

第3章 串行通信

随着计算机系统的应用和微机网络的发展,通信功能显得越来越重要。这里所说的通信是指计算机与外界的信息交换。因此,通信既包括计算机与外部设备之间,也包括计算机和计算机之间的信息交换。通信的基本方式有并行通信和串行通信两种,如图 3.1 所示。

一条信息的各位数据被同时传送的通信方式称为并行通信。并行通信的特点是:各数据位同时传送,传送速度快、效率高,但有多少数据位就需要多少根数据线,因此传送成本高,且只适用于近距离(相距数米)的通信。

一条信息的各位数据被逐位按顺序传送的通信方式称为串行通信。串行通信的特点是:数据位传送,传按位顺序进行,最少只需一根传输线即可完成,成本低但传送速度慢。串行通信的距离可以从几米到几千米。

由于串行通信是在一根传输线上一位一位地地传送信息,所用的传输线少,并且可以借助现成的网络进行信息传送,因此,特别适合于远距离传输。对于那些与计算机相距不远的人-机交互设备或者串行存储的外部设备如终端、打印机、逻辑分析仪、磁盘等,采用串行方式交换数据也很普遍。在实时控制和管理方面,采用多台嵌入式系统组成分级分布控制系统中,各 CPU 之间的通信一般都是串行方式。所以串行接口是嵌入式系统常用的接口。

许多外设和计算机按串行方式进行通信,这里所说的串行方式,是指外设与接口电路之间的信息传送方式,实际上,CPU 与接口之间仍按并行方式工作。

所谓“串行通信”是指外设和计算机或者嵌入式处理器间使用一根数据信号线(另外需要地线,可能还需要控制线),数据在一根数据信号线上一位一位地进行传输,每一位数据都占据一个固定的时间长度,如图 3.2 所示。这种通信方式使用的数据线少,在远距离通信中可以节约通信成本,当然,其传输速度比并行传输慢。

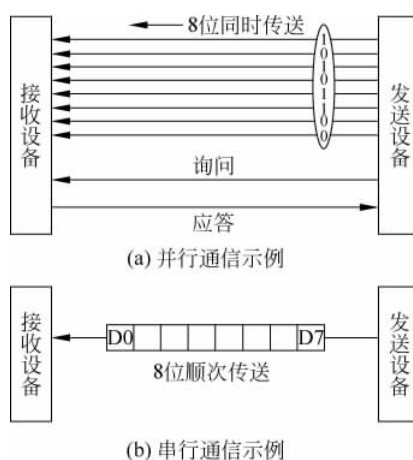


图 3.1 并行通信与串行通信

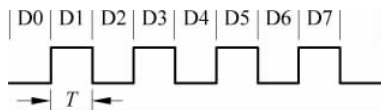


图 3.2 串行通信方式

3.1 串行通信的分类

串行通信常用的基本方式包括同步通信和异步通信。

3.1.1 同步串行通信

同步通信(SYNC)是指在约定的通信速率下,发送端和接收端的时钟信号频率和相位始终保持一致(同步),这样就保证了通信双方在发送和接收数据时具有完全一致的定时关系,如图 3.3 所示。

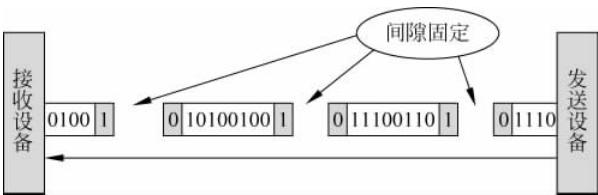


图 3.3 同步通信方式

同步通信把许多字符组成一个信息组(信息帧),每帧的开始用同步字符来指示,一次通信只传送一帧信息。在传输数据的同时还需要传输时钟信号,以便接收方可以用时钟信号来确定每个信息位。

同步通信的优点是传送信息的位数几乎不受限制,一次通信传输的数据有几十到几千个字节,通信效率较高。同步通信的缺点是要求在通信中始终保持精确的同步时钟,即发送时钟和接收时钟要严格同步(常用的做法是两个设备使用同一个时钟源)。

在后续的串口通信与编程中将只讨论异步通信方式,所以在这里就不对同步通信做过多的赘述了。

3.1.2 异步串行通信

异步通信(ASYNC),又称为起止式异步通信,是以字符为单位进行传输的,字符之间没有固定的时间间隔要求,而每个字符中的各位则以固定的时间传送,如图 3.4 所示。

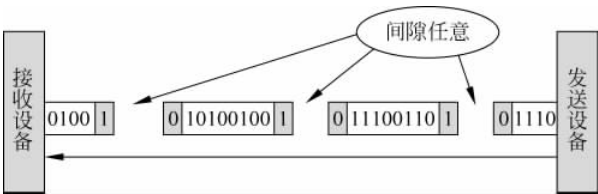


图 3.4 异步通信方式

在异步通信中,收发双方取得同步是通过在字符格式中设置起始位和停止位的方法来实现的。具体来说就是,在一个有效字符正式发送之前,发送器先发送一个起始位,然后发送有效字符位,在字符结束时再发送一个停止位,起始位至停止位构成一帧。停止位至下一

个起始位之间是不定长的空闲位,并且规定起始位为低电平(逻辑值为0),停止位和空闲位都是高电平(逻辑值为1),这样就保证了起始位开始处一定会有一个下跳沿,由此就可以标志一个字符传输的起始。而根据起始位和停止位也就很容易地实现了字符的界定和同步。

显然,采用异步通信时,发送端和接收端可以由各自的时钟来控制数据的发送和接收,这两个时钟源彼此独立,可以互不同步。

3.2 串行通信的基本传送方式

在串行通信中,数据通常是在两个站(如终端和微机)之间进行传送,按照数据流的方向可分成三种基本的传送方式:全双工、半双工和单工。但单工目前已很少采用,下面仅介绍前两种方式。

3.2.1 全双工方式

当数据的发送和接收分流,分别由两根不同的传输线传送时,通信双方都能在同一时刻进行发送和接收操作,这样的传送方式就是全双工制,如图3.5所示。在全双工方式下,通信系统的每一端都设置了发送器和接收器,因此能控制数据同时在两个方向上传送。全双工方式无须进行方向的切换,因此,没有切换操作所产生的时间延迟,这对那些不能有时间延误的交互式应用(如远程监测和控制系统)十分有利。这种方式要求通信双方均有发送器和接收器,同时,需要两根数据线传送数据信号。可能还需要控制线和状态线以及地线。

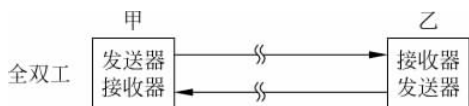


图 3.5 全双工数据传输

例如,计算机主机用串行接口连接显示终端,而显示终端带有键盘。这样,一方面键盘上输入的字符送到主机内存;另一方面,主机内存的信息可以送到屏幕显示。通常,从键盘输入一个字符以后,先不显示,计算机主机收到字符

后,立即回送到终端,然后终端再把这个字符显示出来。这样,前一个字符的回送过程和后一个字符的输入过程是同时进行的,即工作于全双工方式。

3.2.2 半双工方式

若使用同一根传输线既接收又发送,虽然数据可以在两个方向上传送,但通信双方不能同时收发数据,这样的传送方式就是半双工制,如图3.6所示。采用半双工方式时,通信系统每一端的发送器和接收器,通过收/发开关转接到通信线上,进行方向的切换,因此,会产生时间延迟。收/发开关实际上是由软件控制的电子开关。

当计算机主机用串行接口连接显示终端时,在半双工方式中,输入过程和输出过程使用同一通路。有些计算机和显示终端之间采用半双工方式工作,这时,从键盘输入的字符在发送到主机的同时就被送到终端上显示出来,而不是用回送的办法,所以避免了接收过程和发送过程同时进行的情况。

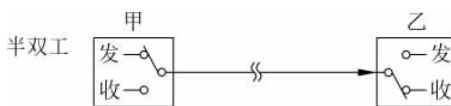


图 3.6 半双工数据传输

目前多数终端和串行接口都为半双工方式提供了换向能力,也为全双工方式提供了两条独立的引脚。在实际使用时,一般并不需要通信双方同时既发送又接收,像打印机这类的单向传送设备,半双工甚至单工就能胜任,也无须倒向。

3.3 同步串行通信方式

采用同步通信时,将许多字符组成一个信息组,这样,字符可以一个接一个地传输,但是,在每组信息(通常称为帧)的开始要加上同步字符,在没有信息要传输时,要填上空字符,因为同步传输不允许有间隙。在同步传输过程中,一个字符可以对应 5~8 位。当然,对同一个传输过程,所有字符对应同样的数位,比如说 n 位。这样,传输时,按每 n 位划分为一个时间片,发送端在一个时间片中发送一个字符,接收端则在一个时间片中接收一个字符。

同步传输时,一个信息帧中包含许多字符,每个信息帧用同步字符作为开始,一般将同步字符和空字符用同一个代码。在整个系统中,由一个统一的时钟控制发送端的发送和接收端的接收。接收端当然是应该能识别同步字符的,当检测到有一串数位和同步字符相匹配时,就认为开始一个信息帧,于是,把此后的数位作为实际传输信息来处理。

同步又可分为外同步和内同步两种方式,如图 3.7 所示。

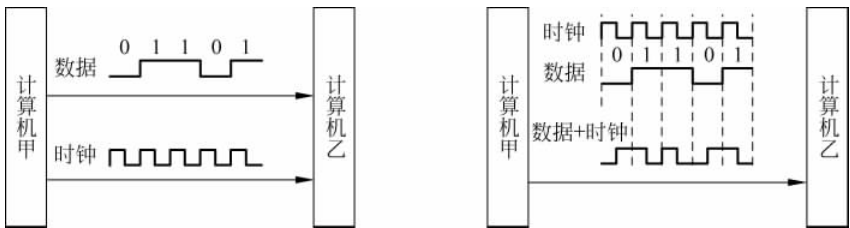


图 3.7 外同步和自同步

3.3.1 同步串行通信协议

1. 面向字符的同步协议

该协议规定了 10 个特殊字符(称为控制字符)作为信息传输的标志。其格式如图 3.8 所示。

SYN	SOH	标题	STX	数据块	ETB/ETX	块校验
-----	-----	----	-----	-----	---------	-----

图 3.8 面向字符的同步协议

- (1) SYN: 同步字符,每帧可加一个(单同步)或两个(双同步)同步字符。
- (2) SOH: 标题开始。
- (3) 标题: 包含源地址(发送方地址)、目的地址(接收方地址)、路由指示。
- (4) STX: 正文开始。
- (5) 数据块: 正文,由多个字符组成。
- (6) ETB: 块传输结束,标识本数据块结束。

- (7) ETX: 全文结束,全文分为若干块传输。
- (8) 块校验: 对从 SOH 开始,直到 ETB/ETX 字段的检验码。

2. 面向 bit 的同步协议

一帧信息可以是任意位,用位组合标识帧的开始和结束。帧格式如图 3.9 所示。

F 场	A 场	C 场	I 场	FC 场	F 场
-----	-----	-----	-----	------	-----

图 3.9 面向 bit 的同步协议

- (1) F 场: 标志场。作为一帧的开始和结束,标志字符为 8 位,01111110。
- (2) A 场: 地址场。规定接收方地址,可为 8 的整倍位。接收方检查每个地址字节的第一位,如果为“0”,则后边跟着另一个地址字节。若为“1”,则该字节为最后一个地址字节。
- (3) C 场: 控制场。指示信息场的类型,8 位或 16 位。若第一字节的第一位为 0,则还有第二个字节也是控制场。
- (4) I 场: 信息场。要传送的数据。
- (5) FC 场: 帧校验场。16 位循环冗余校验码 CRC。除 F 场和自动插入的“0”位外,均参加 CRC 计算。

3.3.2 同步通信的相关技术

1. 同步通信的“0 位插入和删除技术”

在同步通信中,一帧信息以一个或几个特殊字符开始,例如,F 场=01111110B。

但在信息帧的其他位置,完全可能出现这些特殊字符,为了避免接收方把这些特殊字符误认为帧的开始,发送方采用了“0 位插入技术”,相应地,接收方采用“0 位删除技术”。

发送方的 0 位插入: 除了起始字符外,当连续出现 5 个 1 时,发送方自动插入一个 0。使得在整个信息帧中,只有起始字符含有连续的 6 个 1。

接收方的“0 位删除技术”: 接收方收到连续 6 个 1,作为帧的起始,把连续出现 5 个 1 后的 0 自动删除。

2. 同步通信的“字节填充技术”

设需要传送的原始信息帧为

SOT	DATA	EOT
-----	------	-----

字节填充技术采用字符替换方式,使信息帧的 DATA 中不出现起始字符 SOT 和结束字符 EOT。设按表 3.1 方式进行替换。

其中,ESC=1AH,X、Y、Z 可指定为任意字符(除 SOT、EOT、ESC 外)。

发送方按约定方式对需要发送的原始帧进行替换,并把替换后的新的帧发送给接收方,如图 3.10 所示。接收方按约定方式进行相反替换,可以获得原始帧信息。

表 3.1 字符替换

DATA 中的原字符	替换为
SOT	ESCX
EOT	ESCY
ESC	ESCZ

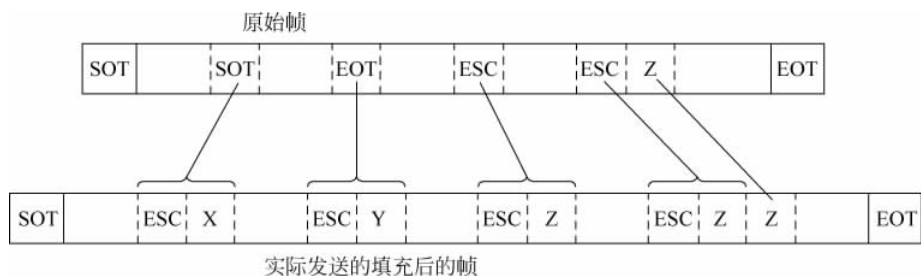


图 3.10 发送方按约定方式对需要发送的原始帧进行替换

3.3.3 异步通信和同步通信的比较

- (1) 同步通信要求接收端时钟频率和发送端时钟频率一致,发送端发送连续的比特流;异步通信时不要求接收端时钟和发送端时钟同步,发送端发送完一个字节后,可经过任意长的时间间隔再发送下一个字节。
- (2) 同步通信效率高;异步通信效率较低。
- (3) 同步通信较复杂,双方时钟的允许误差较小;异步通信简单,双方时钟可允许一定误差。
- (4) 同步通信可用于点对多点;异步通信只适用于点对点。
- (5) 异步通信可以无校验,同步通信必须有校验。

3.4 异步通信帧信息格式

3.4.1 异步通信的特点及信息帧格式

以起止式异步协议为例,图 3.11 和图 3.12 显示的是起止式一帧数据的格式。

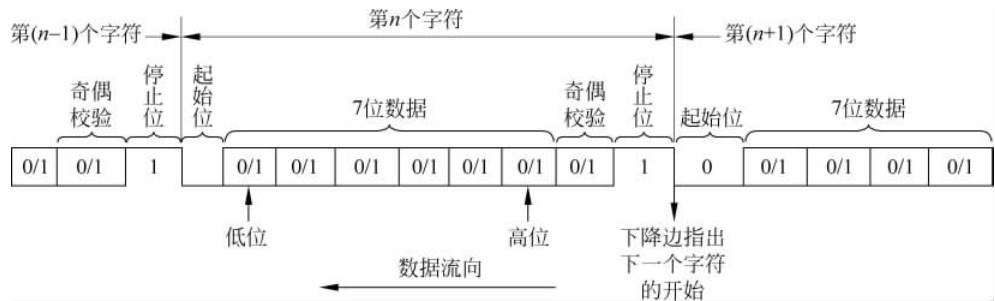


图 3.11 起止式多个字符数据格式

起止式异步通信的特点是：一个字符一个字符地传输,每个字符一位一位地传输,并且传输一个字符时,总是以“起始位”开始,以“停止位”结束,字符之间没有固定的时间间隔要求。每一个字符的前面都有一位起始位(低电平,逻辑值),字符本身由 5~7 位数据位组成,接着字符后面是一位校验位(也可以没有校验位),最后是一位或一位半或两位停止位,停止

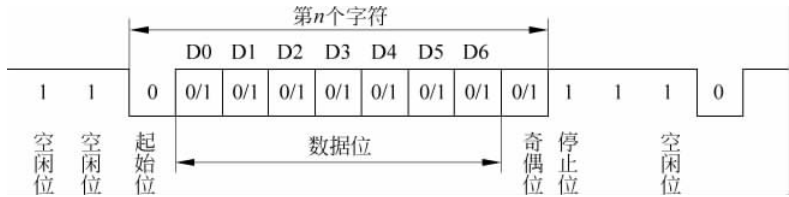


图 3.12 一个字符数据信息帧格式

位后面是不定长的空闲位。停止位和空闲位都规定为高电平(逻辑值 1),这样就保证起始位开始处一定有一个下跳沿。

从图 3.11 中可看出,这种格式是靠起始位和停止位来实现字符的界定或同步的,故称为起止式协议。异步通信可以采用正逻辑或负逻辑,正负逻辑的表示如表 3.2 所示。

表 3.2 异步通信逻辑

	逻辑 0	逻辑 1
正逻辑	低电平	高电平
负逻辑	高电平	低电平

异步通信的信息格式如表 3.3 所示,其异步通信的信息帧格式如下。

表 3.3 异步通信的信息格式

帧 位	逻辑	位 数
起始位	逻辑 0	1 位
数据位	逻辑 0 或 1	5 位、6 位、7 位、8 位
校验位	逻辑 0 或 1	1 位或无
停止位	逻辑 1	1 位、1.5 位或 2 位
空闲位	逻辑 1	任意数量

注：表中位数的本质含义是信号出现的时间,故可有分数位,如 1.5。

(1) 起始位：起始位必须是持续一个比特时间的逻辑 0 电平,标志传输一个字符的开始,接收方可用起始位使自己的接收时钟与发送方的数据同步。

(2) 数据位：数据位紧跟在起始位之后,是通信中的真正有效信息。数据位的位数可以由通信双方共同约定,一般可以是 5 位、7 位或 8 位,标准的 ASCII 码是 0~127 位,扩展的 ASCII 码是 0~255 位。传输数据时先传送字符的低位,后传送字符的高位。

(3) 奇偶校验位：奇偶校验位仅占一位,用于进行奇校验或偶校验,奇偶校验位不是必须有的。如果是奇校验,需要保证传输的数据总共有奇数个逻辑高位;如果是偶校验,需要保证传输的数据总共有偶数个逻辑高位。

(4) 停止位：停止位可以是 1 位、1.5 位或 2 位,可以由软件设定。它一定是逻辑 1 电平,标志着传输一个字符的结束。

(5) 空闲位：空闲位是指从一个字符的停止位结束到下一个字符的起始位开始,表示线路处于空闲状态,必须由高电平来填充。

【例 3.1】 传送 8 位数据 45H(01000101B),奇校验,一个停止位,则信号线上的波形图 3.13 所示。异步通信的速率：若 9600b/s,每字符 8 位,1 起始,1 停止,无奇偶,则实际每

字符传送 10 位,则 960 字符/秒。

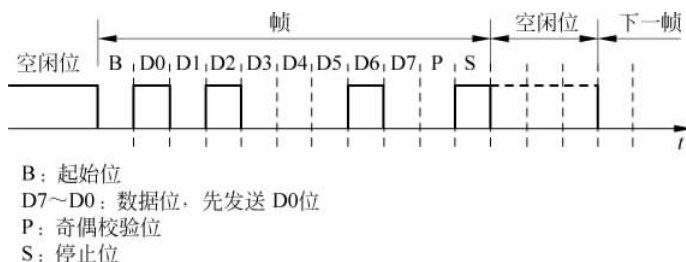


图 3.13 一种信号线上的波形图

读者读到这里或许对异步通信有一点儿了解,其实这仅仅是概念而已,比如,传输一位需要多长时间? 这种时间怎样定义? 发送接收时钟是怎样确定的? 传输距离、奇偶校验等,这些问题下面将一一分解。

3.4.2 异步串行通信波特率

在串行通信中,用“波特率”来描述数据的传输速率,如图 3.14 所示。所谓波特率,即每秒钟传送的二进制位数,其单位为 b/s。它是衡量串行数据速度快慢的重要指标。有时也用“位周期”来表示传输速率,位周期是波特率的倒数。国际上规定了一个标准波特率系列: 110b/s、300b/s、600b/s、1200b/s、1800b/s、2400b/s、4800b/s、9600b/s、14.4kb/s、19.2kb/s、28.8kb/s、33.6kb/s、56kb/s。

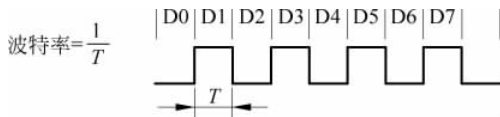


图 3.14 波特率的表示形式

例如,9600b/s 指每秒传送 9600 位,包含字符的数位和其他必须的数位,如奇偶校验位等。

大多数串行接口电路的接收波特率和发送波特率可以分别设置,但接收方的接收波特率必须与发送方的发送波特率相同。通信线上所传输的字符(数据代码)是逐位传送的,一个字符由若干位组成,因此,每秒钟所传输的字符数(字符速率)和波特率是两种概念。

在串行通信中,所说的传输速率是指波特率,而不是指字符速率,它们两者的关系是:例如在异步串行通信中,传送一个字符,包括 12 位(其中有一个起始位,8 个数据位,两个停止位,一个奇偶校验位),其传输速率是 1200b/s,每秒所能传送的字符数是 $1200/(1+8+1+2)=100$ 个。

3.4.3 发送/接收时钟

在串行传输过程中,二进制数据序列是以数字信号波形的形式出现的,如何对这些数字波形定时发送出去或接收进来以及如何对发/收双方之间的数据传输进行同步控制的问题就引出了发送/接收时钟的应用。

在发送数据时,发送器在发送时钟(下降沿)作用下将发送移位寄存器的数据按串行移

位输出；在接收数据时，接收器在接收时钟（上升沿）作用下对来自通信线上的串行数据，按位串行移入移位寄存器。可见，发送/接收时钟是对数字波形的每一位进行移位操作，因此，从这个意义上讲，发送/接收时钟又可叫作移位始终脉冲。另外，从数据传输过程中，收方进行同步检测的角度来看，接收时钟成为收方保证正确接收数据的重要工具。为此，接收器采用比波特率更高频率的时钟来提高定位采样的分辨能力和抗干扰能力。

3.4.4 波特率因子

在波特率指定后，输入移位寄存器/输出移位寄存器在接收时钟/发送时钟控制下，按指定的波特率速度进行移位。一般几个时钟脉冲移位一次。要求：接收时钟/发送时钟是波特率的 16、32 或 64 倍。波特率因子就是发送/接收一个数据（一个数据位）所需要的时钟脉冲个数，其单位是个/位。如波特率因子为 16，则 16 个时钟脉冲移位一次。

例如，波特率 = 9600b/s，波特率因子 = 32，则接收时钟和发送时钟频率 = $9600 \times 32 = 297\,200\text{Hz}$

注意：比特率是指二进制数码流的信息传输速率，单位是 b/s，它表示每秒传输多少个二进制位，有些情况下，也可以用字/秒为单位；波特又称调制速率，是针对模拟数据信号传输过程中，从调制解调器输出的调制信号每秒钟载波调制状态改变的数值，单位是 s/s，称为波特率。因此，调制速率也称为波特率。但同为计算机领域，不同地方却对此产生了分歧：单片机教程中把比特率的定义扣在了波特率上，还很正式地宣布波特率单位为 b/s 或 kb/s。在 NCRE 四级教程上关于波特率和比特率是如下定义的：数据传输速率描述在计算机通信中每秒传送的构成代码的比特数，即比特率；调制速率是针对模拟信号传输过程中，从调制解调器输出的调制信号每秒钟载波调制状态改变的数值，单位是 1/s，称为波特。并给出了波特率与比特率的换算关系为： $R(\text{b/s}) = B \log_2 K$ ，事实上，比特率和波特率的数值相等，只有当二相调制即 $K=2$ 时才有，但两者的含义是不相同的。在四相调制，八相调制，十六相调制时，比特率和波特率就明显不等了。这是单片机编书者的一个错误。另外，在 CAN 总线等通信领域肯定少不了要弄清楚这两个概念。以 CAN 系统中传输一个帧为例：假如对于一个由 10 位组成的帧，其中有 1b 的起始位，1b 的结束位；另外有 8b 的数据位，则比特率为每秒钟传输的纯二进制位数，如一秒钟内传输了 10 帧，则比特率为 $10 \times 8 = 80\text{b/s}$ ，没把起始位和结束位包含在内，而波特率为 $10 \times 10 = 100\text{b/s}$ 包含起始位和结束位。

3.4.5 传输距离

串行通信中，数据位信号流在信号线上传输时，要引起畸变，畸变的大小与以下因素有关。

- (1) 波特率——信号线的特征频带范围。
- (2) 传输距离——信号的性质及大小（电平高低、电流大小）。
- (3) 当畸变较大时，接收方出现误码。

在规定的误码率下，当波特率、信号线、信号的性质及大小一定时，串行通信的传输距离就一定。为了加大传输距离，必须加调制解调器。

3.4.6 奇偶校验

串行数据在传输过程中,由于干扰可能引起信息的出错,例如,传输字符‘E’,其各位为

$$0100,0101=45\text{H}$$

D7 到 D0 由于干扰,可能使位变为 1,这种情况,我们称为出现了“误码”。我们把如何发现传输中的错误,叫“检错”。发现错误后,如何消除错误,叫“纠错”。

最简单的检错方法是“奇偶校验”,即在传送字符的各位之外,再传送 1 位奇/偶校验位。可采用奇校验或偶校验。

奇校验:所有传送的数位(含字符的各数位和校验位)中,“1”的个数为奇数,如:

10110,0101

00110,0001

偶校验:所有传送的数位(含字符的各数位和校验位)中,“1”的个数为偶数,如:

10100,0101

00100,0001

由此可见,奇偶校验位仅是对数据进行简单的置逻辑高位或逻辑低位,不会对数据进行实质的判断,这样做的好处是接收设备能够知道一个位的状态,有可能判断是否有噪声干扰了通信以及传输的数据是否同步。奇偶校验能够检测出信息传输过程中的部分误码(一位误码能检出,两位及两位以上误码不能检出),同时,它不能纠错。在发现错误后,只能要求重发。但由于其实现简单,仍得到了广泛使用。有些检错方法,具有自动纠错能力,如循环冗余码(CRC)检错等。

3.4.7 起始/停止位

起始位实际上是作为联络信号附加进来的,当它变为低电平时,告诉收方传送开始。它的到来,表示下面接着是数据位来了,要准备接收。而停止位标志一个字符的结束,它的出现,表示一个字符传送完毕。这样就为通信双方提供了何时开始收发,何时结束的标志。传送开始前,收发双方把所采用的起止式格式(包括字符的数据位长度,停止位位数,有无校验位以及是奇校验还是偶校验等)和数据传输速率做统一规定。传送开始后,接收设备不断地检测传输线,看是否有起始位到来。当收到一系列的“1”(停止位或空闲位)之后,检测到一个下跳沿,说明起始位出现,起始位经确认后,就开始接收所规定的数据位和奇偶校验位以及停止位。经过处理将停止位去掉,把数据位拼装成一个并行字节,并且经校验后,无奇偶错才算正确地接收一个字符。一个字符接收完毕,接收设备有继续测试传输线,监视“0”电平的到来和下一个字符的开始,直到全部数据传送完毕。

由上述工作过程可看到,异步通信是按字符传输的,每传输一个字符,就用起始位来通知收方,以此来重新核对收发双方同步。若接收设备和发送设备两者的时钟频率略有偏差,这也不会因偏差的累积而导致错位,加之字符之间的空闲位也为这种偏差提供一种缓冲,所以异步串行通信的可靠性高。但由于要在每个字符的前后加上起始位和停止位这样一些附加位,使得传输效率变低了,只有约 80%。因此,起止协议一般用在数据速率较慢的场合,如小于 19.2kb/s 的场合。在高速传送时,一般要采用同步协议。

3.5 异步通信接收发送

3.5.1 异步通信的接收过程

接收端以“接收时钟”和“波特率因子”决定一位的时间长度。下面以波特率因子等于16(接收时钟每16个时钟周期,使接收移位寄存器移位一次)、正逻辑为例说明,如图3.15所示。

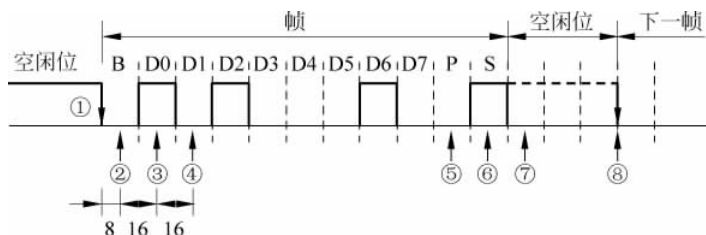


图 3.15 波特率因子等于 16 的数据发送过程

(1) 开始通信时,信号线为空闲逻辑1,当检测到由1到0的跳变时,开始对“接收时钟”计数。

(2) 当计到8个时钟时,对输入信号进行检测,若仍为低电平,则确认这是“起始位”B,而不是干扰号。

(3) 接收端检测到起始位后,隔16个接收时钟,对输入信号检测一次,把对应的值作为D0位数据。若为逻辑1,作为数据位1;若为逻辑0,作为数据位0。

(4) 再隔16个接收时钟,对输入信号检测一次,把对应的值作为D1位数据。直到全部数据位都输入。

(5) 检测校验位P(如果有的话)。

(6) 接收到规定的数据位个数和校验位后,通信接口电路希望收到停止位S逻辑1,若此时未收到逻辑1,说明出现了错误,在状态寄存器中置“帧错误”标志。若没有错误,对全部数据位进行奇偶校验,无校验错时,把数据位从移位寄存器中送数据输入寄存器。若校验错,在状态寄存器中置奇偶错标志。

(7) 本帧信息全部接收完,把线路上出现的高电平作为空闲位。

(8) 当信号再次变为低时,开始进入下一帧的检测。

3.5.2 异步通信的发送过程

发送端以“发送时钟”和“波特率因子”决定一位的时间长度。

(1) 当初始化后,或者没有信息需要发送时,发送端输出逻辑1,即空闲位,空闲位可以有任意数量。

(2) 当需要发送时,发送端首先输出逻辑0,作为起始位。

(3) 接着,发送端首先发送D0位,直到各数据位发送完。

(4) 如果需要的话,发送端输出校验位。

(5) 最后,发送端输出停止位逻辑 1。

(6) 如果没有信息需要发送时,发送端输出逻辑 1,即空闲位,空闲位可以有任意数量。如果还有信息需要发送,转入第(2)步。

对于以上发送、接收过程应注意以下几点。

(1) 接收端总是在每个字符的头部(即起始位)进行一次重新定位,因此发送端可以在字符之间插入不等长的空闲位,不影响接收端的接收。

(2) 发送端的发送时钟和接收端的接收时钟,其频率允许有一定差异,当频率差异在一定范围内,不会引起接收端检测错位,能够正确接收。并且这种频率差异不会因多个字符的连续接收而造成误差累计,因为每个字符的开始起(始位处)接收方均重新定位。只有当发送时钟和接收时钟频率差异太大,引起接收端采样错位时,才造成接收错误。

(3) 起始位、校验位、停止位、空闲位的信号,由“发送移位寄存器”自动插入。在接收方,“接收移位寄存器”接收到一帧完整信息(起始、数据、校验、停止)后,仅把数据的各位送至“数据输入寄存器”,即 CPU 从“数据输入寄存器”中读得的信息,只是有效数字,不包含起始位、校验位、停止位信息。

3.6 常用串行数据接口标准

RS-232、RS-422 与 RS-485 都是串行数据接口标准,都是由电子工业协会(EIA)制定并发布的,RS-232 在 1962 年发布。

RS-422 由 RS-232 发展而来,为改进 RS-232 通信距离短、速率低的缺点,RS-422 定义了一种平衡通信接口,将传输速率提高到 10Mb/s,传输距离延长到 4000 英尺(速率低于 100kb/s 时),并允许在一条平衡总线上连接最多 10 个接收器。RS-422 是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输规范,被命名为 TIA/EIA-422-A 标准。

为扩展应用范围,EIA 又于 1983 年在 RS-422 基础上制定了 RS-485 标准,增加了多点、双向通信能力,即允许多个发送器连接到同一条总线上,同时增加了发送器的驱动能力和冲突保护特性,扩展了总线共模范围,后命名为 TIA/EIA-485-A 标准。

3.6.1 RS-232 串行接口标准

目前,RS-232 是 PC 与通信工业中应用最广泛的一种串行接口。RS-232 被定义为一种在低速率串行通信中增加通信距离的单端标准。RS-232 采取不平衡传输方式,即所谓单端通信。收、发端的数据信号相对于信号地。

典型的 RS-232 信号在正负电平之间摆动,在发送数据时,发送端驱动器输出正电平在 +5~+15V,负电平在 -5~-15V 电平。

当无数据传输时,线上为 TTL,从开始传送数据到结束,线上电平从 TTL 电平到 RS-232 电平再返回 TTL 电平。

接收器典型的工作电平在 +3~+12V 与 -12~-3V。由于发送电平与接收电平的差仅为 2V 或 3V 左右,所以其共模抑制能力差,再加上双绞线上的分布电容,其传送距离最大

约为 15m, 最高速率为 20kb/s, 通信方式如图 3.16 所示。为提高传输距离, 可按照图 3.17 的方式通过电话线和调制解调器通信。RS-232 是为点对点(即只用一对收、发设备)通信而设计的, 其驱动器负载为 $3\sim 7k\Omega$ 。所以 RS-232 适合本地设备之间的通信。

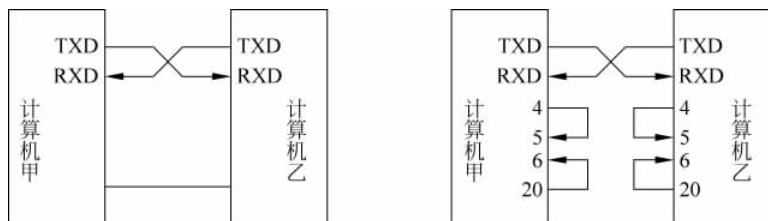


图 3.16 RS-232 近距离通信



图 3.17 RS-232 远距离通信

RS-232C 标准中所提到的“发送”和“接收”, 都是站在 DTE 立场上, 而不是站在 DCE 的立场来定义的。由于在计算机系统中, 往往是 CPU 和 I/O 设备之间传送信息, 两者都是 DTE, 因此双方都能发送和接收。EIA-RS-232C 对电器特性、逻辑电平和各种信号线功能都做了规定。

在 TxD 和 RxD 上:

- (1) 逻辑 1(MARK) = $-15\sim -3V$
- (2) 逻辑 0(SPACE) = $+3\sim +15V$

在 RTS、CTS、DSR、DTR 和 DCD 等控制线上:

- (1) 信号有效接通(ON 状态, 正电压) = $+3\sim +15V$
- (2) 信号无效断开(OFF 状态, 负电压) = $-3\sim -15V$

以上规定说明了 RS-232C 标准对逻辑电平的定义。对于数据(信息码), 逻辑“1”(传号)的电平低于 $-3V$, 逻辑“0”(空号)的电平高于 $+3V$; 对于控制信号, 接通状态(ON)即信号有效的电平高于 $+3V$, 断开状态(OFF)即信号无效的电平低于 $-3V$, 也就是当传输电平的绝对值大于 $3V$ 时, 电路可以有效地检查出来, 介于 $-3\sim +3V$ 之间的电压无意义, 低于 $-15V$ 或高于 $+15V$ 的电压也认为无意义, 因此, 实际工作时, 应保证电平在 $\pm 3\sim 15V$ 之间。

EIA-RS-232C 与 TTL 之间的转换如图 3.18 和图 3.19 所示: EIA-RS-232C 是用正负电压来表示逻辑状态, 与 TTL 以高低电平表示逻辑状态的规定不同。因此, 为了能够同计算机接口或终端的 TTL 器件连接, 必须在 EIA-RS-232C 与 TTL 电路之间进行电平和逻辑关系的变换。实现这种变换的方法可用分立元件, 也可用集成电路芯片, 如 MAX232、MAX3232 等。

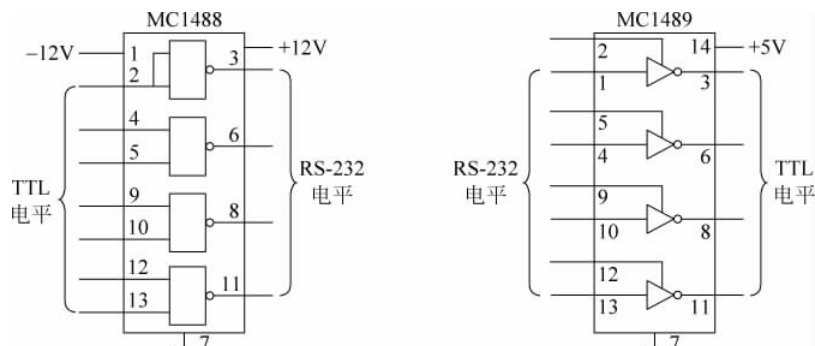


图 3.18 RS-232 电平转换

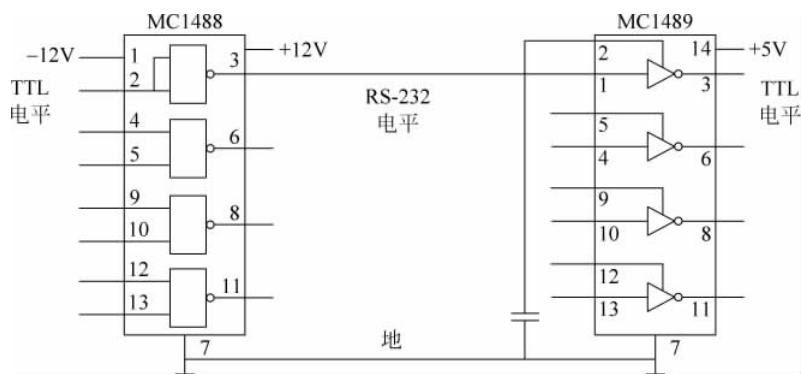


图 3.19 RS-232 电平转换传输

RS-232 固有缺陷如下。

(1) 传输距离短,传输速率低

RS-232C 总线标准受电容允许值的约束,使用时传输距离一般不要超过 15m(线路条件好时也不超过几十米)。最高传送速率为 20kb/s。

(2) 有电平偏移

RS-232C 总线标准要求收发双方共地。通信距离较大时,收发双方的地电位差别较大,在信号地上将有比较大的地电流并产生压降。

(3) 抗干扰能力差

RS-232C 在电平转换时采用单端输入输出,在传输过程中干扰和噪声混在正常的信号中。为了提高信噪比,RS-232C 总线标准不得不采用比较大的电压摆幅。

什么是 TTL 电平、CMOS 电平、RS-232 电平? 它们有什么区别呢?

(1) TTL 电平标准

输出 L: $< 0.8V$; H: $> 2.4V$ 。

输入 L: $< 1.2V$; H: $> 2.0V$ 。

TTL 器件输出低电平要小于 $0.8V$,高电平要大于 $2.4V$ 。输入,低于 $1.2V$ 就认为是 0,高于 2.0 就认为是 1。于是 TTL 电平的输入低电平的噪声容限就只有 $(0.8 - 0)/2 = 0.4V$,高电平的噪声容限为 $(5 - 2.4)/2 = 1.3V$ 。

(2) CMOS 电平标准

输出 L: $<0.1 \times V_{CC}$; H: $>0.9 \times V_{CC}$ 。

输入 L: $<0.3 \times V_{CC}$; H: $>0.7 \times V_{CC}$ 。

由于 CMOS 电源采用 12V, 则输入低于 3.6V 为低电平, 噪声容限为 1.8V, 高于 3.5V 为高电平, 噪声容限高为 1.8V。比 TTL 有更高的噪声容限。

(3) RS-232 标准

逻辑 1 的电平为 $-15 \sim -3V$, 逻辑 0 的电平为 $+3 \sim +15V$, 注意电平的定义反相了一次。

TTL 与 CMOS 电平使用起来有什么区别?

(1) 电平的上限和下限定义不一样, CMOS 具有更大的抗噪区域。同是 5V 供电的话, TTL 一般是 1.7V 和 3.5V, CMOS 一般是 2.2V 和 2.9V, 不准确, 仅供参考。

(2) 电流驱动能力不一样, TTL 一般提供 25mA 的驱动能力, 而 CMOS 一般在 10mA 左右。

(3) 需要的电流输入大小也不一样, 一般 TTL 需要 2.5mA 左右, CMOS 几乎不需要电流输入。

(4) 很多器件都是兼容 TTL 和 CMOS 的。如果不考虑速度和性能, 一般器件可以互换。但是需要注意有时候负载效应可能引起电路工作不正常, 因为有些 TTL 电路需要下一级的输入阻抗作为负载才能正常工作。

(5) TTL 电路和 CMOS 电路的逻辑电平。

VOH: 逻辑电平 1 的输出电压。

VOL: 逻辑电平 0 的输出电压。

VIH: 逻辑电平 1 的输入电压。

VIL: 逻辑电平 0 的输入电压。

TTL 电路临界值:

$$VOH_{\min} = 2.4V, \quad VOL_{\max} = 0.4V$$

$$VIH_{\min} = 2.0V, \quad VIL_{\max} = 0.8V$$

CMOS 电路临界值电源电压为 +5V:

$$VOH_{\min} = 4.99V, \quad VOL_{\max} = 0.01V$$

$$VIH_{\min} = 3.5V, \quad VIL_{\max} = 1.5V$$

(6) TTL 和 CMOS 的逻辑电平转换。

CMOS 电平能驱动 TTL 电平;

TTL 电平不能驱动 CMOS 电平, 需加上拉电阻。

(7) 常用逻辑芯片特点。

74LS 系列: TTL 输入: TTL 输出: TTL。

74HC 系列: CMOS 输入: CMOS 输出: CMOS。

74HCT 系列: CMOS 输入: TTL 输出: CMOS。

CD4000 系列: CMOS 输入: CMOS 输出: CMOS。

3.6.2 RS-422 与 RS-485 串行接口标准

1. RS-422 电气特性

RS-422 由 RS-232C 发展而来,是一种单机发送、多机接收的单向、平衡传输的总线标准。其接口与连接方式如图 3.20 所示。平衡传输也称作差分传输,它使用一对双绞线,将其中一线定义为 A,另一线定义为 B,此外还有一个信号地 C。通常情况下,若发送驱动器 A、B 之间有一个 $+2\sim+6\text{V}$ 的电压差,则称为正电平,视为一个逻辑状态;若发送驱动器 A、B 之间有一个 $-6\sim-2\text{V}$ 的电压差,则称为负电平,视为另一个逻辑状态。在 RS-422 中还有一个可用可不用的“使能”端,用于控制发送驱动器与传输线的切断与连接。当“使能”端起作用时,发送驱动器处于高阻状态,称作“第三态”,即它是有别于逻辑“1”与“0”的第三态。

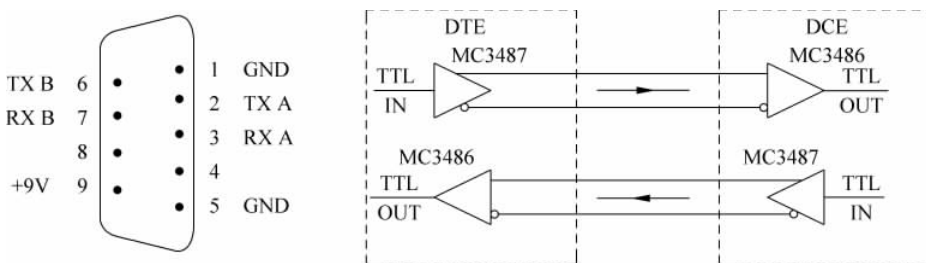


图 3.20 RS-422 的 9 芯接口与平衡连接方式

RS-422 有 4 根信号线,两根发送、两根接收,收与发是分开的,支持全双工的通信方式,其最大传输距离为 1200m,最大传输速率为 10Mb/s,且通信距离与速率成反比。

2. RS-485 电气特性

RS-485 是从 RS-422 基础上发展而来的一种多发送器的电路标准,RS-485 的许多电气规定与 RS-422 相仿。如都采用平衡传输方式,都需要在传输线上接终结电阻等。RS-485 可以采用二线与四线方式,二线制可实现真正的多点双向通信。RS-485 采用二线制方式时,其“使能”端是必需的,用于控制发送电路的收发状态的切换,属于半双工的通信方式,如图 3.21 所示。



图 3.21 RS-485 的连接方式

RS-485 接口与 RS-422 一样,最大传输距离为 1200m,最高传输速率为 10Mb/s,通信距离与速率成反比,如图 3.22 所示。

硬件线路上,RS-422 至少需要 4 根通信线,而 RS-485 仅需两根。RS-422 不能采用总线方式通信,但可以采用环路方式通信,而 RS-485 两者均可。RS-485 与 RS-422 的另一个不同之处还在于,两者共模输出电压是不同的,RS-485 是 $-7\sim+12\text{V}$ 之间,而 RS-422 在

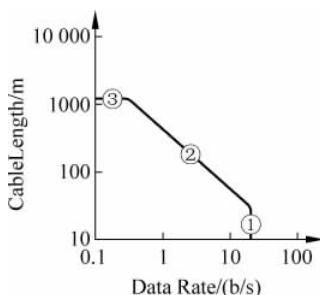


图 3.22 RS-485 的通信速率与通信距离成反比

-7~+7V 之间。RS-485 满足所有 RS-422 的规范,所以 RS-485 的驱动器可以在 RS-422 网络中应用。RS-232C、RS-422、RS-485 的比较如表 3.4 所示。

表 3.4 RS-232C、RS-422、RS-485 的比较

规 定		RS-232C	RS-422	RS-485
工作方式		单端	差分	差分
节点数		1 发、1 收	1 发、10 收	1 发、32 收
最大传输电缆长度		50 英尺	400 英尺	400 英尺
最大传输速率		20kb/s	10Mb/s	10Mb/s
最大驱动输出电压		$\pm 25\text{V}$	$-0.25 \sim +6\text{V}$	$-7 \sim +12\text{V}$
驱动器输出信号电平	负载(最小值)	$\pm 5 \sim \pm 15\text{V}$	$\pm 2.0\text{V}$	$\pm 1.5\text{V}$
	空载(最大值)	$\pm 25\text{V}$	$\pm 6\text{V}$	$\pm 6\text{V}$
驱动器负载阻抗		3k~7k	100	54
摆率(最大值)		30V/is	N/A	N/A
接收器输入电压范围		$-15 \sim +15\text{V}$	$-7 \sim +12\text{V}$	$-7 \sim +12\text{V}$
接收器输入门限		$\pm 3\text{V}$	$\pm 200\text{mV}$	$\pm 200\text{mV}$
接收器输入电阻		3k Ω ~7k Ω	4k Ω (最小)	$\geq 12\text{k}\Omega$
驱动器共模电压			$-3 \sim +3\text{V}$	$-7 \sim +12\text{V}$
接收器共模电压			$-7 \sim +7\text{V}$	$-7 \sim +12\text{V}$

3. RS-485 总线网络

RS-485 是真正意义上的总线标准。RS-485 允许在两根导线(总线)上挂接 32 台 RS-485 负载设备,负载设备可以是发送器、被动发送器、接收器或组合收发器(发送器和接收器的组合)。RS-485 总线网络的拓扑一般采用终端匹配的总线型结构,如图 3.23 所示。

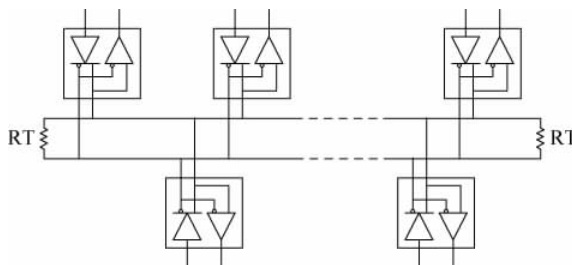


图 3.23 RS-485 的总线网络

RS-485 采用主/从工作方式,即在网络中有一个节点作为主节点,其余节点作为从节点,主节点依次向各个从节点轮询信息。网络工作时,主节点向所有从节点发送查询信息,包含所查询节点的地址和内容,此时所有从节点不发送信息,只接收主节点的查询信息,如果从节点检测到查询信息的地址是本地地址,则被查询的从节点将本地地址和查询信息的数据发送至网络。此时主节点和其他从节点不发送信息,只接收该从节点的回应信息。然后主节点变更查询信息的地址和内容,重复上述过程,直至所有从节点都回应查询信息。整个 RS-485 网络不断重复主节点“点名”、从节点“回答”的过程,从而实现各个节点间的信息交互。

利用 RS-485 构建网络时,应注意以下几点。

(1) 采用一条双绞线电缆作为总线,将各个节点串联,从总线到每个节点的引出线长度应尽可能短,以减小出现的反射波影响。

(2) 应该提供一条单一、连续的信号通道作为总线,以保持总线特性阻抗的连续性,因为在阻抗不连续点可能会发生信号的反射。

(3) 在总线电缆的开始和末端都并接终端电阻,其阻值要求等于传输电缆的特性阻抗,工程经验取 120Ω ,或采用 RC 匹配、二极管匹配,如图 3.24 所示;在短距离与低速率下可以不用考虑终端匹配。

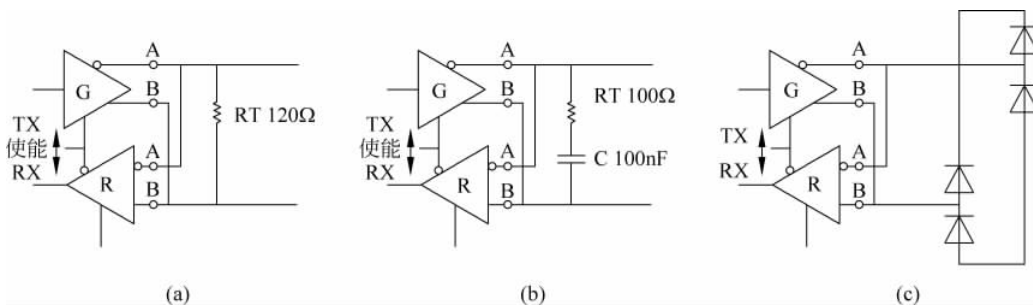


图 3.24 RS-485 的终端匹配

(4) 如不采用信号地,则存在较明显的 EMI 问题。

RS-422、RS-485 与 RS-232 不一样,数据信号采用差分传输方式,也称作平衡传输,它使用一对双绞线,将其中一线定义为 A,另一线定义为 B。通常情况下,发送驱动器 A、B 之间的正电平在 $+2\sim+6\text{V}$,是一个逻辑状态,负电平在 $-2\sim-6\text{V}$,是另一个逻辑状态。另有一个信号地 C,在 RS-485 中还有一“使能”端,而在 RS-422 中这是可用可不用的。“使能”端是用于控制发送驱动器与传输线的切断与连接。当“使能”端起作用时,发送驱动器处于高阻状态,称作“第三态”,即它是有别于逻辑“1”与“0”的第三态。

4. RS-422 与 RS-485 的网络安装注意要点

RS-422 可支持 10 个节点,RS-485 支持 32 个节点,因此多节点构成网络。网络拓扑一般采用终端匹配的总线型结构,不支持环状或星状网络。在构建网络时,应注意如下几点。

(1) 采用一条双绞线电缆作总线,将各个节点串接起来,从总线到每个节点的引出线长度应尽量短,以便使引出线中的反射信号对总线信号的影响最低。

(2) 应注意总线特性阻抗的连续性,在阻抗不连续点就会发生信号的反射。下列几种

情况易产生这种不连续性：总线的不同区段采用了不同电缆，或某一段总线上有过多收发器紧靠在一起安装，再者是过长的分支线引出到总线。

总之，应该提供一条单一、连续的信号通道作为总线。

3.7 提高 RS-485 总线可靠性

在 MCU 之间中长距离通信的诸多方案中,RS-485 因硬件设计简单、控制方便、成本低廉等优点广泛应用于工厂自动化、工业控制、小区监控、水利自动报测等领域。但 RS-485 总线在抗干扰、自适应、通信效率等方面仍存在缺陷,一些细节的处理不当常会导致通信失败甚至系统瘫痪等故障,因此,提高 RS-485 总线的运行可靠性至关重要。

3.7.1 RS-485 接口电路的硬件设计

1. 总线匹配

总线匹配有两种方法,一种是加匹配电阻,如图 3.25 所示。位于总线两端的差分端口 VA 与 VB 之间应跨接 120Ω 匹配电阻,以减少由于不匹配而引起的反射、吸收噪声,有效地抑制了噪声干扰。但匹配电阻要消耗较大电流,不适用于功耗限制严格的系统。

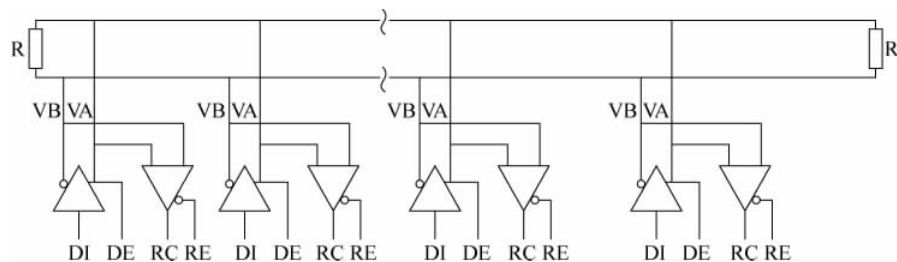


图 3.25 匹配电阻方案

另外一种比较省电的匹配方案是 RC 匹配,如图 3.26 所示。利用一只电容 C 隔断直流成分,可以节省大部分功率,但电容 C 的取值是个难点,需要在功耗和匹配质量间进行折中。除上述两种外还有一种采用二极管的匹配方案,如图 3.27 所示,这种方案虽未实现真正的匹配,但它利用二极管的钳位作用,迅速削弱反射信号达到改善信号质量的目的,节能效果显著。

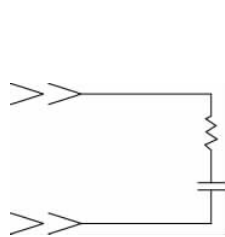


图 3.26 RC 匹配方案

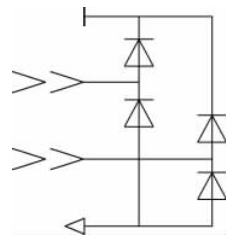


图 3.27 二极管匹配方案

2. RO 及 DI 端配置上拉电阻

异步通信数据以字节的方式传送,在每一个字节传送之前,先要通过一个低电平起始位实现握手。为防止干扰信号误触发 RO 接收器(输出)产生负跳变,使接收端 MCU 进入接收状态,建议 RO 外接 10k Ω 上拉电阻。

3. 保证系统上电时的 RS-485 芯片处于接收输入状态

对于收发控制端 TC 建议采用 MCU 引脚通过反相器进行控制,不宜采用 MCU 引脚直接进行控制,以防止 MCU 上电时对总线的干扰,如图 3.28 所示。

4. 总线隔离

RS-485 总线为并接式二线制接口,一旦有一只芯片故障就可能将总线“拉死”,因此对其二线口 VA、VB 与总线之间应加以隔离。通常在 VA、VB 与总线之间各串接一只 4~10 Ω 的 PTC 电阻,同时与地之间各跨接 5V 的 TVS 二极管,以消除线路浪涌干扰。如没有 PTC 电阻和 TVS 二极管,可用普通电阻和稳压管代替。

5. 合理选用芯片

例如,对外置设备为防止强电磁(雷电)冲击,建议选用 TI 的 75LBC184 等防雷击芯片,对节点数要求较多的可选用 SIPEX 的 SP485R。

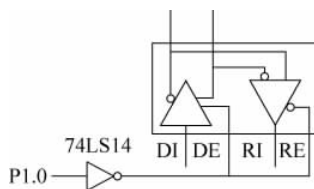


图 3.28 MCU 引脚通过反相器控制

3.7.2 RS-485 网络配置

1. 网络节点数

网络节点数与所选 RS-485 芯片驱动能力和接收器的输入阻抗有关,如 75LBC184 标称最大值为 64 点,SP485R 标称最大值为 400 点。实际使用时,因线缆长度、线径、网络分布、传输速率不同,实际节点数均达不到理论值。例如,75LBC184 运用在 500m 分布的 RS-485 网络上节点数超过 50 或速率大于 9.6kb/s 时,工作可靠性明显下降。通常推荐节点数按 RS-485 芯片最大值的 70% 选取,传输速率在 1200~9600b/s 之间选取。通信距离 1km 以内,从通信效率、节点数、通信距离等综合考虑选用 4800b/s 最佳。通信距离 1km 以上时,应考虑通过增加中继模块或降低速率的方法提高数据传输可靠性。

2. 节点与主干距离

理论上讲,RS-485 节点与主干之间距离越短越好。T 头小于 10m 的节点采用 T 型,连接对网络匹配并无太大影响,可放心使用,但对于节点间距非常小(小于 1m,如 LED 模块组合屏)应采用星状连接,若采用 T 型或串珠型连接就不能正常工作。RS-485 是一种半双工结构通信总线,大多用于一对多点的通信系统,因此主机应置于一端,不要置于中间而形成主干的 T 型分布。

3.7.3 提高 RS-485 通信效率

RS-485 通常应用于一对多点的主从应答式通信系统中,相对于 RS-232 等全双工总线效率低了许多,因此选用合适的通信协议及控制方式非常重要。

1. 总线稳态控制(握手信号)

大多数使用者选择在数据发送前 1ms 将收发控制端 TC 置成高电平,使总线进入稳定

的发送状态后才发送数据；数据发送完毕再延迟 1ms 后置 TC 端成低电平，使可靠发送完毕后才转入接收状态。据笔者使用 TC 端的延时有 4 个机器周期已满足要求。

2. 为保证数据传输质量，对每个字节进行校验的同时，应尽量减少特征字和校验字

惯用的数据包格式由引导码、长度码、地址码、命令码、数据、校验码、尾码组成，每个数据包长度达 20~30B。在 RS-485 系统中这样的协议不太简练。推荐用户使用 Modbus 协议，该协议已广泛应用于水利、水文、电力等行业设备及系统的国际标准中。

3.7.4 RS-485 接口电路的电源

对于由 MCU 结合 RS-485 微系统组建的测控网络，应优先采用各微系统独立供电方案，最好不要采用一台大电源给微系统并联供电，同时电源线（交直流）不能与 RS-485 信号线共用同一股多芯电缆。RS-485 信号线宜选用截面积 0.75mm^2 以上双绞线而不是平直线。对于每个小容量直流电源选用线性电源 LM7805 比选用开关电源更合适。当然应注意 LM7805 的保护：

- (1) LM7805 输入端与地应跨接 $220\sim 1000\mu\text{F}$ 电解电容；
- (2) LM7805 输入端与输出端反接 1N4007 二极管；
- (3) LM7805 输出端与地应跨接 $470\sim 1000\mu\text{F}$ 电解电容和 104pF 独石电容并反接 1N4007 二极管；
- (4) 输入电压以 $8\sim 10\text{V}$ 为佳，最大允许范围为 $6.5\sim 24\text{V}$ 。可选用 TI 的 PT5100 替代 LM7805，以实现 $9\sim 38\text{V}$ 的超宽电压输入。

3.7.5 光电隔离

在某些工业控制领域，由于现场情况十分复杂，各个节点之间存在很高的共模电压。虽然 RS-485 接口采用的是差分传输方式，具有一定的抗共模干扰的能力，但当共模电压超过 RS-485 接收器的极限接收电压，即大于 $+12\text{V}$ 或小于 -7V 时，接收器就再也无法正常工作了，严重时甚至会烧毁芯片和仪器设备。

解决此类问题的方法是通过 DC-DC 将系统电源和 RS-485 收发器的电源隔离；通过光耦将信号隔离，彻底消除共模电压的影响。实现此方案的途径可分为以下几种。

- (1) 用光耦、带隔离的 DC-DC、RS-485 芯片构筑电路。
- (2) 使用二次集成芯片，如 PS1480、MAX1480 等。

3.7.6 常见故障及处理方法

RS-485 是一种低成本、易操作的通信系统，但是稳定性弱同时相互牵制性强，通常有一个节点出现故障会导致系统整体或局部的瘫痪，而且又难以判断。故下面介绍一些维护 RS-485 的常用方法。

(1) 若出现系统完全瘫痪，大多因为某节点芯片的 VA、VB 对电源击穿，使用万用表测 VA、VB 间差模电压为零，而对地的共模电压大于 3V ，此时可通过测共模电压大小来排查，共模电压越大说明离故障点越近，反之越远。

(2) 总线连续几个节点不能正常工作。一般是由其中的一个节点故障导致的。一个节点故障会导致邻近的两三个节点（一般为后续）无法通信，因此将其逐一与总线脱离，如某节

点脱离后总线能恢复正常,说明该节点故障。

(3) 集中供电的 RS-485 系统在上电时常常出现部分节点不正常,但每次又不完全一样。这是由于对 RS-485 的收发控制端 TC 设计不合理,造成微系统上电时节点收发状态混乱从而导致总线堵塞。改进的方法是将各微系统加装电源开关然后分别上电。

(4) 系统基本正常但偶尔会出现通信失败。一般是由于网络施工不合理导致系统可靠性处于临界状态,最好改变走线或增加中继模块。应急方法之一是将出现失败的节点更换成性能更优异的芯片。

(5) 因 MCU 故障导致 TC 端处于长发状态而将总线拉死一片。提醒读者不要忘记对 TC 端的检查。尽管 RS-485 规定差模电压大于 200mV 即能正常工作。但实际测量:一个运行良好的系统其差模电压一般在 1.2V 左右(因网络分布、速率的差异有可能使差模电压在 0.8~1.5V 范围内)。

思考题

1. 选择题

(1) 在异步通信中,传送最高位为奇校验位的标准 ASCII 码,采用一位起始位和一位停止位。当该 ASCII 码为 5AH 时,有串行口发送的帧格式为(A)。

- A. 0010110111 B. 0010110101 C. 0110110101 D. 1010110100

(2) 在异步串行的通信中若要传送扩展 ASCII 码,则异步串行码字符格式的第 8 位数据(D)。

- A. 不传送 B. 恒为 0 C. 恒为 1 D. 为有用数据

(3) RS-232 标准规定其逻辑 1 电平为(C)。

- A. $-5\sim 0\text{V}$ B. $0\sim +5\text{V}$ C. $-15\sim -3\text{V}$ D. $+3\sim +15\text{V}$

(4) 异步串行接口电路在接收时,如果接收时钟频率为波特率的 16 倍,一旦确定串行接收线上出现起始位的电平后,对串行接收线进行检测的时间间隔为(D)。

- A. 1 个时钟周期 B. 4 个时钟周期 C. 8 个时钟周期 D. 16 个时钟周期

(5) 在有关串行通信的叙述中,正确的是(C)。

- A. 串行通信最少只需要一条导线
B. 所谓半双工是指在一半工作时间内工作
C. 异步串行通信是以字符为单位逐个发送和接收
D. 同步串行通信的收、发双方可使用各自独立的本地时钟

(6) 对于串行通信,如果数据可以从 A 发送到 B,也可由 B 发送到 A,但同一时间只能进行一个方向的传送,这种通信方式称为(B)通信方式。

- A. 单工 B. 半双工 C. 全双工 D. 并行

(7) 如果选择波特率因子为 16,在接收时,采用波特率的 16 倍频率作为接收时钟,其目的是(D)。

- A. 提高取样精度 B. 取样信号的峰值
C. 提高接收速度 D. 识别正确的起始位

- (8) 同步通信使用的是(C),异步通信使用的是(A)。
- A. 字符帧 B. 字节帧 C. 信息帧 D. 同步信号
- (9) 同步通信中时钟是(C)的,而异步通信中时钟是(A)的。
- A. 独立 B. 串行 C. 同步 D. 并行
- (10) 异步通信是靠(B)和(C)来实现字符的界定或同步的,故称为起止式协议。
- A. 起始字符 B. 起始位 C. 停止字符 D. 停止位
- (11) 异步通信速率为 4800b/s,每字符 8 位,一个起始位,偶校验,两个停止位,如果连续传送,则每秒钟传送(C)个字符。
- A. 960 B. 480 C. 400 D. 320
- (12) 异步通信接收端总是在每个字符的(A)进行一次重新定位,因此发送端可以在字符之间插入不等长的(D),不影响接收端的接收。
- A. 起始位 B. 数据位 C. 校验位 D. 空闲位
- (13) 在异步通信接收方,“(D)”接收到一帧完整信息(起始、数据、校验、停止)后,仅把数据的各位送至“(C)”。
- A. 数据输出寄存器 B. 发送移位寄存器
C. 数据输入寄存器 D. 接收移位寄存器
- (14) 异步通信发送一个字符,由 8 位组成,一个起始位,一个停止位,无奇偶校验位则其通信效率为(C)。
- A. 60% B. 70% C. 80% D. 90%
- (15) TTL 标准用(A)V 电平表示逻辑“1”;用(D)V 电平表示逻辑“0”;RS-232 标准用(C)之间的任意电平表示逻辑“1”;用(B)电平表示逻辑“0”。
- A. +5 B. +3~+15V C. -15~-3V D. 0
- (16) RS-485 的电气特性规定,在发送端,逻辑 1 以两线间的电压差为(C)表示;逻辑 0 以两线间的电压差为(D)表示;在接收端,A 比 B 高 200mV 以上即认为是逻辑 1,A 比 B 低(A)以上即认为是逻辑 0。
- A. 200mV B. 3V C. 2~6V D. -2~6V
- (17) (B)用于上位机与下位机的连接,(D)用于两台计算机间的数据通信。
- A. 串口并行线 B. 串口直连线 C. 串口串行线 D. 串口交叉线
- (18) DB-9 的第(C)引脚与 DB-25 的第(D)引脚表示信号地。
- A. 2 B. 4 C. 5 D. 7
- (19) DB-9 的第(A)引脚表示数据终端准备,第(C)引脚表示请求发送,第(D)引脚表示清除发送。
- A. 4 B. 6 C. 7 D. 8
- (20) 同步串行通信与异步串行通信比较,以下说法错误的是(D)。
- A. 异步通信按字符成帧,同步通信以数据块成帧
B. 异步通信对时钟要求不太严格,同步通信收发双方对时钟严格要求同步
C. 异步通信可以无校验,同步通信必须有校验
D. 异步通信传输数据的效率比同步通信高

- (21) 串行异步通信协议所规定的一帧数据中,允许数据的格式为(D)。
A. 5 位 B. 6 位 C. 7 位 D. 可选
- (22) 设异步传输时的波特率为 4800b/s,若每个字符对应一位起始位,7 位有效数据位,一位偶校验位,一位停止位,则每秒钟传输的最大字符数是(C)。
A. 4800 B. 2400 C. 480 D. 240
- (23) RS-232C 标准规定信号“0”和“1”的电平是(D)。
A. 0V 和 +3~+15V B. -15~-3V 和 0V
C. -15~-3V 和 +3~+15V D. +3~+15V 和 -15~-3V
- (24) 根据串行通信规程规定,收发双方的(C)必须保持相同。
A. 外部时钟周期 B. 波特率因子 C. 波特率 D. 以上都正确
- (25) 串行同步传送时,每一帧数据都是由(D)开头的。
A. 低电平 B. 高电平 C. 起始位 D. 同步字符
- (26) 在数据传输率相同的情况下,同步传输的字符传送速度高于异步传输的字符传送速度,其原因是(B)。
A. 同步传输采用了中断方式
B. 同步传输中所附加的冗余信息量少
C. 同步传输中发送时钟和接收时钟严格一致
D. 同步传输采用了检错能力强的 CRC 校验
- (27) 两台 PC 通过串口直接通信时,通常只需要三根信号线,它们是(A)。
A. TXD、RXD 和 GND B. DTR、RTS 和 GND
C. TXD、CTS 和 GND D. DSR、CTS 和 GND
- (28) 在异步串行通信中,表示数据传送速率的是波特率,这里的波特率是指(A)。
A. 每秒钟传送的二进制位数 B. 每秒钟传送的字节数
C. 每秒钟传送的字符数 D. 每秒钟传送的数据帧数

2. 填空题

(1) 异步串行通信规程规定,传送数据的基本单位是字符,其中最先传送的是起始位,信号电平低电平。

(2) 异步串行通信规定,传送的每个字符的最后是停止位,其宽度为1 位或 1.5 位或 2 位,信号电平为高电平。

(3) 同步串行通信包括面向字符型和面向比特型两类。

(4) 在串行通信中波特率是指每秒钟传送的二进制位数。

(5) 串行通信的传送方式有单工、半双工、双工三种。

(6) RS-232C 是常用的串行通信接口标准,它采用负逻辑定义。

(7) 设异步传输时,每个字符对应 1 个起始位,7 个有效数据位,1 个奇偶校验位和 1 个停止位,若波特率为 9600b/s,则每秒钟传输的最大字符数为 $9600/(1+7+1+1)=960$ 。

(8) 异步通信规定传输数据由起始位、数据位、奇偶校验位和停止位组成。

(9) 在串口接线中最为简单且常用的是三线制接法,即信号地、接收数据和发送数据三根引脚进行互连。

(10) 在串口通信中,两个设备要进行数据交换,需坚持一个原则,即接收数据针脚(或

线)与发送数据针脚或线)相连,彼此交叉,信号地对应相接。

(11) RS-323C 工作时,应保证电平在 $\pm 3 \sim 15V$ 之间。

3. 判断题

(1) 同步通信在传送数据的同时不需用传送时钟信号。(错)

(2) 数字信道既可以传输数字信号,也可以传输模拟信号。(错)

(3) 传呼机或广播中数据的传输属于半双工方式。(错)

(4) 对讲机是一种典型的半双工模式。(对)

(5) 波特率和比特率是一个概念,都是指每秒钟所传输的码元数。(错)

(6) 在计算机“设备管理器”的“端口 COM 和 LPT”一项中,COM 指的是串行端口, LPT 指的是打印机端口。(对)

(7) RS-232C 的传输距离可以达到 2000m。(错)

(8) RS-485 总线接口的传输距离可以达到 1200m。(对)

(9) EIA-RS-232C 与 TTL 集成电路表示逻辑状态的规定是相同的。(错)

(10) RS-485 采用半双工工作方式,而 RS-422 采用全双工工作方式。(对)

(11) RS-485 一般只需两根信号线,均采用屏蔽双绞线传输,用于多点互连时非常方便,可以省掉许多信号线。(对)

(12) RS-232 总线能同 TTL 器件直接连接。(错)

(13) PC 的 RS-232C 的串行通信接口线上是 TTL 电平。(错)

(14) 并行和串行通信都要求有固定的数据格式。(错)

4. 简答题

(1) 简要说明异步串行通信的帧格式。

异步串行通信的帧格式规定如下。

① 帧信息由起始位、数据位、奇偶校验位、终止位组成;

② 数据位由 5、6、7、8 位组成;

③ 数据位前加上一位起始位(低电平);

④ 数据位后可加上一位奇偶校验位(可加可不加,可以奇校验,也可以偶校验);

⑤ 最后加上 1, 1/2 或 2 位终止位(高电平);

⑥ 由此组成一帧信息,传送一个字符,由低位开始。

一帧信息与另一帧信息之间可以连续传送,也可以插入任意个“空闲位”(高电平)。

(2) 什么叫波特率因子? 设波特率因子为 64,波特率为 1200,那么时钟频率是多少?

波特率因子是异步传送中采样信息的时钟频率与信号的波特率之比。

$$\text{时钟频率} = \text{波特率因子} \times \text{波特率} = 64 \times 1200 = 76\,800\text{Hz}$$

(3) 某系统采用串行异步方式与外设通信,发送字符格式由 1 位起始位、7 位数据位、1 位奇偶校验位和 2 位停止位组成,波特率为 2200b/s。试问:该系统每分钟发送多少个字符?若选波特率因子为 16,问发时钟频率为多少?

因为发送字符格式由一位起始位、7 位数据位、一位奇偶校验位和两位停止位组成,所以一帧数据长度为 11 位,而波特率为 2200b/s,由此计算出该系统每秒钟发送 $2200 \div 11 = 200$ 字符,每分钟为 $200 \times 60 = 12\,000$ 字符。发送时钟频率为 $2200 \times 16 = 35\,200\text{Hz}$ 。

(4) 什么是 RS-232-C 接口? 采用 RS-232-C 接口有何特点? 传输电缆长度如何考虑?

计算机与计算机或计算机与终端之间的数据传送可以采用串行通信和并行通信两种方式。由于串行通信方式使用线路少、成本低,特别是在远程传输时,避免了多条线路特性的不一致而被广泛采用。在串行通信时,要求通信双方都采用一个标准接口,使不同的设备可以方便地连接起来进行通信。RS-232-C 接口(又称 EIA-232-C)是目前最常用的一种串行通信接口。它是在 1970 年由美国电子工业协会(EIA)联合贝尔系统、调制解调器厂家及计算机终端生产厂家共同制定的用于串行通信的标准。它的全名是“数据终端设备(DTE)和数据通信设备(DCE)之间串行二进制数据交换接口技术标准”,该标准规定采用一个 25 个脚的 DB25 连接器,对连接器的每个引脚的信号内容加以规定,还对各种信号的电平加以规定。

① 接口的信号内容实际上 RS-232-C 的 25 条引线中有许多是很少使用的,在计算机与终端通信中一般只使用 3~9 条引线。RS-232-C 最常用的 9 条引线的信号内容如表 3.5 所示。

表 3.5 引线信号内容

引脚序号	信号名称	符号	流向	功能
2	发送数据	TXD	DTE→DCE	DTE 发送串行数据
3	接收数据	RXD	DTE←DCE	DTE 接收串行数据
4	请求发送	RTS	DTE→DCE	DTE 请求 DCE 将线路切换到发送方式
5	允许发送	CTS	DTE←DCE	DCE 告诉 DTE 线路已接通可以发送数据
6	数据设备准备好	DSR	DTE←DCE	DCE 准备好
7	信号地			信号公共地
8	载波检测	DCD	DTE←DCE	表示 DCE 接收到远程载波
20	数据终端准备好	DTR	DTE→DCE	DTE 准备好
22	振铃指示	RI	DTE←DCE	表示 DCE 与线路接通,出现振铃

② 接口的电气特性在 RS-232-C 中任何一条信号线的电压均为负逻辑关系。即:逻辑“1”, $-5\sim-15\text{V}$;逻辑“0”, $+5\sim+15\text{V}$ 。噪声容限为 2V。即要求接收器能识别低至 +3V 的信号作为逻辑“0”,高到 -3V 的信号作为逻辑“1”,如表 3.5 所示。

③ 接口的物理结构 RS-232-C 接口连接器一般使用型号为 DB-25 的 25 芯插头座,通常插头在 DCE 端,插座在 DTE 端。一些设备与 PC 连接的 RS-232-C 接口,因为不使用对方的传送控制信号,只需三条接口线,即“发送数据”“接收数据”和“信号地”。所以采用 DB-9 的 9 芯插头座,传输线采用屏蔽双绞线。

④ 传输电缆长度由 RS-232C 标准规定在码元畸变小于 4%的情况下,传输电缆长度应为 50 英尺,其实这个 4%的码元畸变是很保守的,在实际应用中,约有 99%的用户是按码元畸变 10%~20%的范围工作的,所以实际使用中最大距离会远超过 50 英尺,美国 DEC 公司曾规定允许码元畸变为 10%而得出表 3.6 的实验结果。其中 1 号电缆为屏蔽电缆,型号为 DECP. NO. 9107723 内有三对双绞线,每对由 22# AWG 组成,其外覆以屏蔽网。2 号电缆为不带屏蔽的电缆。型号为 DECP. NO. 9105856-04 是 22# AWG 的四芯电缆。表 3.6 为 DEC 公司的实验结果。

表 3.6 实验结果

波特率	1 号电缆传输距离/英尺	2 号电缆传输距离/英尺
110	5000	3000
300	5000	3000
1200	3000	3000
2400	1000	500
4800	1000	250
9600	250	250

(5) 什么是 RS-485 接口？它与 RS-232-C 接口相比有何特点？

由于 RS-232-C 接口标准出现较早,难免有不足之处,主要有以下 4 点。

① 接口的信号电平值较高,易损坏接口电路的芯片,又因为与 TTL 电平不兼容故需使用电平转换电路方能与 TTL 电路连接。

② 传输速率较低,在异步传输时,波特率为 20kb/s。

③ 接口使用一根信号线和一根信号返回线而构成共地的传输形式,这种共地传输容易产生共模干扰,所以抗噪声干扰性弱。

④ 传输距离有限,最大传输距离标准值为 50 英尺,实际上也只能用在 50m 左右。

针对 RS-232-C 的不足,于是就不断出现了一些新的接口标准,RS-485 就是其中之一,它具有以下特点。

① RS-485 的电气特性:逻辑“1”以两线间的电压差为 $+2\sim 6\text{V}$ 表示;逻辑“0”以两线间的电压差为 $-2\sim 6\text{V}$ 表示。接口信号电平比 RS-232-C 降低了,就不易损坏接口电路的芯片,且该电平与 TTL 电平兼容,可方便与 TTL 电路连接。

② RS-485 的数据最高传输速率为 10Mb/s。

③ RS-485 接口是采用平衡驱动器和差分接收器的组合,抗共模干能力增强,即抗噪声干扰性好。

④ RS-485 接口的最大传输距离标准值为 4000 英尺,实际上可达 3000m,另外 RS-232-C 接口在总线上只允许连接一个收发器,即单站能力。而 RS-485 接口在总线上是允许连接多达 128 个收发器。即具有多站能力,这样用户可以利用单一的 RS-485 接口方便地建立起设备网络。

因 RS-485 接口具有良好的抗噪声干扰性,长的传输距离和多站能力等上述优点就使其成为首选的串行接口。因为 RS-485 接口组成的半双工网络,一般只需两根连线,所以 RS-485 接口均采用屏蔽双绞线传输。RS-485 接口连接器采用 DB-9 的 9 芯插头座,与智能终端 RS-485 接口(采用 DB-9 孔),与键盘连接的键盘接口 RS-485(采用 DB-9 针)。