

电子电路系统及标准 最佳设计及实践

林君 别红霞 编著

国防工业出版社

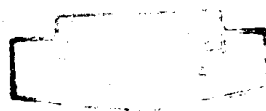
TN710
L 522

751137

电子电路系统及标准 最佳设计及实践

林 君 别红霞 编著

Y204/11



21113001100216

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

电子电路系统及标准: 最佳设计及实践/林君, 别红霞
编著. —北京: 国防工业出版社, 1998. 1

ISBN 7-118-01783-33

I. 电… I. ①林…②别… II. 电子电路-设计 N.T
N702

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 12963 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

河北三河市腾飞胶印厂

新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 482 千字

1998 年 1 月第 1 版 1998 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 28.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

电子技术发展到今天,无论是器件的集成化还是器件的性能等方面都有了惊人的发展,要实现一种电路的功能往往是一件很简单的事,因为只要了解高度发展的集成电路器件的性能和使用方法,就可以搭成满足一定要求的电路。对设计者来说,或许不必了解有关电子电路工作原理方面的知识也能设计电子电路了!但是,若要组成高性能的电路,涉及的知识面则很广,不仅要全面了解和掌握元器件的性能,还要有扎实的电子专业基础知识。更重要的一点是,对电子设计师而言,必须具有创新的电子设计意愿和思想。

有关电子电路方面的设计精华,国内分别出版了日本和美国的电子电路精选,给出了电路、必要的说明以及电路的参数和元器件表等,但对电路的创新性说明较少,因此这些电路可供引用者参考,却没有去启发人们进行电路的设计创新。电子技术发展迅速,电子元器件亦发展迅速,更新更快,这就导致电子电路设计千变万化。对电子电路、系统和标准来说,通过一些最佳的设计实例来启发读者思考和创新,启迪电子设计工程师推出更佳的设计,这就是本书的目的和宗旨。

本书的主要读者对象是电子设计工程师、电子专业的大专院校师生以及从事电子设计的科技工作者。

由于编者水平有限,错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

1997 年 3 月

内 容 简 介

本书选编了国际上电子设计工程师们精心设计的电子电路、系统及标准的最佳设计实例,这些实例不仅给出了电路图,而且还给出了工作原理、设计思想和设计技巧。电子电路设计,无论是模拟电路还是数字电路,都需要有创新的设计思想,读后不仅仅可以直接引用这些设计,更重要的一点是给读者以启迪,引发人们去创造更佳的设计,这正是本书的主要内容和目的。

本书可作为电子设计工程师、电子爱好者、科研人员和大专院校电子专业的师生参考。

目 录

一、异或门控制振荡器频率	(1)
二、将电压比转换为频率	(2)
三、MIL-STD-1553 总线应用于各种军用系统	(4)
四、用二极管和电容模拟变压器	(16)
五、用数字方式调制信号相位	(18)
六、创新的设计技术得到最佳的计数振荡器	(20)
七、使用运算放大器、模数转换器得到零衰减的采样/保持器	(26)
八、综合业务数字网络(ISDN)终端简化数据传送	(27)
九、用中频(IF)芯片组成音频分贝检测器	(36)
十、使用了 1k 位 RAM 的通用斜坡发生器	(38)
十一、用集成电路简化单边带接收器的设计	(40)
十二、使用四个二极管的三相电压源	(49)
十三、滑动 FFT 实时计算频谱	(50)
十四、固定增益的可变 Q 带通滤波器	(59)
十五、增强型运算放大器可以提供峰-峰值为 100V 的电压	(61)
十六、电压基准源	(64)
十七、可振荡的 CMOS 电路	(73)
十八、确保振荡的 CMOS 电路	(74)
十九、放大器的微功率具有简单性和通用性	(75)
二十、三极管限幅器提供平顶输出	(85)
二十一、运用简单的步骤,离散化模拟函数	(87)
二十二、幅度锁定环加速滤波器测试	(93)
二十三、功率金属氧化物半导体场效应管(MOSFET)和绝缘栅双极晶体 管(IGBT)	(95)
二十四、具有无限时间常数的放大器	(105)
二十五、电压分压器开关增大了数字面板表的范围	(107)
二十六、运用正确的哲学原理使故障探测更加有效	(108)
二十七、运算放大器提供锁相环	(115)
二十八、分析测试故障得到性能可靠的产品	(117)
二十九、用电阻器代替“或”电路	(127)
三十、金属氧化物半导体场效应管提供低耗整流	(128)
三十一、预测编码可以提高 AD 转换器的性能	(130)
三十二、运算放大器减小变压器的衰减	(141)

三十三、设计时考虑安全特性可方便地使产品符合安全标准	(143)
三十四、结型场效应管用作一个低功率逻辑转换器	(155)
三十五、浮点数处理迭代算法和递归算法	(156)
三十六、使用多种技术得到快速时钟	(163)
三十七、双向的电源隔离器	(164)
三十八、使用一个浮动的合成电感器可以将无源滤波器变为有源滤波器	(166)
三十九、运算放大器构成线性电流源	(172)
四十、低噪声、宽范围的晶体振荡器的设计方法	(174)
四十一、非线性负载扩展锁相环路的频率范围	(180)
四十二、方波振荡器频率范围可以从直流到 20MHz	(181)
四十三、用一个四功能计算器设计有源 Elliptic 滤波器	(184)
四十四、用晶体管形成低噪声的调整管	(190)
四十五、用试选法简化有限冲激响应滤波器的设计	(191)
四十六、单个电池使发光二极管(LED)发光	(204)
四十七、删除了电源线周期的电路	(205)
四十八、了解电容的吸收力以最优优化模拟系统	(207)
四十九、使用数字技术进行模拟延时	(214)
五十、非线性元件减小噪声衰减滤波器的稳定时间	(216)
五十一、间歇转换器能够节省功率	(220)
五十二、能抑制 100V 共模范围的放大器	(222)
五十三、用单运放电流激励源提高电路性能	(224)
五十四、使用少数元件组成两路放大器	(233)
五十五、放大器应用于双工线路	(236)
五十六、用有源反馈提高放大器的相位精度	(237)
五十七、地址重叠的 EPROM、RAM 和 I/O 译码	(248)
五十八、使增益为 2 简化低通滤波器设计	(250)
五十九、用热测试器检测晶体管	(253)
六十、通过适当的观察窗口来提高频谱分析能力	(254)
六十一、具有惊人精度的分压器	(265)
六十二、测试一个噪声源是否是高斯(Gaussian)噪声	(266)
六十三、得到不重复的随机数的方法	(268)
六十四、电流反馈放大器有利于高速系统	(269)
六十五、从 1.5V 中得到 5V 电压的升压转换器	(281)
六十六、运用简单的对数运算可以加快微处理器的算术运算	(283)
六十七、由交流线路中得到隔离的、稳定的 5V 电压	(290)
六十八、精确的单稳脉冲产生电路	(292)
六十九、具有八输出的相移器	(294)
七十、具有低噪声、低漂移的组合放大器	(296)
七十一、从 4AA 电池得到 +5V/+3.6V 输出	(297)

七十二、低功耗的 5V 不间断电源(UPS)	(299)
七十三、PC 机并行 I/O 口的应用	(300)
七十四、浮点数据采集系统的设计	(312)
索引	(320)
参考文献	(324)

一、异或门控制振荡器频率

给一个标准的 CMOS 振荡器加一个异或门能够得到一个简单而又稳定的频移键控 (FSK) 发生器。在这个电路中 (如图 1-1 所示), 数据输入控制门 IC_{1D} , 形成了由 IC_{1A} 、 IC_{1B} 、 IC_{1C} 所组成的振荡器外围的正反馈或负反馈。

当输入数据变为低电平时, IC_{1D} 为非反相方式, R_2 提高电容 C 的充电率。当输入变为高电平时, IC_{1D} 反相, R_2 降低电容 C 的充电电流, 从而降低了振荡器的频率。

R_1 和 C 设置了振荡器的频率范围, R_2 决定了电路的频移。为确保频率稳定性, 使 R_3 比 R_1 大得多, 并选用高质量的反馈电容 C 。注意: 构成振荡器本身的三个门不必用异或门, 我们可以选用任意的 CMOS 反相器。

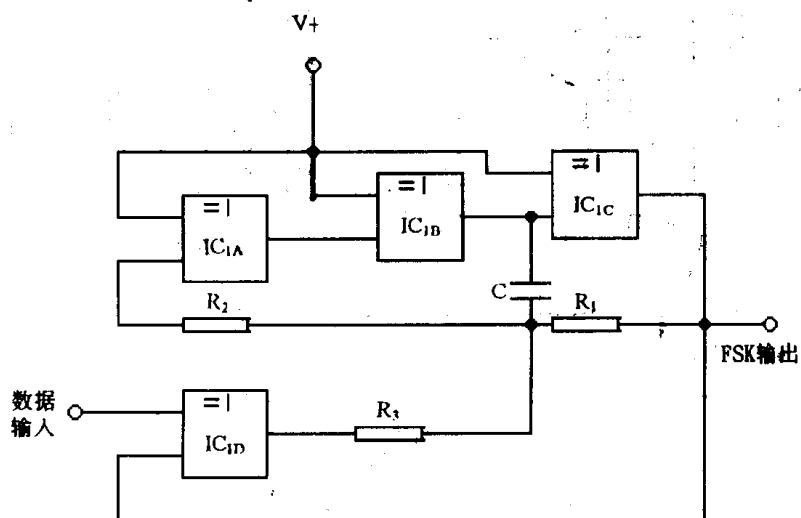


图 1-1 一个异或门 (IC_{1D}) 将一个简单的 CMOS 振荡器变为一个 FSK 发生器。当数据输入为高时, IC_{1D} 反相, 通过 R_2 的负反馈使电路的输出频率降低; 输入数据变低时, 则产生正反馈, 使输出频率升高

(注: $IC_1 = CD4070B$; $R_1 \geq 15k\Omega$; $R_2, R_3 \geq 3R_1$; $f_0 \approx \frac{1}{2R_1C}$; $V_+ = 5 \sim 15V$)

二、将电压比转换为频率

图 2-1 中的电路接收两个正的输入电压 V_N 和 V_D ，输出重复率与 V_N/V_D 成比例的 TTL 可兼容的脉冲串，满刻度输出频率大约为 100Hz，线性误差低于 0.5%。

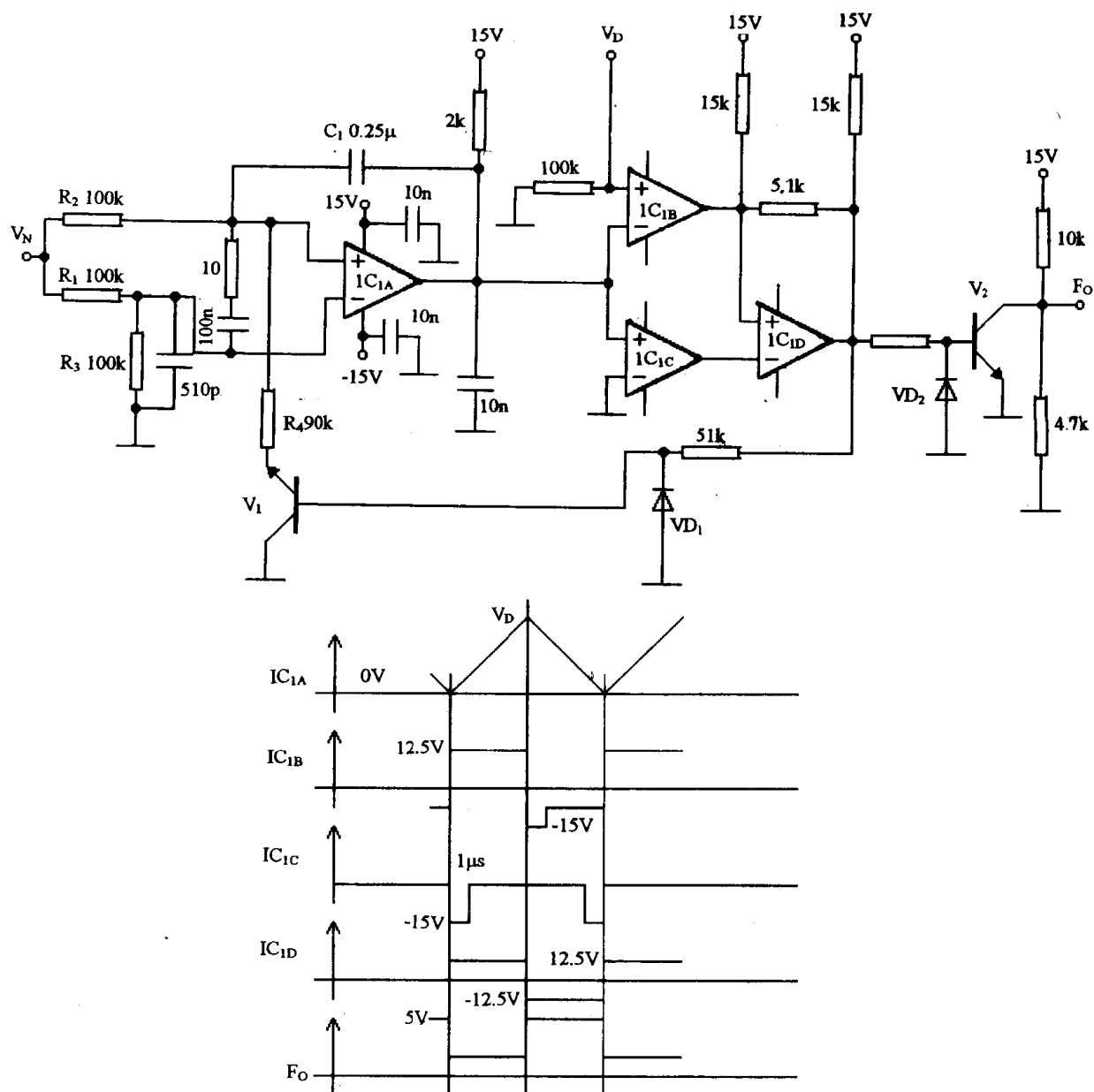


图 2-1 这个电压比/频率转换器得到 KV_N/V_D 的、TTL 可兼容的输出脉冲串，

其中 V_N 和 V_D 是输入电压， $K=1/(4R_2C_1)$ ，线性误差小于 0.5%

(注：IC₁=LM339；V₁，V₂=BC172；VD₁，VD₂=IN4148)

设 $R_1 = R_3$, 则输出频率 $F_0 = KV_N/V_D$, 其中 $K = 1/(4R_2C_1)$ 。运算放大器 IC_{1A} 交替对 $V_N/2$ 和 $-V_N/2$ 积分, 产生一个锯齿波输出, 在 V_D 到地之间斜变。例如, 当三极管 V_1 打开时, IC_{1A} 从 $-V_N/2$ 开始积分, 直到其输出等于 V_D 。此时, 比较器 IC_{1B} 的双稳态输出变低, 引起 IC_{1D} 的双稳态输出变低, 关断 V_1 , 则 IC_{1A} 的输出在负方向斜变。当输出达 $0V$ 时, 比较器 IC_{1C} 翻转, V_1 打开, 则周期重复。三极管 V_2 将 IC_{1D} 的输出转换为 TTL 可兼容的输出逻辑电平。

设 $V_D = 1.00V$, 则得到线性的电压/频率 (V/F) 转换器 ($F_0 = KV_N$); 设 $V_N = 1.00V$, 则得到一个倒数 V/F 转换器 ($F_0 = K/V_D$)。

三、MIL-STD-1553 总线应用于各种军用系统

很多军用系统设计者都使用 MIL-STD-1553 总线将设备互联,而不用单个的电缆线。1553 总线的基础是一双绞线电缆,支持一总线控制器和 31 个终端设备,其结果是一个标准的、可靠的通讯系统,每秒传输数据 1M bit,使用标准的 20 位串行传输协议。1553 总线除了可以增加电子军用硬件的可靠性以外,还有一个优点是:当产品供应厂家提供升级或更先进的系统封装时,总线不必变化。

使用 1553 总线,设计师能很快地为新任务重构电子“黑箱”,不需对航空器重新连线,这样可能集中研究控制系统的电子干扰而不是某一个特定的系统。

高速数字网络和光纤系统最终可能取代具有十几年历史的 1553 总线,但是要建立军用的相应标准还需要一定时间。然而,防御部门正尝试在美国海军的 P-3C Orion(一个能检测、分类、跟踪航空器、轮船和潜艇的航空器)的第四次改进型上安装 1773 光纤总线。无论如何,多数航空电子设备和军用系统的生产厂商相信 1553 总线将会使用一段时间。同样,大多数军用用户指出将来高速数据总线可能很有用,但 1553 总线的 1M bps 的数据传输率满足当前多数要求。因为 MIL-STD-1553 总线已很好地形成了,所以三军设备及其供应厂商要换用新总线还需要认真协商。

现在,1553 总线主要用于航海、航空控制、防御系统、通信、控制、显示以及进攻系统的控制系统硬件。虽然很多人认为 1553 总线是空军标准,但是海军和陆军也应用 1553 总线,例如地面应用 Sgt York 区划防空(DIV AD)炮瞄系统,海军应用,如用于三叉戟 II 型潜艇控制的航海系统(见 3.6 节:1553 总线的军事应用)。

按照福特航空公司的区划防空项目工程领导人 William Hartnett 的说法,DIV AD 系统使用 1553 总线是因为它有非常明确的协议,而且还有一个结构很好的可用接口。Hartnett 还说,1553 总线的 1M bps 的数据率足以满足 DIVAD 系统的要求。

1553 总线标准是 1973 年由汽车工程协会委员会制定的,这个委员会于 1975 年修改了这个标准,再次公布称为 MIL-STD-1553A,是三军通用标准。在 1978 年,当它被北大西洋公约组织采纳时,又一次被修改,最后一次修改版本消除了模糊性,几乎没有给设计者留注释。最初的三军通用标准及其修改过的版本(现在称为 1553B)都指出:总线设备以 1M bps 的速率进行双相的曼彻斯特(Manchester) II 格式信息通信,标准中也指出了总线信号的上升时间和下降时间。一些生产厂家声明他们的设备是 1553 可兼容的,而其他一些厂家指出他们所遵从的特殊标准:1553A、1553B 或二者均符合(见 3.1 节:“MIL-STD-1553 标准”一节)。

主总线由一个屏蔽的、标准阻抗为 70Ω 的双绞电缆组成,具有适当阻抗比的变压器将 1MHz 的双相信号耦合到总线上。1553 标准允许使用短抽头(1 英尺或更短)和长抽头(在 1 英尺和 20 英尺之间)将设备连到主总线上(如图 2-3),有几个生产厂家提供了 1553 式系统的总线终端,也提供变压器耦合器。

ILC Data Device 公司是生产 1553 变压器的一个生产厂商,变压器具有可调的匝比范围,以便于三种变压器模型满足长抽头和短抽头的阻抗匹配要求。例如,25679 总线变压器可以提供 1.4:1 或 2:1 的匝比,这取决于所选的绕组。所有的三种变压器长、宽均为 0.63 英寸,高为 0.275 英寸或 0.3 英寸,这取决于所选的型号。

SCI Systems 有限公司是一家提供预先封装总线耦合设备的生产厂商,此厂家生产 24 种这样的设备。用户可以指定连接器、端接电阻,也可以指定一个抽头或两个抽头的输出。这些耦合器提供了多种总线连接器,但是选择哪一种取决于总线中所用的连接器。可用的连接器有 Trompter 电子股份有限公司生产的 BJ30、BJ77、BJ377、BJ150,还有 Raychem 公司的 D-602-55 插座。

要设计一个与总线传递信息的电路,就必须考虑系统的噪声抑制、信号阈值和上升时间等要求。商业可用的发送器和接收器可控制传送的合适的电压电平和上升时间,这两种设备也对输入信号进行滤波,只将超过预先所设置的阈值的信号传送到接收器。数字总线控制器电路使用 TTL 可兼容的信号与总线接收器和发送器组件通讯。

虽然称这些设备为发送器、接收器和收发器,但它们不能编码或解码数字信息。发送器接收双相 TTL 信号,驱动将整个系统耦合至 1553 总线的变压器。接收器执行相反的操作,将总线信号转换成总线控制电路所用的双相 TTL 信号。例如:Aeroflex 实验室的 ARX-18553 收发器模块和发送器电路。发送器电路接收双相 TTL 信号,并在 140Ω 负载两端产生一个峰-峰值为 27V 的差动信号。内部设置的控制电压使接收器忽略峰-峰值小于 0.3V 阈值的信号,仅仅将峰-峰值超过 1.0V 的信号转换成 TTL 电平,并且发送给总线控制电路。

另一个 Aeroflex 设备是 ARX-28553,可以用 36 脚的双列直插式封装和 36 脚的扁平封装。这个设备含有两个单独的收发器,以用于需要两个独立但等价(双冗余)总线的系统。这个厂家的器件需要 $\pm 12V$ 或 $\pm 15V$ 的电源电压,还需要有一个阻抗匹配的变压器,以便与 1553 总线相连。

ILC Data Device 股份有限公司提供几种类型的总线收发器,包括 Bus-8554 收发器,它抑制峰-峰值小于 750mV 阈值的 1553 总线信号,通过一个外部电阻将阈值编程脚接地,我们可以将阈值从 0V 变到峰-峰值为 2V。该厂家还生产 Bus-8559 收发器,具有连续可变的输出,此可变输出由控制脚上 0~15V 的控制电压设置,我们可以在峰-峰值 0 和 6.5V 之间改变发送器的输出电平。以不同的电压发送一串总线信号,可以测试总线接收器的响应。

3.1 MIL-STD-1553 总线标准

尽管 MIL-STD-1553 总线(更恰当地称为航空器内部时间划分命令/响应多数据总线)已有十几年的历史,但它还是一直受到军用部门及军用电子设备生产者的欢迎。MIL-STD-1553 的资料指明在控制器和远程终端之间异步串行通讯使用双绞线进行,传送速率固定为 1M bps(尽管更精确地说每一位都有 $1\mu s$ 的间隔,因为有总线无效的时间)。除了指定传送格式以外,MIL-STD-1553 还指明了电压电平、总线阻抗、波形上升时间和下降时间以及设备耦合的要求。总线上的每个设备都使用 20 位的字进行命令、数据和状态信息通

信(如图 3-1),每一个字开始都有 3 位同步序列使接收器识别传送类型,字通常用奇偶校验位结束。从传送的字中除去三个同步位和一个校验位,则剩下 16 位的信息。

命令字使用 5 位来识别要接收信息的远程终端,用另外 5 位识别由即将接收传送的远程终端所控制的子设备(如果有的话)。一组五位的字计数和方式代码位告诉远程终端后面将有多少个数据字,这五位也指明了方式码,使总线设备执行一个指定的控制操作。虽然有 32 种可能的方式码,但 1553 仅允许 15 种。命令字中包括一个发送/接收位,通知远程终端工作在接收方式还是传送方式。

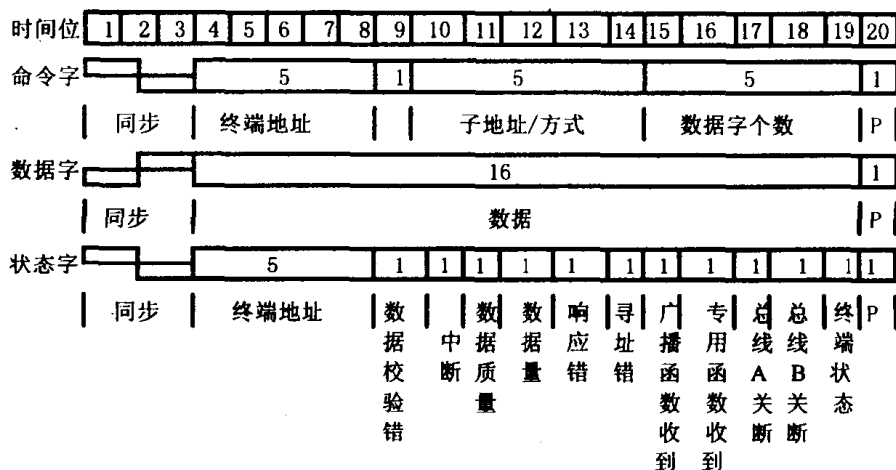


图 3-1 命令字、数据字和状态字的格式,每个字都有 20 位,前三位是同步信息,最后一位是校验位

除了同步位及校验位以外,数据字是没有格式的,因此用户可以随意使用这 16 个数据位,但是必须使用 16 位。

状态字在 1553 总线上的设备之间传送标志信息和状态信息。当一个设备收到正确的信息时,它就向发送设备发送一个状态字;如果设备收到错误信息,例如不正确的校验位或一个多余位,那么就不发送状态字。如果发送器在规定时间内接收不到所预期的状态响应,它就知道接收器有故障,发送器能再一次发送信息或询问接收器的状态信息以便查明所出现的错误类型。

虽然状态字看起来很复杂,但 1553 标准只需要第九位的校验位(或错误信息位)。除了同步位、校验位和远程终端地址位以外,其他状态位是可选的。图 3-2 给出了一个发送信息序列。

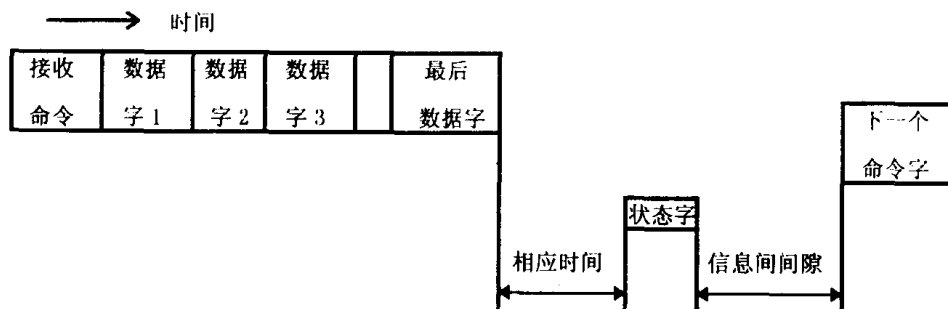


图 3-2 一个发送信息序列包括一个命令字,其后为数据。无误差地收到数据后,接收器向发送器发送一状态字作为响应

1553 标准指定 30 种信息传送格式。其中的六种是在总线控制器和一个所选的远程终端之间或者在两个远程终端之间传送数据信息和状态信息,另外四种格式是用于将信息从总线控制器上广播到支持该广播格式的所有远程终端上。接收器是不接收广播信息的,因为同时从所有远程终端到来的响应将引起总线碰撞,所以当需要特定的状态信息时,总线控制器要请求单个远程终端的响应。

总线接口电路按曼彻斯特Ⅱ双相格式对总线信号编码,在每一位中间有一个 0 电压。唯一例外的是同步位,它们有其自己的格式,因为这个格式不是合法的曼彻斯特码,所以总线设备不会将其误以为是数据。曼彻斯特编码信息是自同步的,没有直流成分,可以理想地用于异步变压器耦合总线。

3.2 控制芯片

虽然收发器具有到总线的通路,但还需要另外的电路将收发器和整个航空电子系统连接起来(图 3-3)。这些控制电路产生 1553 总线的编码信息,也为系统接收和解码总线信息(图 3-4)。Standard Microsystems 有限公司的 COM-1553A 和 COM-1553B 芯片符合该总线标准,并含有支持 1553 总线协议的电路。COM-1553A 收发器芯片具有 15 条控制信号线和状态信号线,有八根双向数据线将数据送入或传出芯片及其主机。COM-1553A 芯片不使用完整的 16 位字,一次只传送数据的一个字节。因此,在 1M bps 数据率下,此芯片能在每 600ns 后接收后继字节。如果收发器芯片的主机是一个计算机系统,则可能需要在计算机和总线控制器芯片之间加一个先进先出(FI-FO)缓冲器或其他的高速存储器系统。

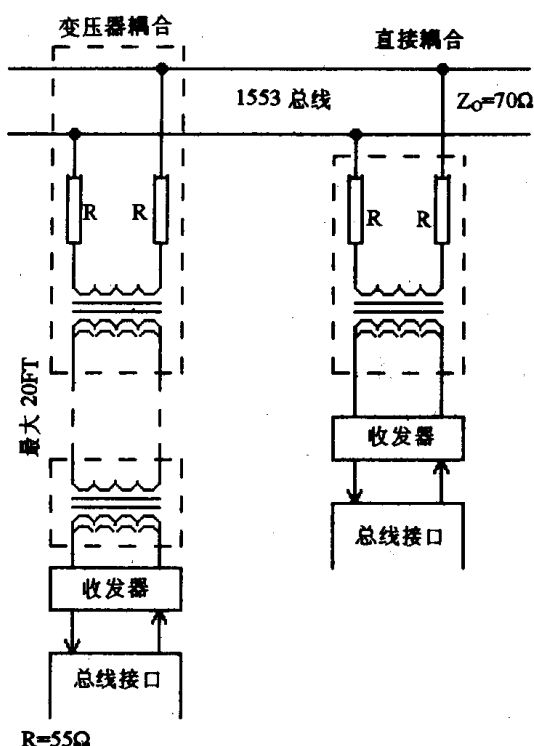


图 3-3 两种变压器耦合使我们可以将设备用作长抽头也可用作短抽头。

长抽头需要两个变压器,一个在主总线电缆上,另一个在总线设备上

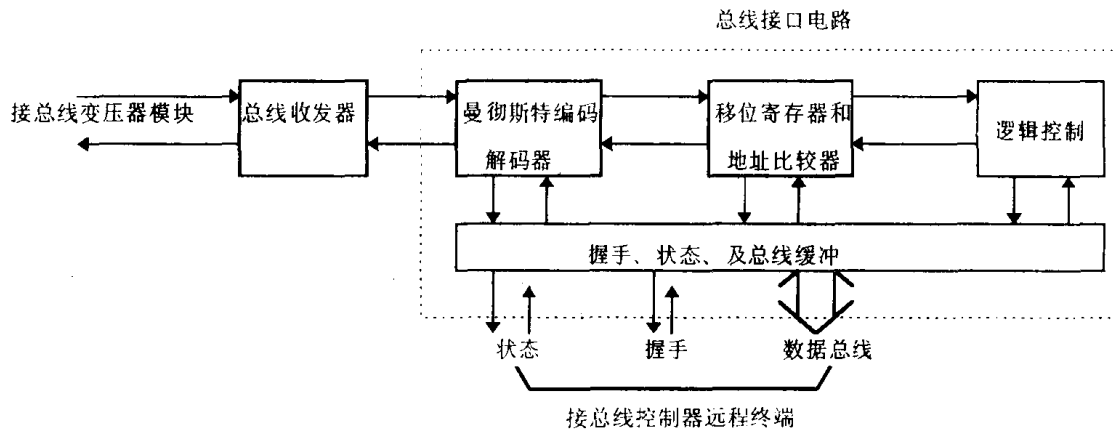


图 3-4 总线控制器包括传送信息解码电路及五位终端地址识别电路。发送器部分将并行数据变为串行并增加同步位及奇偶校验位。还有些设备包括曼彻斯特编码-解码电路

尽管 1553 总线提供了一个标准格式,但设计者还有选择怎样使用数据总线的余地。

COM-1553A 芯片执行并行到串行及串行到并行的转换,我们可以选择使其作为远程终端或者作为 1553 总线控制器。每个总线仅有一个控制器来管理和监控所有总线操作。能将一个设备从远程终端变成总线控制器操作的系统可以含一个计算机远程终端,在主总线控制器出故障时能接管总线控制器的功能。

为了正确地格式化送入或传出 1553 总线信息,COM-1553A 芯片需要一额外的曼彻斯特编码/解码芯片。Standard Microsystems 公司引进了 Harris 半导体公司的 HD-15531 CMOS 曼彻斯特编码器/解码器。COM-1553A 和 HD-15531 都需要 5V 电源。COM-1553A 在 Crumman 宇航公司的 PC 板上也可见到,Crumman 宇航公司与 Standard Microsystems 公司共同开发 1553A 芯片。

Standard Microsystems 公司也推出了 COM-1553B 芯片,此芯片是改进的总线收发器,它与 COM-1553A 器件不是管脚与管脚兼容的。COM-1553B 芯片包括曼彻斯特编码和解码电路,作用了双缓冲的 16 位数据线与其主计算机通讯(图 3-5)、13 根控制线处理芯片的数据总线握手协议,也控制芯片的内部操作。在大多数应用中,COM-1553B 芯片用直接存储器访问(DMA)技术来与其主计算机交换命令字、数据字和状态字,此芯片可以用作一个远程终端也可用作 1553 总线控制,能够辨识协议命令并自动产生正确的响应。这个作用可以使主计算机省去控制数据传输所需的处理时间。

很多公司已将它们自己制做的总线控制器作为其航空电子设备的一部分。Boeing 除了开发航空系统和军用电子系统外,还在探索几种工艺,包括 CMOS 硅-蓝宝石(CMOS SOS)和砷化镓(GaAs),以设计 1553 总线系统及军用计算机的防辐射控制器。Boeing 正用内部资金向这些研究投资,现在已有生产超大规模集成电路(VLSI)器件的能力。

几个生产厂家提供了作为混合电路、插入式模块的 1553 总线控制器,接收并发送数据。ILC Data Device 公司推出了 BUS-65101,将一个不灵活的远程终端电路放在一个 1.6 英寸×1.9 英寸、68 管脚的封装内,虽然生产者把此产品作为一个远程终端,但是该器件也可以以总线控制器方式工作。这个器件包括一个收发器、一个编码/解码器、控制逻辑和一个内部时钟电路,提供了六个控制管脚,允许我们以字节或字格式化信息。无论选择哪

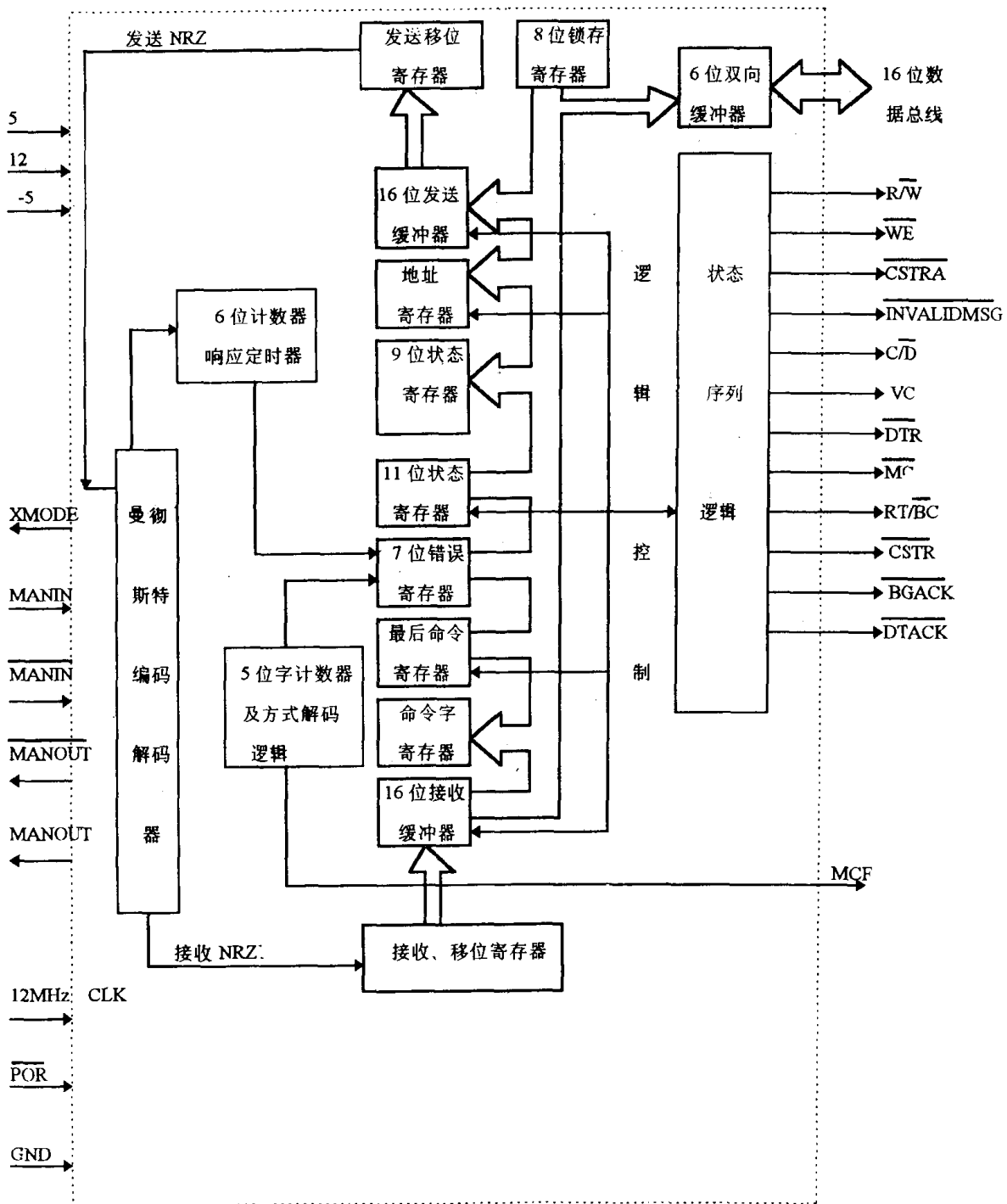


图 3-5 COM-1553B 芯片包括支持 1553 总线远程终端或总线控制器的所有电路。

16 位数据总线及握手信号支持高速数据传送的 DMA 操作

种方式,数据总线都有三态输出。远程终端电路含有一个不间断的定时器,一旦传送超过 768 μ s 就向主机发出信号,长传输会独占总线,而 1553A/B 标准是不允许的。

如果用户需要一个仅在远程终端方式下工作的接口,则 Aeroflex 提供了 ARX-1555 数据终端位处理器电路。在接收方式中,这个器件从 1553 总线中得到串行数据,检测错误信息,解码命令字并向主机发送并行数据。接收器电路也会产生主机控制信号和握手信