半双工制式**下，系统由一个TXD和一个RXD组成，但不能同时在两个方向上传送，收发开关由软件方式切换。

在全双工制式下，通信系统每端都有TXD和RXD，可以同时发送和接收，即数据可以在两个方向上同时传送。

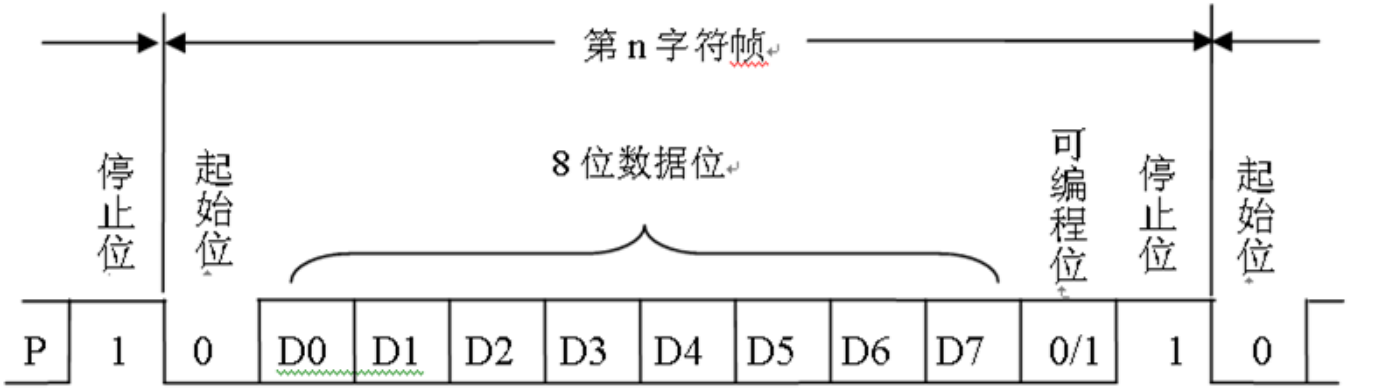
实际应用中，尽管多数串行通信接口电路具有全双工功能，但仍以半双工为主（简单实用）。

7.1.2　异步通信和同步通信

在串行数据通信中，有同步和异步两种基本方式。同步和异步的最本质区别在于通信双方是否采用相同的时钟源。

1．异步通信——以字符为单位组成字符帧进行的数据传送

数据以帧为单位进行传送。一帧数据由起始位、数据位、可编程校验位（可选）和停止位构成。帧和帧之间可以有任意停顿。



- 起始位：占1位，用于实现发送方和接收方之间的同步。当不进行数据通信时，通信线路保持高电平，当发送端准备向接收端传输数据时，首先发送起始位，即逻辑上的0电平，使得串行通信线路的电平由高变低，接收端在检测到这一电平变化后，可以准备接收数据。
- 数据位：可以是字符或数据，一般为5～8位，由低位到高位依次传送。
- 可编程校验位：占1位，是用户自定义的特征位，用于通信过程中数据差错的校验，或传送多机串行通信的联络信息。常用的差错校验方法有奇偶校验、和校验及循环冗余码校验。
- 停止位：占1位，位于数据位末尾，用于告知一帧结束，始终为高电平。数据传输结束后，发送端发送逻辑1，将通信线路再次置为高电平，表示一帧数据发送结束。

异步通信**特点**：

灵活,对收发双方的时钟精度要求较低（收发双方不同步时，能依靠在每帧开始时的不断对齐，自行纠正偏差）,适用于数据的发送和接收；传送速度较低（每个字节都要建立一次同步）。

STC89C52单片机只支持异步通信。

2．同步通信　　——数据以块为单位进行的数据传送



发送方先发送1-2个字节的同步字符，接收方检测到同步字符（一般由硬件实现）后，即准备接收后续的数据流。由于同步通信省去了字符开始和结束标志，而且字节和字节之间没有停顿，其速度高于异步通信。

同步通信**特点**：

数据成批传送;传输效率高（以数据块为单位连续传送，数据结构紧凑）；对通信硬件要求高（要求双方有准确的时钟）。



- 7.1.3 波特率

  波特率是表征串行通信数据传输快慢的物理量。

  波特率：每秒发送二进制数码的位数，即bps（位/秒）

  常用波特率：50、110、300、600、1200、2400、4800、9600、19200、38400波特等。

  串行通信的收发双方必须采用相同的波特率。

发送/接收时钟频率与波特率有关，即

$$f_{T/R}=n\times BR_{T/R}$$

式中，$f_{T/R}$为收发时钟频率，单位为Hz；$BR_{T/R}$为收发波特率；n为波特率因子。同步通信n=1。异步通信n可取1、16或64。也就是说，同步通信中数据传输的波特率即为同步时钟频率，而异步通信中，**收发时钟频率**可为波特率的整数倍。

7.1 串行通信概述

7.2 串行口的结构

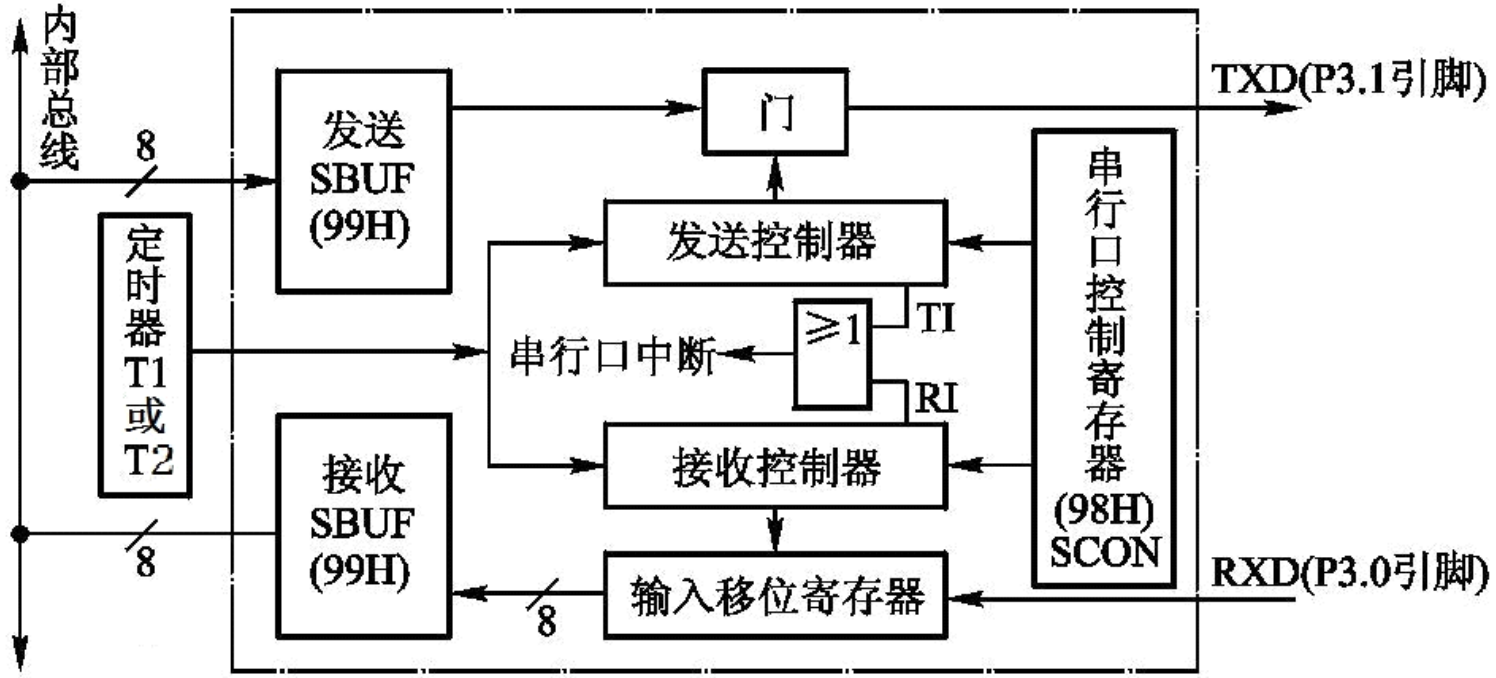
7.3 串行口的四种工作方式

7.4 波特率的设定与计算

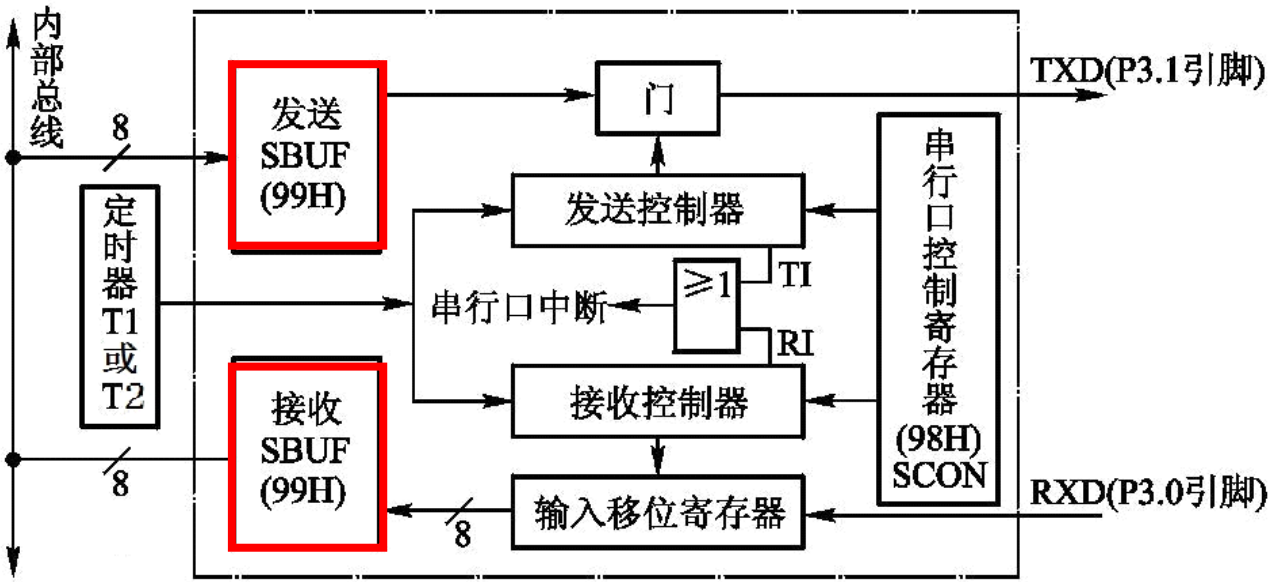
7.5 STC89C52单片机之间的通信

7.6 PC与单片机间的通信

- 7.2 串行口的结构



STC89C52RC单片机内部集成有一个可编程的全双工的异步通信串行口，可以作为通用异步接收/发送器（**UART**），也可作为同步移位寄存器使用。



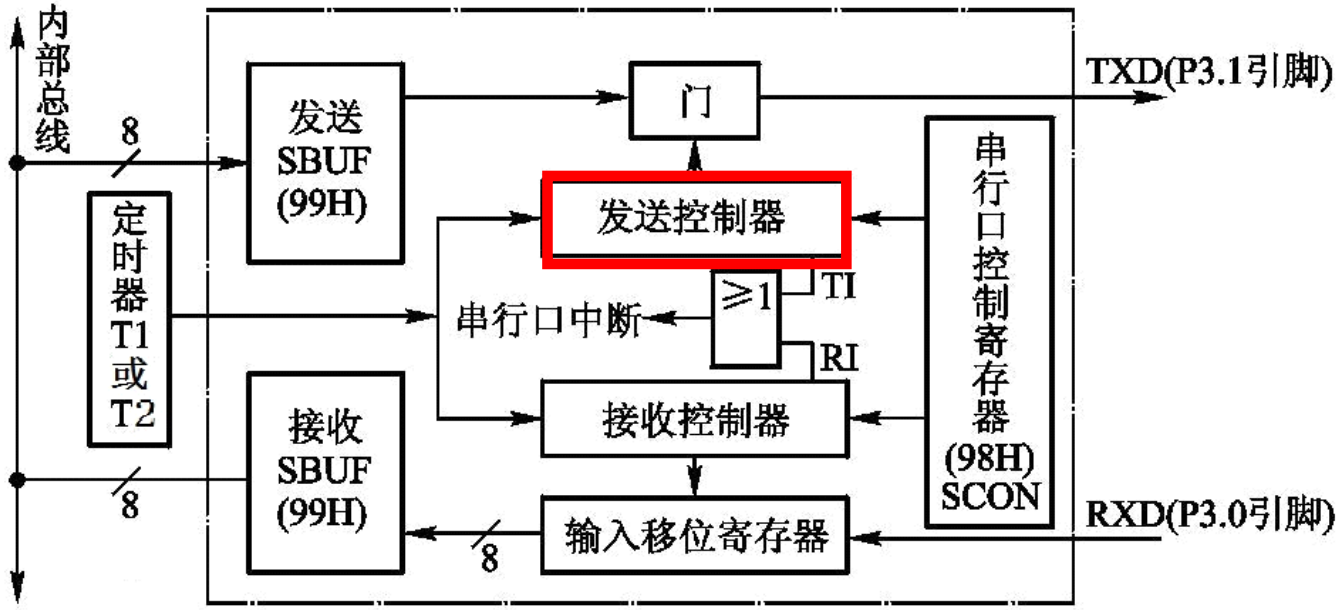
2个数据缓冲器SBUF在物理上是相互独立的，一个用于发送数据、另一个用于接收数据。2个SBUF共用一个地址（99H），通过读写指令区别是对哪个SUBF的操作。

C51:

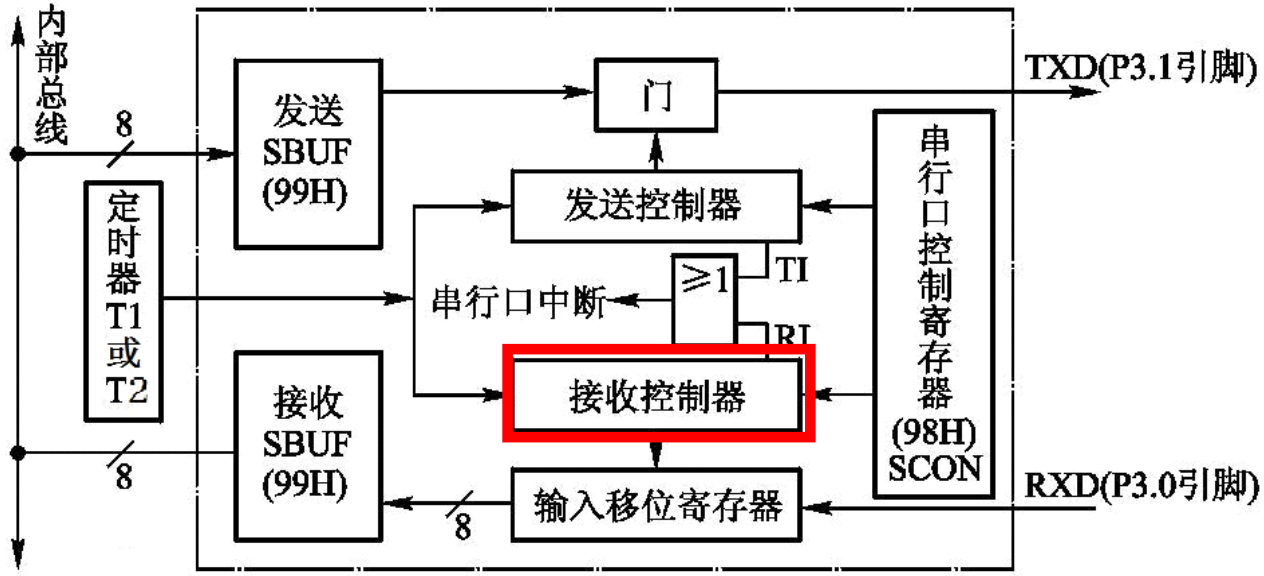
```
uchar counter;   待发送存放变量
…
SBUF = counter; 完成一次数据发送
…
counter = SBUF; 完成一次数据接收
```

汇编：

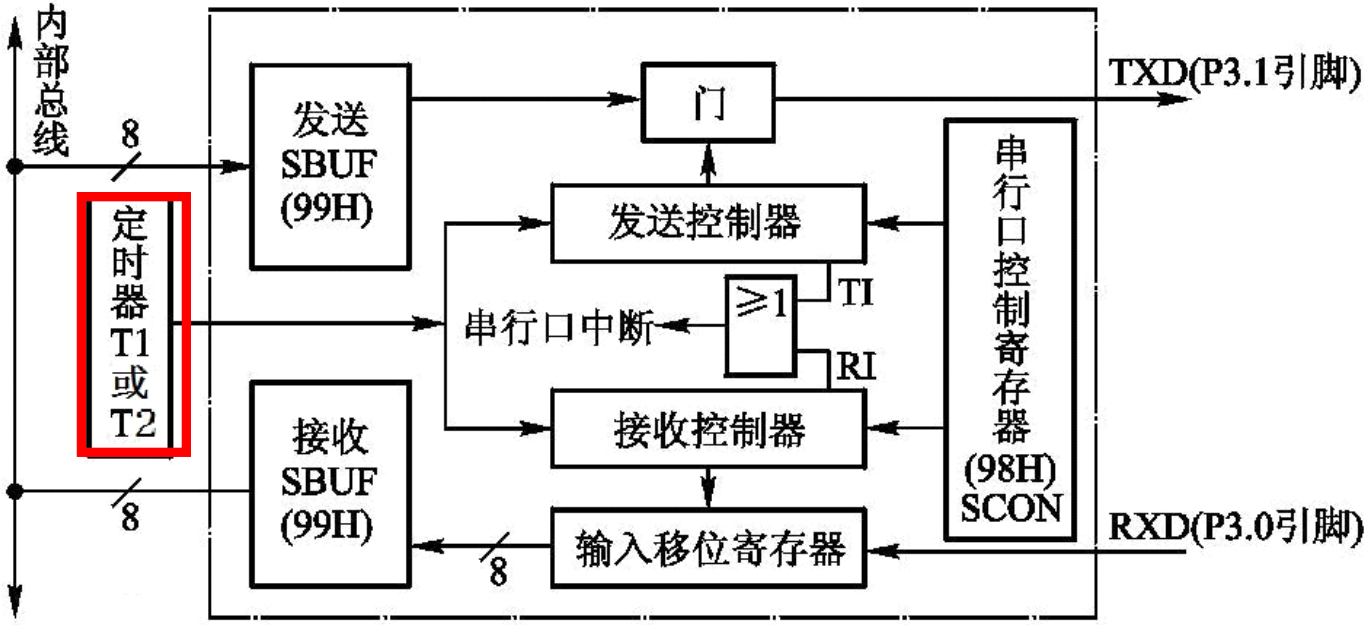
```
MOV   SBUF, #DATA;完成一次数据发送
…

MOV A, SBUF      ; 完成一次数据接收
…
```



发送控制器的作用是在门电路和定时器T1或T2的配合下，将发送缓冲器SBUF中的并行数据转为串行数据，并自动添加起始位、可编程位、停止位。这一过程结束后自动使发送中断请求标志位TI置1，用以通知CPU已将发送缓存器SBUF发中的数据输出到了TXD引脚。



接收控制器的作用是在输入移位寄存器和定时器T1或T2的配合下,使来自RXD引脚的串行数据转为并行数据，并自动过滤掉起始位、可编程位、停止位。这一过程结束后自动使接收中断请求标志位RI置1，用以通知CPU接收的数据已存入接收缓冲器SBUF。



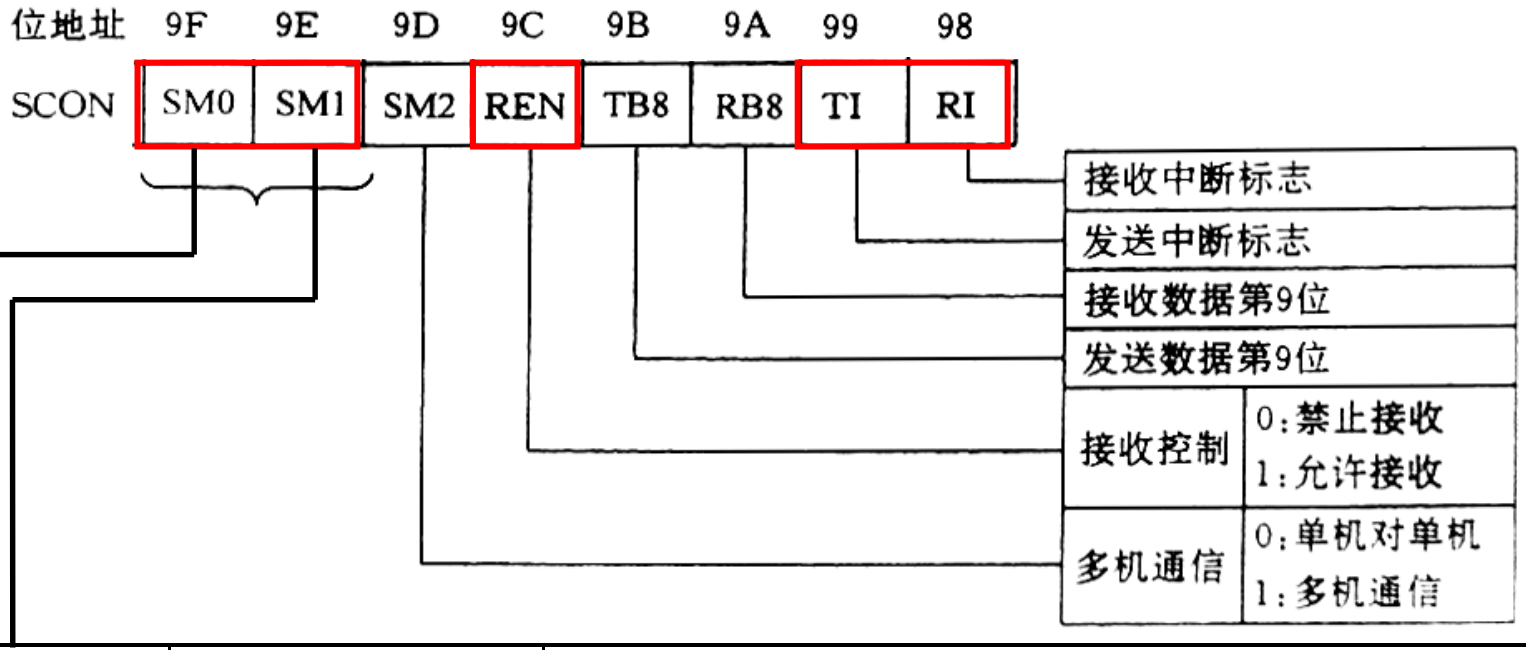
STC89C52串行通信以**定时器T1或定时器T2**作为波特率信号发生器，其溢出脉冲经过分频单元后送到收、发控制器中。

RXD（P3.0）和TXD（P3.1）用于串行信号或时钟信号的传入或传出。

7.2.2 串行口特殊功能寄存器

与STC89C52单片机串行口控制有关的特殊功能寄存器有4个，分别是串行口控制寄存器SCON、电源控制寄存器PCON、从机地址控制寄存器SADEN和SADDR。

1.串口控制寄存器 SCON（98H）



SM0 SM1	方 式	功 能 说 明
0 0	0	同步移位寄存器方式（用于扩展 I/O 口）
0 1	1	10 位异步收发，波特率可变（由定时器控制）
1 0	2	11 位异步收发，波特率为 $f_{osc}/64$ 或 $f_{osc}/32$
1 1	3	11 位异步收发，波特率可变（由定时器控制）

（1）SM0/FE：当PCON寄存器的SMOD0/PCON.6为1时，该位用于帧错误检测。当检测到一个无效停止位时，通过UART接收器设置该位。FE必须由软件清“0”。

当PCON寄存器的SMOD0/PCON.6为0时，SM0与SM1一起用来选择串行口的工作。

（2）SM2:多机通信控制位

多机通信在方式2和方式3下进行。当串口以方式2或方式3接收时，如果SM2=1，则只有当接收到的第9位数据（RB8）为1时，才使RI置1，产生中断请求，并将接收到的前8位数据送入SBUF。当接收到的第9位数据（RB8）为0时，则将接收到的前8位数据丢弃。

当SM2=0时，则不论第9位数据是1还是0，都将前8位数据送入SBUF中，并使RI置1，产生中断请求。

即：SM2=1时，若RB8=1，使RI=1，数据有效，

若RB8=0,数据无效，丢弃。

SM2=0时，无论RB8=0或1，使RI=1，数据接收到SBUF中

在方式1时，如果SM2=1，则只有收到有效的停止位时才会激活RI。　　在方式0时，SM2必须为0。

（3）REN:允许串行接收位 。

由软件置1或清0。

REN=1　　允许串行口接收数据。

REN=0　　禁止串行口接收数据。

（4）TB8:发送的第9位数据。

方式2和方式3，TB8是要发送的第9位数据，其值由软件置1或清0。在双机串行通信时，一般作为奇偶校验位使用；在多机串行通信中用来表示主机发送的是地址帧还是数据帧，TB8=1为地址帧，TB8=0为数据帧。

在方式0和1中，不使用TB8。

（5）RB8:接收的第9位数据。

方式2和方式3，RB8存放接收到的第9位数据。

在方式1，如SM2=0，RB8是接收到的停止位;在方式0，不使用RB8。

（6）TI:发送中断标志位

方式0，串行发送的第8位数据结束时TI由硬件置1，在其他方式中，串行口发送停止位的开始时置TI为1。TI=1，表示一帧数据发送结束。TI的状态可供软件查询，也可申请中断。CPU响应中断后，在中断服务程序中向SBUF写入要发送的下一帧数据。

TI必须由软件清“0”。

（7）RI:接收中断标志位

方式0时，接收完第8位数据时，RI由硬件置1。在其他工作方式中，串行接收到停止位时，该位置1。RI = 1，表示一帧数据接收完毕，并申请中断，要求CPU从接收SBUF取走数据。该位的状态也可供软件查询。

RI必须由软件清“0”。

对TI、RI有以下三点需要特别注意：

（1）可通过查询TI、RI判断数据是否发送、接收结束。

（2）串行口是否向CPU提出中断请求取决于TI与RI进行相“或”运算的结果，即当TI=1，或RI=1，或TI、RI同时为1时，串行口向CPU提出中断申请。因此，当CPU响应串行口中断请求后，首先需要使用指令判断是RI=1还是TI=1,然后再进入相应的发送或接收处理程序。

（3）如果TI、RI同时为1，一般而言，需优先处理接收子程序。这是因为接收数据时CPU处于被动状态，虽然串口输入有双重输入缓冲，但是，如果处理不及时，仍然会造成数据重叠覆盖而丢失一帧数据，所以应当尽快处理接收的数据。而发送数据时CPU处于主动状态，完全可以稍后处理，不会发生差错。

2.电源控制寄存器PCON（第四章4.6节省电工作模式)

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
PCON	SMOD	SMOD0	-	POF	GF1	GF0	PD	IDL

仅**SMOD、SMOD0**与串口有关。

SMOD：波特率选择位。取**1**波特率加倍。

SMOD0：帧错误检测有效控制位。当**SMOD0=1**，**SCON**寄存器中的**SM0/FE**位用于**FE**（帧错误检测）功能；当**SMOD0=0**，**SCON**寄存器中的**SM0/FE**位用于**SM0**功能，与**SM1**一起指定串行口工作方式。复位时**SMOD0=0**。

3.从机地址控制寄存器SADEN和SADDR

为了方便多机通信，STC89C52单片机设置了从机地址控制寄存器SADEN和SADDR。其中SADEN是从机地址掩膜寄存器（地址为B9H，复位值为00H），SADDR是从机地址寄存器（地址为A9H，复位值为00H）。

返回cha7

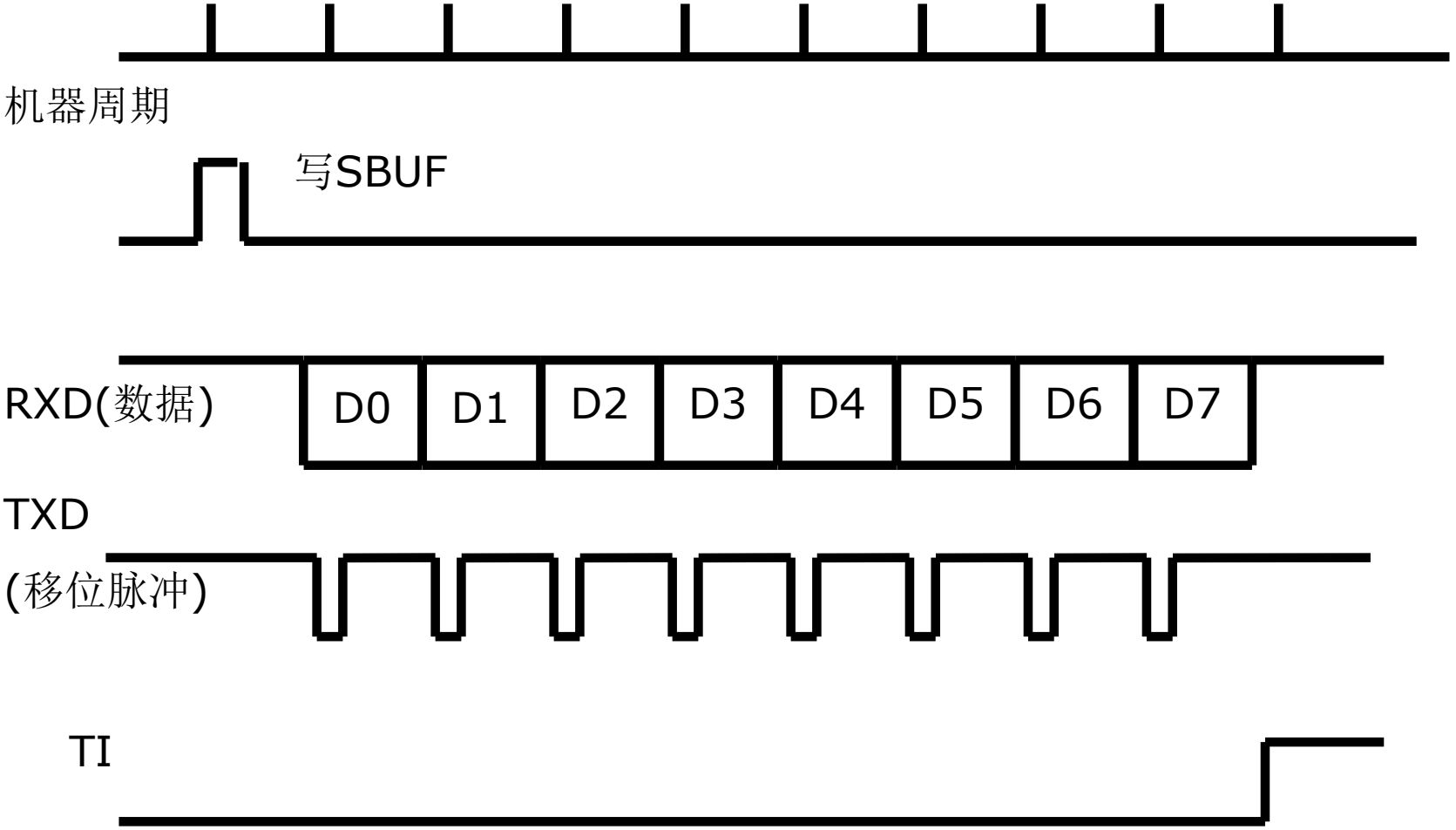
7.3　串行口的4种工作方式

7.3.1 方式0

——8位同步移位寄存器方式

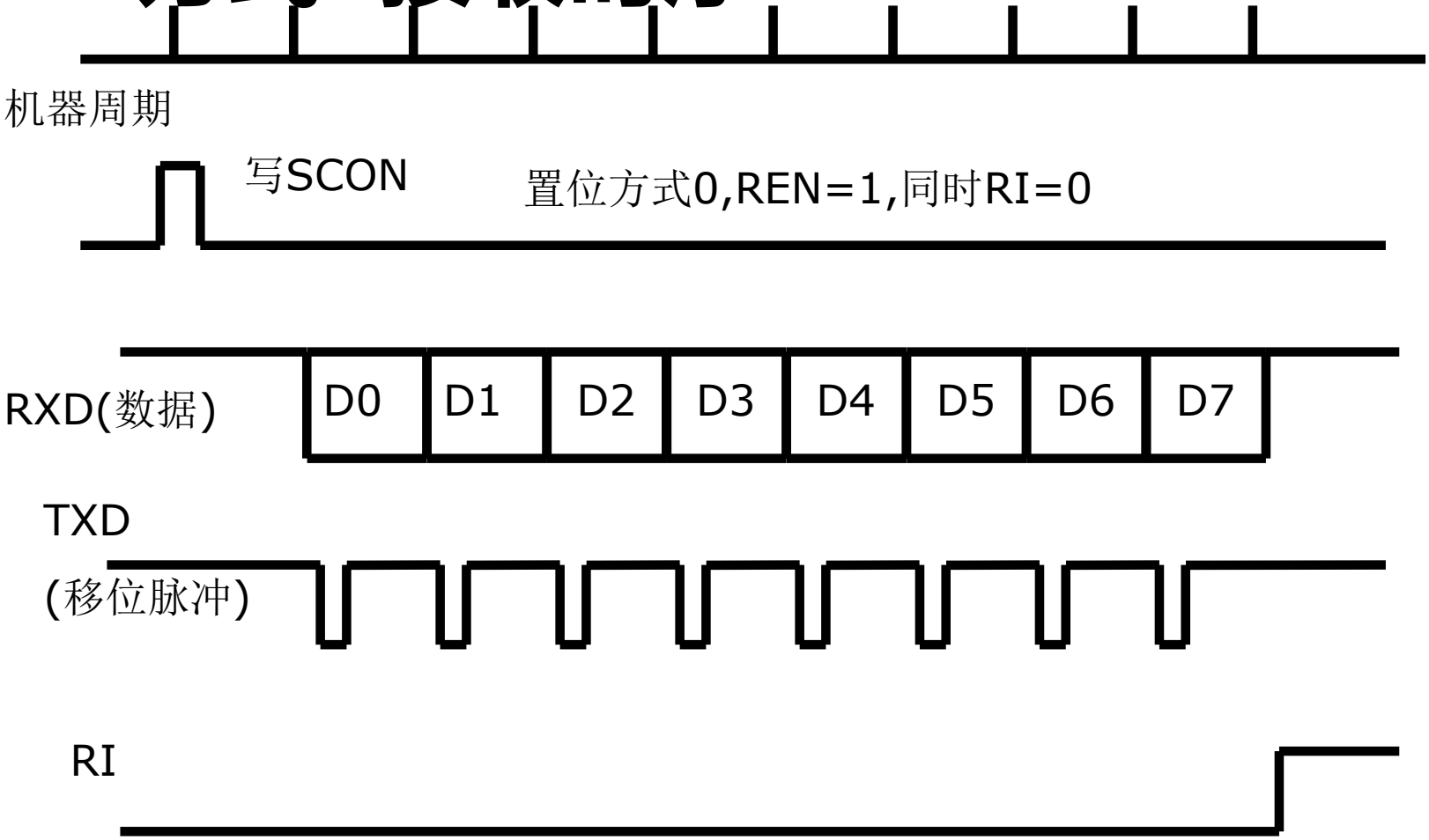
- 以**8**位数据为一帧，不设起始位和停止位，先发送或接收最低位。
- 当单片机工作在**6T**模式时，其波特率固定为$f_{CLK}/6$。当单片机工作在**12T**模式时，其波特率固定为$f_{CLK}/12$。
- 由**RXD**引脚输入或输出数据。
- **TXD**引脚输出$f_{CLK}/12$时钟信号（**12T**模式）。

方式0发送时序



方式0发送时，当CPU执行一条将数据写入发送缓冲器SBUF的指令时，产生一个正脉冲，串行口开始把SBUF中的8位数据以$f_{CLK}/12$或$f_{CLK}/6$的固定波特率从RXD引脚串行输出，低位在先，TXD引脚输出同步移位脉冲，发送完8位数据置位中断标志位TI。

方式0接收时序


机器周期
写SCON
置位方式0,REN=1,同时RI=0
RXD(数据)
D0
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
TXD
(移位脉冲)
RI

2. 方式0接收

当向SCON寄存器写入控制字时，产生一个正脉冲，串行口开始接收数据。接收器以$f_{CLK}/12$或$f_{CLK}/6$的固定波特率采样RXD引脚的数据信息，当接收完8位数据时，中断标志RI置1，表示一帧数据接收完毕，可进行下一帧数据的接收。

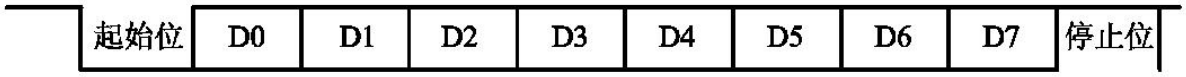
方式0主要用于**串并转换**（不是用于异步串行通信）

——I/O口数量不足时，可通过串口方式0进行扩展，但需要相应的扩展芯片配合。

扩展输出芯片：74LS164、CD4094、 … …
扩展输入芯片：74LS165、CD4014、… …

7.3.2 方式1

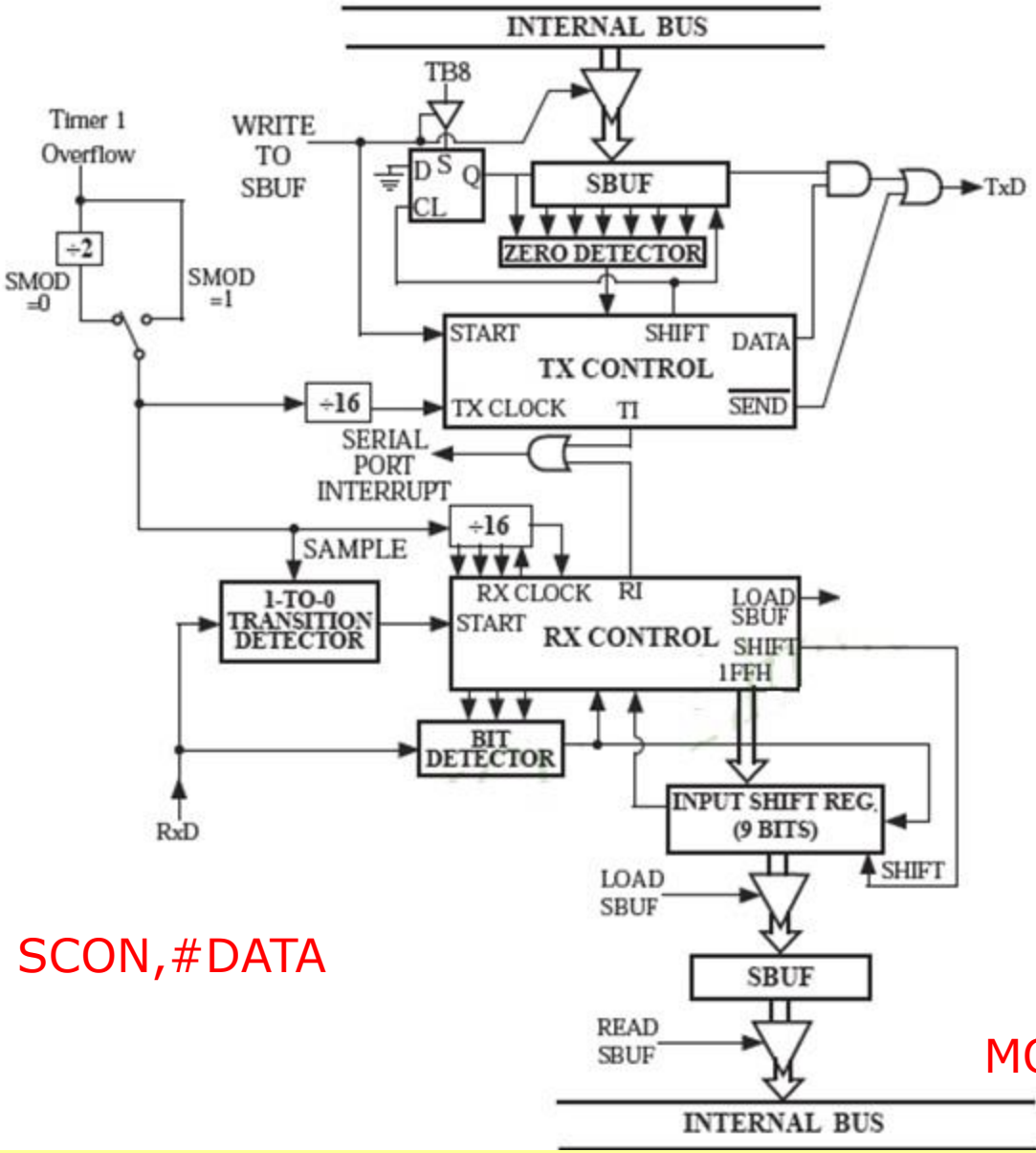
—— 10位异步收发通信模式



- 一帧信息 = 1个起始位(0)+8位数据位+1个停止位(1)
- 指定**T1或T2**为波特率时钟发生器，一般选择定时方式2。
- 发送数据由TXD输出，接收数据由RXD输入，初始化（RI、TI、REN、SM0、SM1）
- 方式1主要用于点对点（双机）通信。

1.方式1发送

当CPU执行一条写SBUF的指令，就启动发送。TX时钟的频率就是发送的波特率。发送开始时，内部发送控制信号变为有效，将起始位向TXD脚输出，此后每经过一个TX时钟周期，便产生一个移位脉冲，并由TXD引脚输出一个数据位。8位数据位全部发送完毕后，中断标志位TI置1。



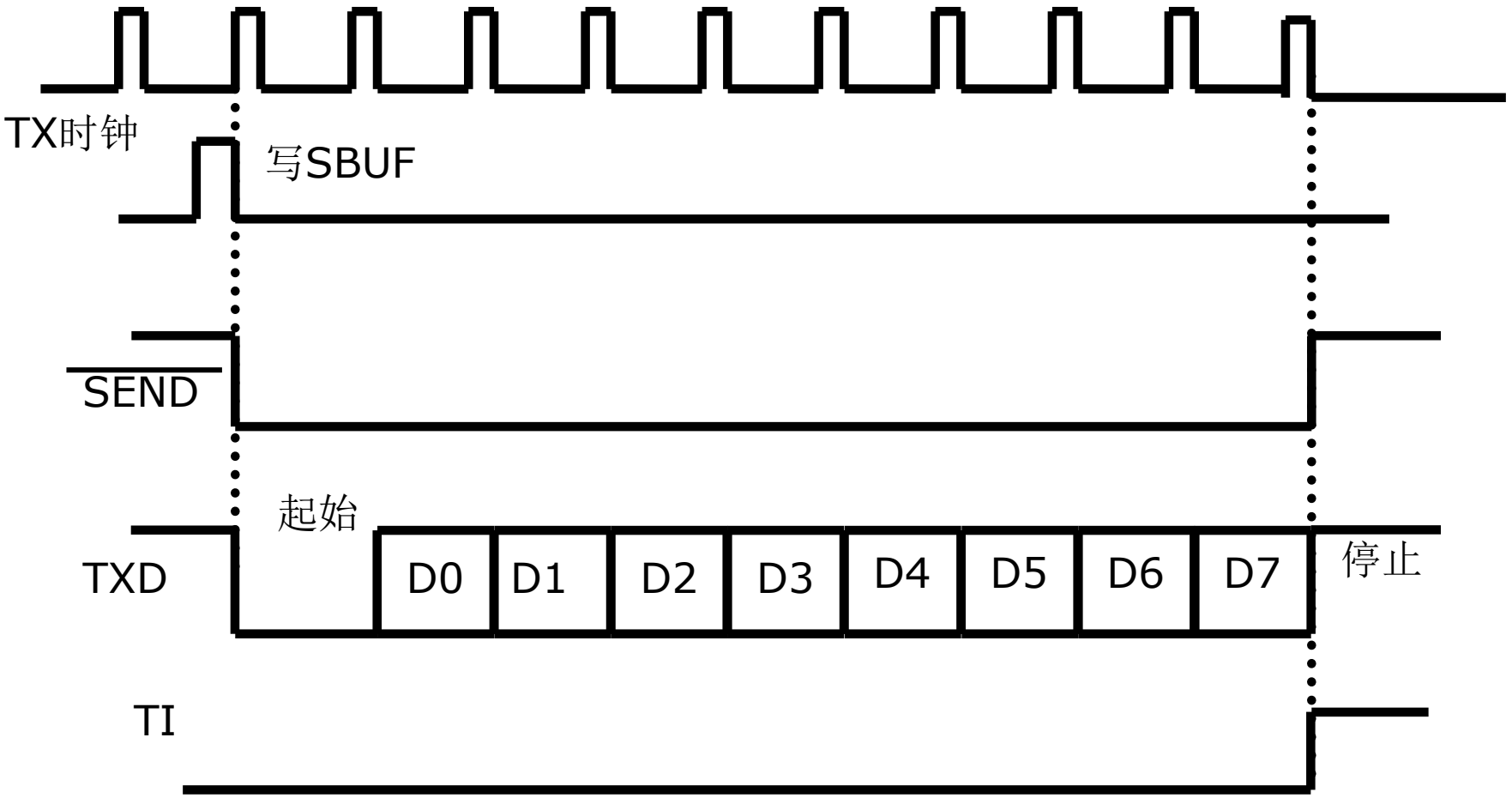
MOV SBUF,A

MOV SCON,#DATA

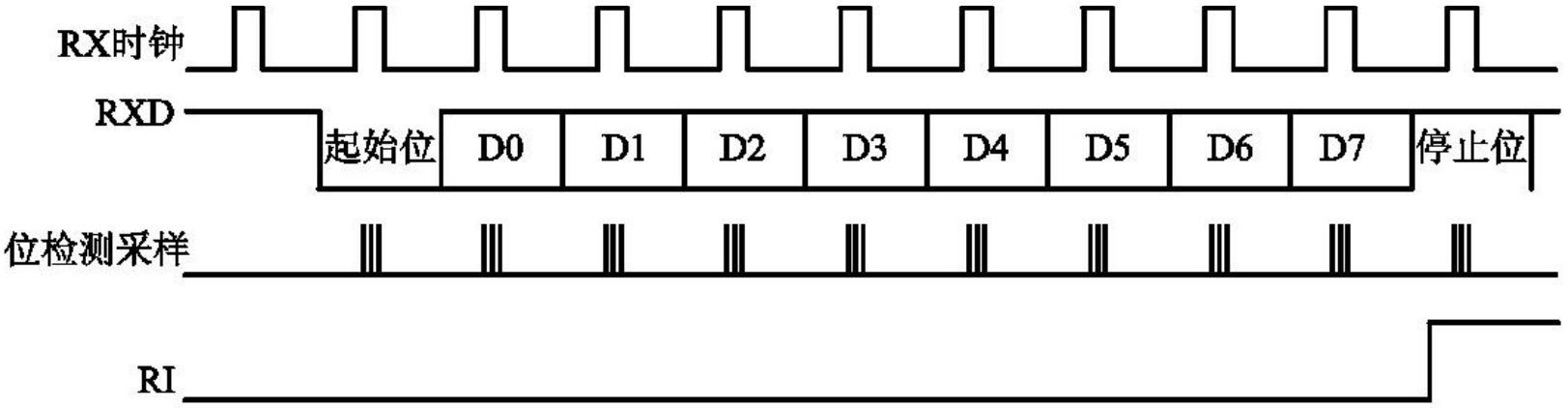
MOV A,SBUF

$$\text{波特率} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \text{定时器T1的溢出率或BRT独立波特率发生器的溢出率}$$

方式1发送时序



2．方式1接收



方式1接收时（REN = 1），数据从RXD（P3.1）引脚输入。当检测到起始位的负跳变，则开始接收。

接收时，定时控制信号有两种:一种是接收移位时钟（RX时钟），它的频率和传送的波特率相同;另一种是位检测器采样脉冲，频率是RX时钟的16倍。以波特率的16倍速率采样RXD脚状态。当采样到RXD端从1到0的负跳变时就启动检测器，接收的值是3次连续采样（第7、8、9个脉冲时采样）取两次相同的值，以确认起始位（负跳变）的开始，较好地消除干扰引起的影响。

当确认起始位有效时，开始接收一帧信息。每一位数据，也都进行3次连续采样（第7、8、9个脉冲采样），接收的值是3次采样中至少两次相同的值。当一帧数据接收完毕后，同时满足以下两个条件，接收才有效。

（1）RI=0，即上一帧数据接收完成时，RI=1发出的中断请求已被响应，SBUF中的数据已被取走，说明“接收SBUF”已空。

（2）SM2=0或收到的停止位=1（方式1时，停止位已进入RB8），则将接收到的数据装入SBUF和RB8（装入的是停止位），且中断标志RI置1。

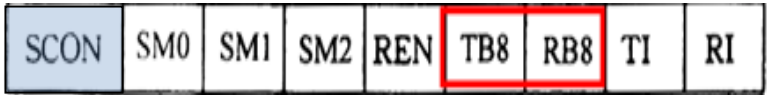
若不同时满足两个条件，收的数据不能装入SBUF，该帧数据将丢弃。

7.3.3 方式2和方式3

——11位数据异步通信方式



- 方式2和方式3的操作两种方式的共同点是发送和接收时具有**第9位数据**，正确运用**SM2（多机通信控制位）**能实现多机通信。不同点在于，方式2的波特率是固定的，而方式3的波特率由定时器T1或T2的溢出率决定。
- 一帧信息 = 1个起始位(0)+8位数据位+ 1个**可编程位**(P) +1个停止位(1) 。

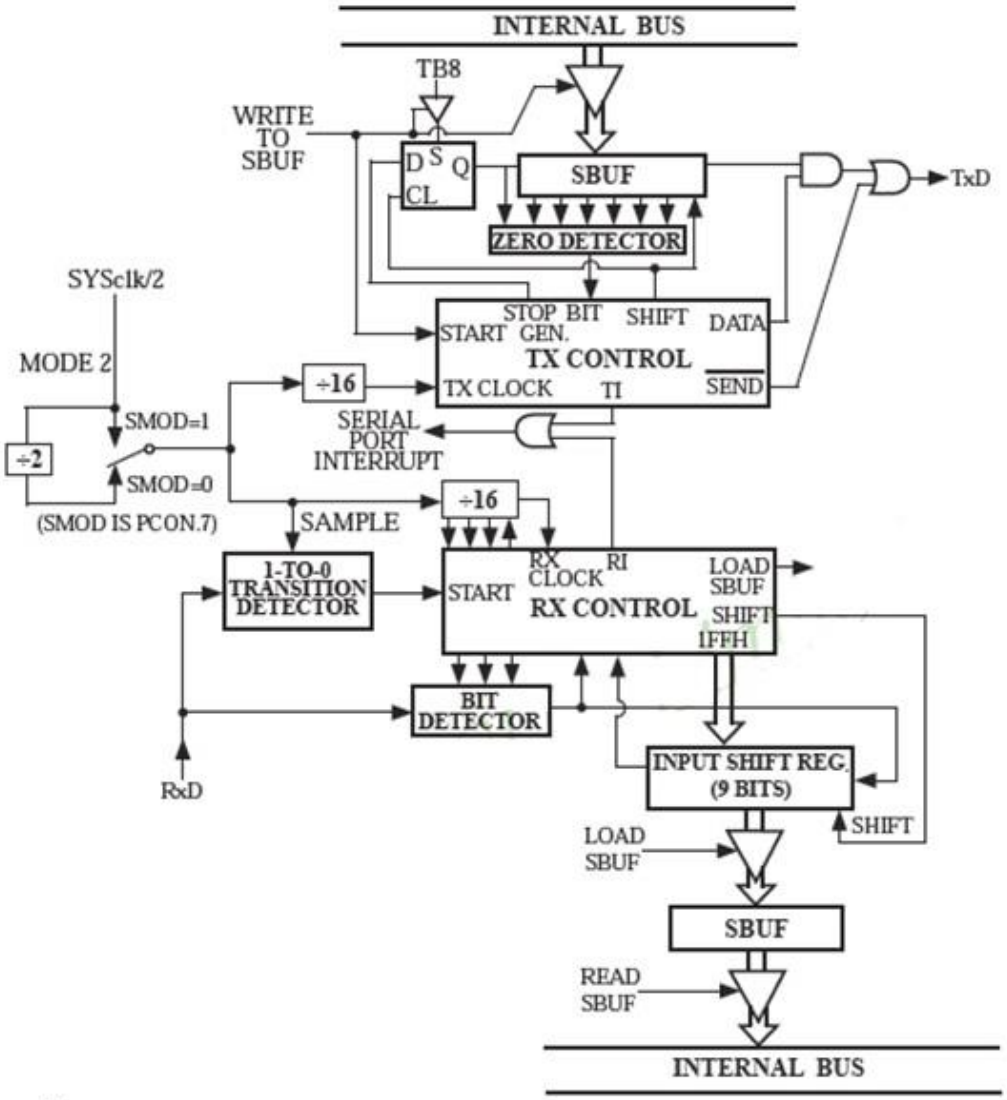


- 可编程位的作用——用于**奇偶校验**或**多机通信标识**。

TB8既可作为多机通信地址帧或数据帧的标识位（如地址帧可约定为“1”，数据帧时为0。），也可作为数据的奇偶校验位。

发送时由**硬件方式**将TB8作为可编程位插入数据帧中。

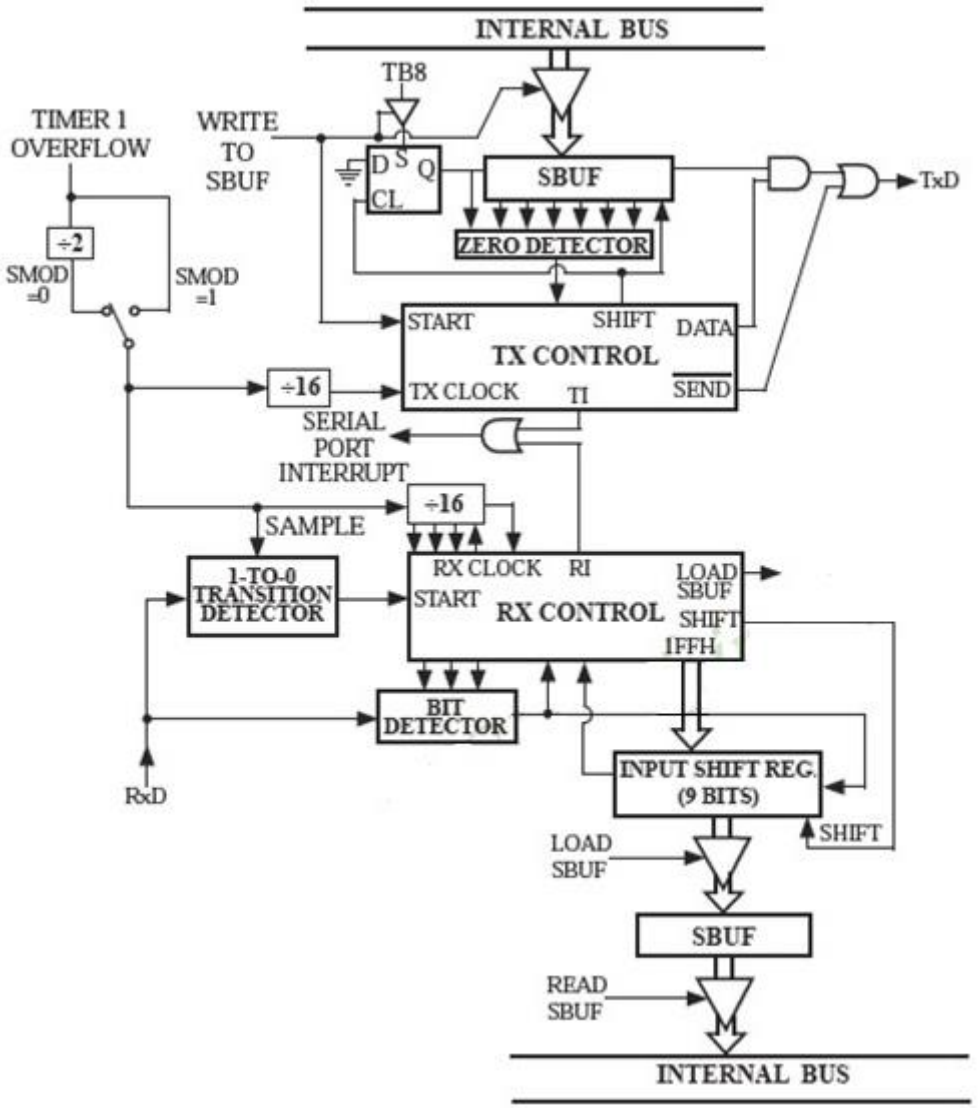
接受时由**硬件方式**将数据帧的可编程位存入RB8中。



方式2和方式1相比，除波特率发生源略有不同，发送时由TB8提供给移位寄存器第9位数据不同外，其余功能结构均基本相同，发送/接收数据过程及时序基本相同。

$$\text{方式2波特率} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{64} \times f_{CLK}$$

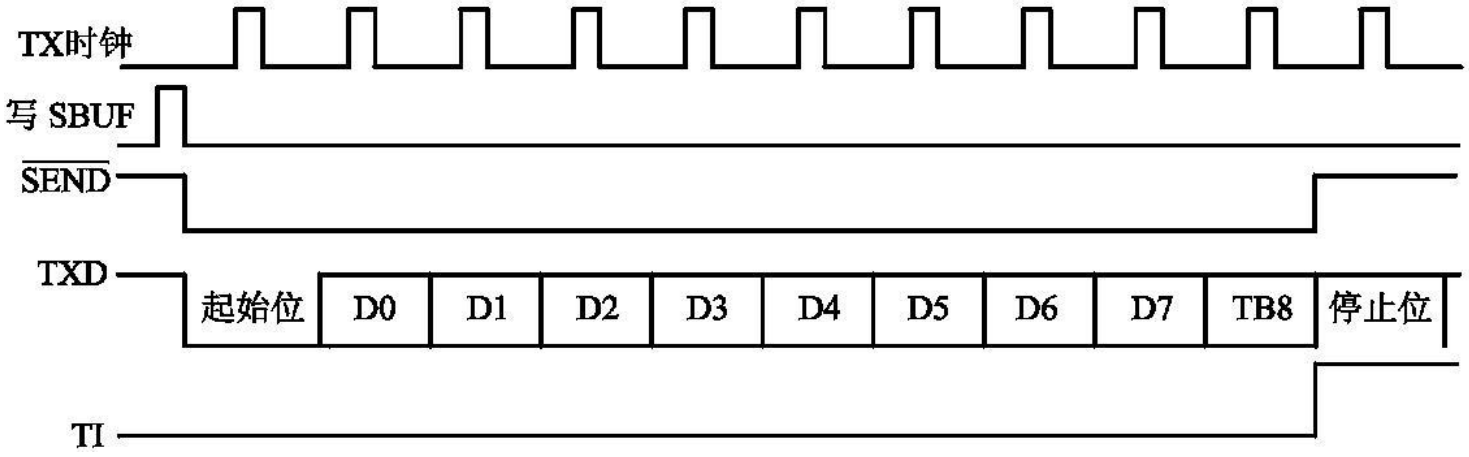
方式2功能结构示意图



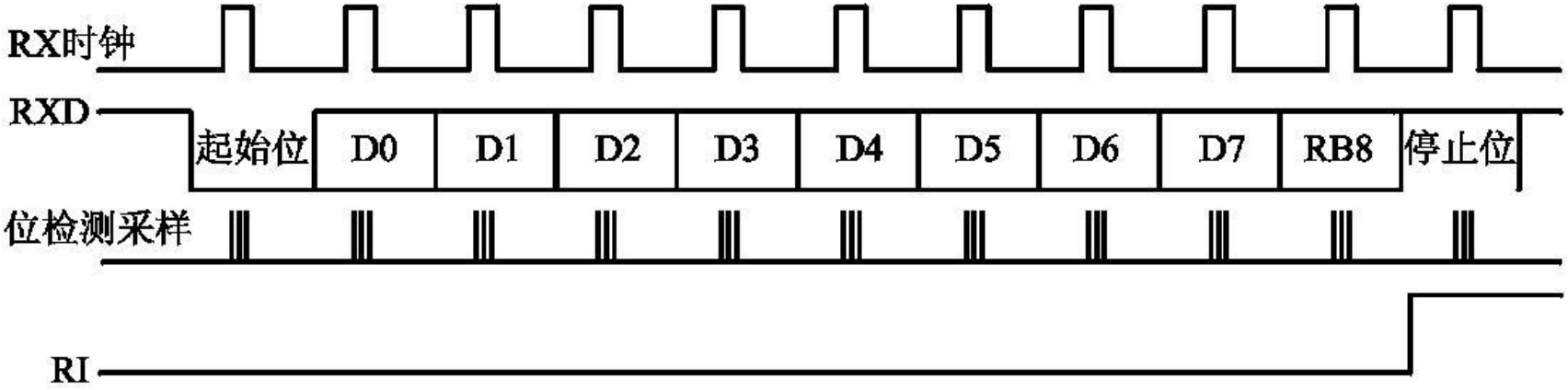
方式3功能结构示意图

$$\text{波特率} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \text{定时器T1的溢出率或BRT独立波特率发生器的溢出率}$$

1. 方式2和方式3发送



2. 方式2和方式3接收



SM0、SM1=10，且REN = 1时，以方式2接收数据。数据由RXD端输入，接收11位信息。当位检测逻辑采样到RXD的负跳变，判断起始位有效，便开始接收一帧信息。在接收完第9位数据后，需满足以下两个条件，才能将接收到的数据送入SBUF（接收缓冲器）。

（1）RI=0，意味着接收缓冲器为空。

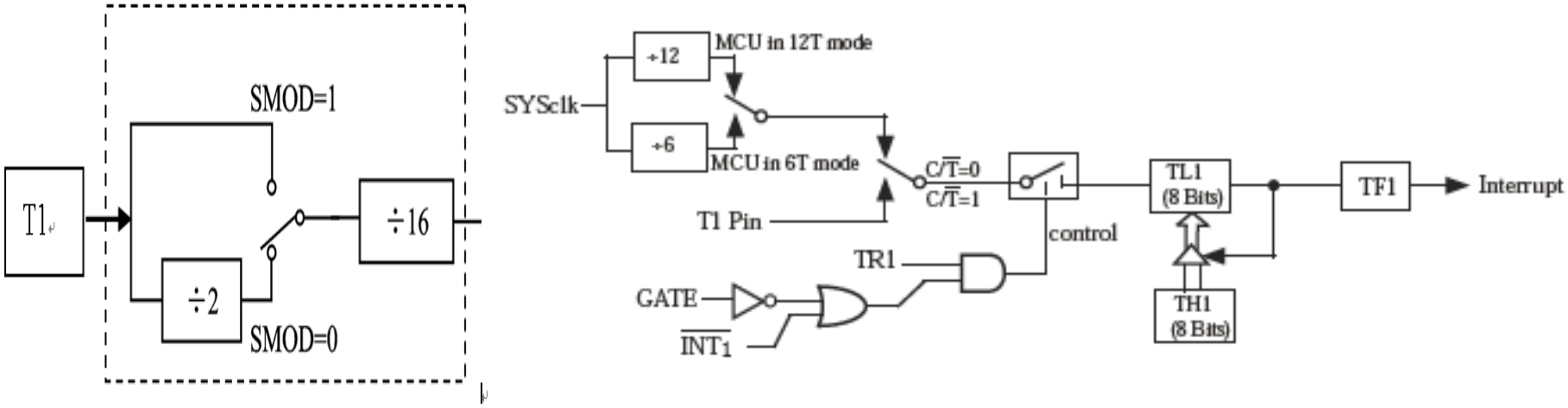
（2）SM2=0或接收到的第9位数据位RB8=1。

当满足上述两个条件时，收到的数据送接收SBUF，第9位数据送入RB8，且RI置1。若不满足这两个条件，接收的信息将被丢弃。

7.1 串行通信概述
7.2 串行口的结构
7.3 串行口的四种工作方式
7.4 波特率的设定与计算
7.5 STC89C52单片机之间的通信
7.6 PC与单片机间的通信

7.4 波特率的设定与计算

在串行通信中，收发双方必须采用相同的通讯速率，即波特率。STC89C52单片机串行通信以定时器T1和定时器T2作为波特率信号发生器，其溢出脉冲经过分频单元后送到收、发控制器中。分频单元的内部结构如下图。



1．方式0

波特率与系统时钟频率f_{CLK}有关。一旦系统时钟频率选定且在STC-ISP编程器中设置好，方式0的波特率固定不变。

当用户在烧录用户应用程序时STC-ISP编程器中设置单片机为6T/双倍速时，其波特率为f_{CLK}的1/6。

若设置单片机为12T/单倍速时，其波特率为f_{CLK}的1/12。

2. 方式2

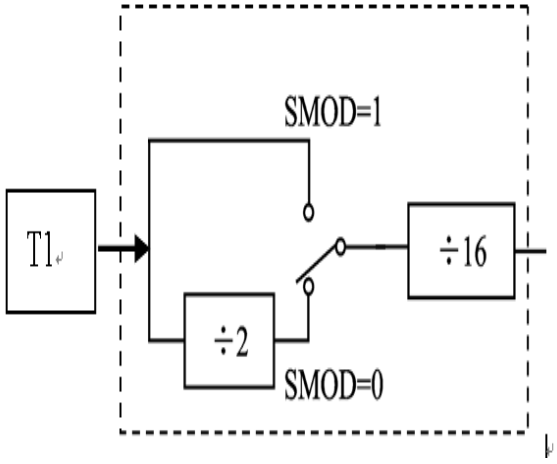
波特率与系统时钟频率、SMOD位的值有关。其计算公式为

$$方式2波特率 = \frac{2^{SMOD}}{64} \times f_{CLK}$$

3. 方式1和方式3

串行口工作在方式1或方式3时，波特率设置方法相同，采用定时器T1或定位器T2作为波特率发生器。其计算公式为

$$\text{波特率} = \frac{2^{\text{SMOD}}}{32} \times \text{定时器T1的溢出率或定时器T2的溢出率}$$



T1溢出脉冲可有两种分频路径，即16分频或32分频，SMOD是决定分频路径的逻辑开关。

T1溢出率取决于计数速率和定时器的预置值

计数速率与C/T（TMOD)的状态有关
C/T=0，计数速率= $f_{clk}/12$
C/T=1,计数速度取决于外部输入时钟频率

当定时器T1作波特率发生器使用时，通常是选用自动重装载方式。在方式2中，TL1作计数用，而自动重装载的值放在TH1内。

设计数初值为X, 那么每过“256 – X”个机器周期，T1产生一次溢出。

当单片机工作在12T模式时：

$$\text{定时器T1的溢出率} = \frac{1}{\text{溢出周期}} = \frac{1}{(256 - X) \times T_{cy}} = \frac{f_{CLK}}{12 \times (256 - X)}$$

$$\text{波特率} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \text{定时器T1的溢出率或定时器T2的溢出率}$$

$$\text{波特率} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{f_{CLK}}{12 \times (256 - X)}$$

此时，波特率随 、SMOD和初值X而变化。解出时间常数装载值为：

$$X = 256 - \frac{f_{CLK} \times (SMOD + 1)}{384 \times \text{波特率}}$$

实际使用时，经常根据已知波特率和时钟频率来计算T1、T2的初值。

表 7-2　　用定时器 T1 产生的常用波特率

波 特 率	f_{CLK}=12MHz		f_{CLK}=11.0592 MHz	
	SMOD	TH1/TL1	SMOD	TH1/TL1
19.2 kbps	1	FCH	1	FDH
9.6 kbps	1	F9H	0	FDH
4.8 kbps	1	F3H	0	FAH
2.4 kbps	0	F3H	0	F4H
1.2 kbps	0	E6H	0	E8H

在使用时钟振荡频率 为12MHz时，将初值X和带入公式计算出的波特率有一定误差。为减小波特率误差，可使用的时钟频率为11.0592MHz或22.1184MHz，此时定时初值为整数。

设置波特率的常用初始化片断如下：

```
MOV   TMOD,#20H        ;设置定时器T1工作在方式2
MOV   TH1,#XXH         ;装载定时初值
MOV   TL1,#XXH
SETB  TR1              ;开启定时器T1
MOV   PCON,#80H         ;波特率倍增
MOV   SCON,#50H         ;设置串行口工作在方式1
```

【例7-4】若STC89C52单片机系统时钟频率f_{CLK}为11.0592MHz，工作在12T模式，采用T1定时器工作在方式2作为波特率发生器，波特率为2400波特，求初值。

解：取SMOD=0。

将已知条件带入公式

$$X = 256 - \frac{f_{CLK} \times (SMOD + 1)}{384 \times 波特率}$$

解得X=244=F4H。另查表也可得。

本章重点

1、实际应用中，多数串行通信接口电路具有全双工功能，但仍以半双工为主。

2、STC89C52单片机只支持异步通信。

3、方式0，由RXD引脚输入或输出数据。TXD引脚输出fCLK/12时钟信号（12T模式）。

4、发送SBUF和接收SBUF物理上相互独立，但共用同一个地址。

5、发送时，当CPU执行一条将数据写入发送缓冲器SBUF的指令时，产生一个正脉冲。接收时，当向SCON寄存器写入控制字时，产生一个正脉冲，串行口开始接收数据。

6、如果TI、RI同时为1，一般而言，需优先处理接收子程序。

7、波特率的设定和计算公式，初值的计算。

8、串口工作的初始化程序。