

# 基于多 MCU 的自动测试诊断系统的设计

刘玉珠, 柴新禹

(上海交通大学 生物医学工程系, 上海 200030)

**摘要:** 详细介绍了基于多 P89C668 单片机的组合逻辑电路自动测试诊断系统的设计, 包括硬件结构设计和软件设计。该自动测试诊断系统采用 USB 接口实现计算机与诊断平台的通信, 其移动式结构便于在现场进行测试, 且设备成本低、操作简单。

**关键词:** 自动测试诊断系统 多单片机 P89C668 USB

随着 IT 产业和通信技术、电子技术、计算机技术的高速发展, 大量的生产装备和产品的电子化、数字化、自动化、智能化的程度越来越高, 与之配套的电子测量设备必须适应这种形势。因此, 综合测量技术、电子技术、自动化技术和计算机技术于一体的自动测试系统发展日益完善, 在一些高度电子化产品、航空航天和军用武器装备中以及工业自动化、通信、光学、能源等诸多领域中得到了广泛应用。

一般意义的自动测试系统是指采用计算机控制, 能实现自动化测试的系统。这类系统通常是在标准的测控总线或仪器总线 (CAMAC、GPIB、VXI、PXI、CAN 等) 的基础上组建而成的。目前, 通用串行总线 (Universal Serial Bus, 即 USB) 以其方便的即插即用和热插拔特性及较高的传输速率, 成为 PC 机领域广为应用的外设连接规范。本文介绍的自动测试诊断系统是以五片 P89C668 单片机为核心组成故障诊断平台, 采用基于 FT245BM USB 芯片的通信卡建立计算机与测试诊断平台通信的桥梁, 使其能对需要检测的组合逻辑数字电路板进行测试, 并可以根据标准诊断数据库对产生故障的电路板进行自动故障定位。目前该系统能够对多种不含有不受控制的部件如 CPU、存储元件、晶振、阻容式单稳态等的数字电路板进行自动测试及故障诊断, 可测试的电路板边缘连接器的最大引脚数为 96 个。

## 1 硬件结构

该测试诊断系统的硬件主要由以下部分组成:

- 计算机
- USB 通信电缆
- USB 通信卡
- 多 MCU 系统测试诊断平台
- 微型开关电源
- 散热风扇
- 通道连接适配电路板等

### 1.1 计算机

计算机的主要功能是通过 USB 接口控制测试诊断

平台, 进而完成测试平台系统自检、通道输入/输出的定义、发送测试激励数据、接收响应数据、数据计算与分析等工作。

### 1.2 USB 通信卡

USB 通信卡是连接计算机与测试平台的桥梁。它的主要功能一方面是将计算机发送的控制命令、数据送到测试平台的主 MCU, 使测试平台完成各种测试任务; 另一方面是将测试平台中多 MCU 系统的自检信息和测试结果送往计算机, 以供计算机进行判断与分析。

USB 通信卡是基于 FTDI 公司的 FT8U245BM 芯片组成的, 具有数据传送速率高 (达 8Mb/s) 和即插即用等优点。

### 1.3 多 MCU 系统构成的测试平台

多 MCU 系统由一个主 MCU 和四个从 MCU 组成。所有的 MCU 均采用 PHILIPS 公司的 P89C668 单片机芯片, 其内部有可 ISP/IAP 编程的 64KB Flash 程序存储器和 8KB RAM, 每个机器周期可采用六个时钟周期, 是传统单片机 (80C51) 的两倍。在其全双工增强型 UART 中具有帧错误检测和自动地址识别功能, 另外还具有可编程的时钟输出功能及可编程的计数器阵列 (PCA) 等, 是 PHILIPS 公司 MCU 家族中较为高端的产品。多 MCU 系统构成的测试平台如图 1 所示。

在本文设计的多 MCU 系统中, 各个 MCU 的功能如下:

#### (1) 主机 MCU 的功能

· 负责与 PC 机的通信。通信采用目前流行的 USB 总线通讯方式, 一方面接收来自于 PC 机的命令与数据, 另一方面向 PC 机发送测试数据和自检信息。

· 解释来自 PC 机的命令, 并向所有从机或者相应的从机发送。对来自 PC 机的数据进行分类, 并发送给相应的从机。对自身的 RAM 进行自检。

· 负责与四个从机的通信。通信为多机主-从方式, 利用 MCU 的 RxD 和 TxD 端以全双工 UART 串行模式进行通信, 并使用帧错误检测和自动地址识别功能。

· 管理四个从机进行同步测试。主 MCU 利用 P1 口

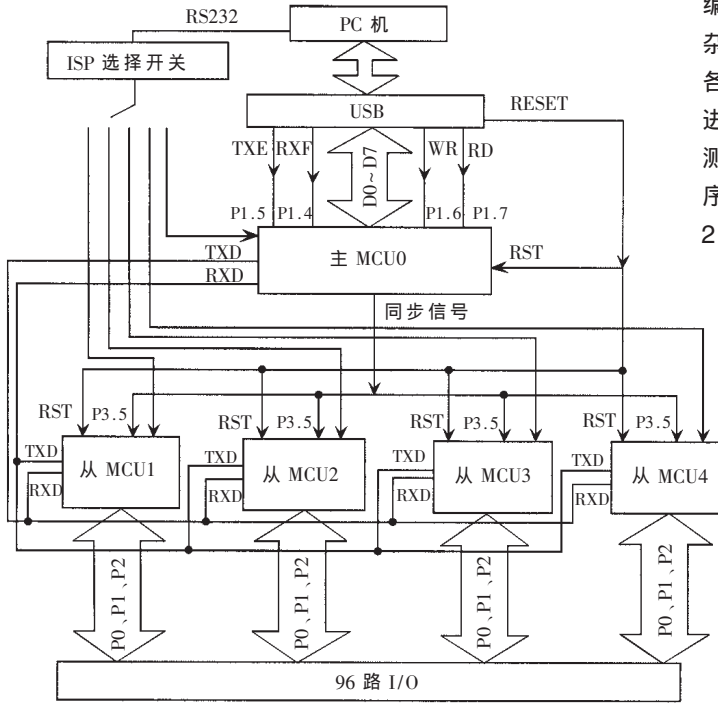


图 1 多 MCU 系统构成的测试平台

的低四位(P1.4、P1.5、P1.6、P1.7)向四个从机发送同步控制信号,使得多个从机在测试过程中能够保持同步性。

(2) 从机 MCU1~MCU4 的功能

- 通过 RxD 端口,以串行通信方式接收来自主 MCU 的与自己相关的命令和数据。

- 每个从机的 24 路 I/O 端口 P0.0~P0.7、P1.0~P1.7 和 P2.0~P2.7 共计 96 路分别与测试通道 Port1~Port96 相连接。根据 I/O 端口的设置情况,向定义的输出通道输出测试激励信号,从相应的输入通道读入测试结果并存入相应的 RAM 单元。

- 在被测试电路板的一个输出通道测试完毕后,将测试的结果发送到主 MCU 的 RAM 存储区,并由主 MCU 发往计算机。

- 负责自身数据存储区 RAM 的自检工作。当接收到主 MCU 的自检命令时,对自身的 RAM 进行自检,并将自检结果发送到主 MCU。

1.4 测试通道适配接口卡

普通的被测数字电路板是不能直接插到测试平台的测试接口上的,需要有特制的测试通道适配接口卡才能进行连接。本系统提供的接口卡是 96 路通道的总线结构的接口卡,可与适用于本设计的数字电路板进行连接。如果要测试其它类型的数字电路板,则需要专门定做与其配套的测试通道适配接口卡。

2 软件设计

2.1 测试平台程序设计

本系统测试平台程序采用模块化设计,是基于 Keil 系统开发软件和 TKS-668 开发硬件,采用 C 语言与汇

编语言编写的。模块化程序设计的思想就是要把一个复杂的程序按整体功能划分成若干相对独立的程序模块,各模块可以单独设计、编程、调试和查错,然后装配起来进行联调,最终成为一个有实用价值的程序。本系统的测试平台软件主要由系统的主程序、通信程序、测试程序和自检程序等模块组成。

2.1.1 主程序设计

主、从 MCU 的主程序设计流程图分别如图 2、图 3 所示。本系统中的四个从 MCU 具有相同的功能,因此其主程序设计是一样的。主、从 MCU 在初始化中要设置的相关参数包括:串行口的方式、波特率、定时器的方式、中断等。

2.1.2 自检程序设计

主从 MCU 的自检是为了保证每个单片机都能正常工作,即 USB 和主 MCU、主 MCU 和从 MCU 之间的通讯正常,并且保证每个单片机的 RAM 没有损坏。

主 MCU 和从 MCU 之间的通讯是否正常的自检是:先由主单片机向从单片机发一串数据,然后再由从单片机把接收到的数据发回主单片机,判断两串

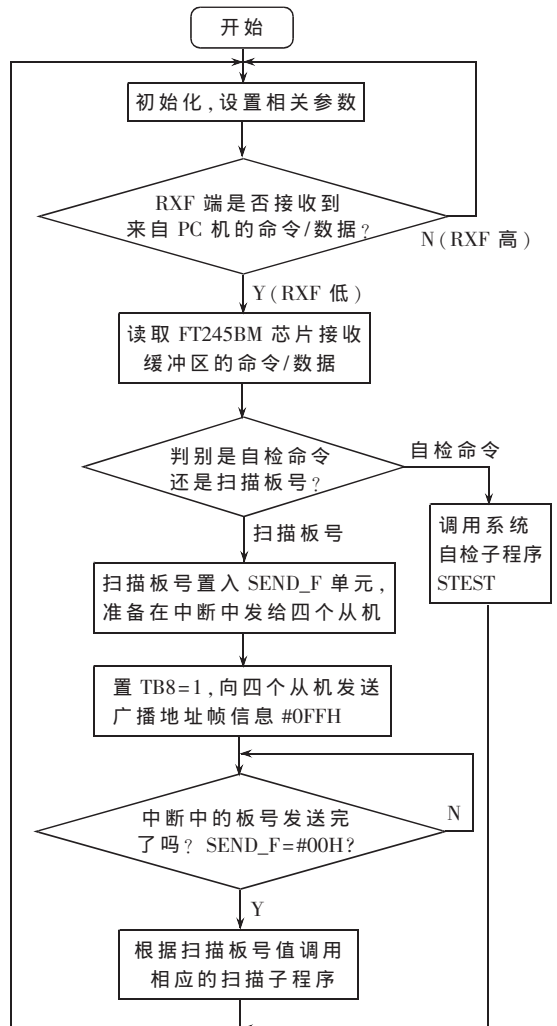


图 2 主 MCU 主程序流程图

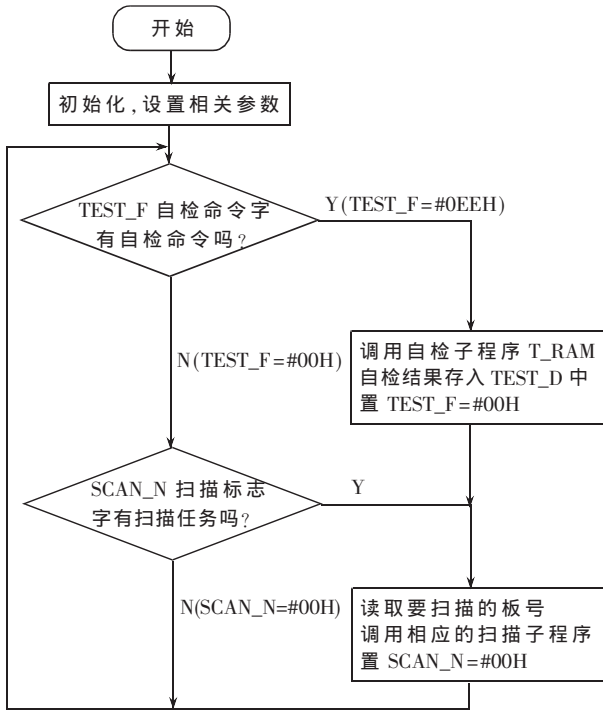


图 3 从 MCU 主程序流程图

数据的个数和内容是否一致，一致的话则说明通讯正常。同理，USB 和主 MCU 之间通讯自检的原理也是如此。

MCU 的 RAM 自检的原理是：对于每一个 RAM 的存储单元，先把一个数据写入该 RAM 的单元，然后再从该单元里读出一个数据，判断两者是否一致，如果一致则说明该 RAM 单元没有损坏。

### 2.1.3 通讯程序设计

系统的通讯程序包括：主 MCU 与 USB 之间的通讯程序、主 MCU 与从 MCU 之间的通讯程序以及从 MCU 对被检测电路板的扫描程序。

主 MCU 和 USB 是通过 USB 的管脚 D0~D7 和主 MCU 的管脚 P0.0~P0.7 传递数据的。控制主要是通过 USB 的四个管脚：RXF、TXE、WR、RD 和主 MCU 的四个管脚：P1.4、P1.5、P1.6、P1.7 进行的。当 TXE 为低且 WR 从 0 变为 1 时，数据写入 USB；当 RXF 为低且 RD 从 1 变为 0 时，数据从 USB 读到主 MCU。主 MCU 通过 P1.4 和 P1.5 对 USB 的 RXF 和 TXE 进行判断，然后通过 P1.6 和 P1.7 对 USB 的 WR 和 RD 进行控制传递数据。

主 MCU 与从 MCU 之间利用 MCU 的 RxD 和 TxD 端以全双工 UART 串行模式进行通信，串行通讯通过中断实现，使用了帧错误检测和自动地址识别功能。本系统的主 MCU 采用广播通讯方式，由特殊寄存器 SADEN 和 SADDR 逻辑或产生从机的广播地址，利用地址自动识别功能，通过发送广播地址，同时发命令与四个从 MCU 进行通讯。当主 MCU 只和单个从 MCU 通讯时，采用点对点通讯方式，由 SADEN 和 SADDR 相与产生的特定地址来确认哪些从机被选中与主机进行通讯，不需要再进行

软件查询。

从 MCU 对被检测电路板的扫描程序采用的是功能测试技术。为了检测某一组合逻辑电路板是否存在故障，首先把该电路板插到诊断插槽上，由于每个输出端口只是与该电路板所有端口中的几个有逻辑关系，所以扫描程序只需对与某个输出端口有逻辑关系的电路板的输入端口进行从全 0 到全 1 的电平激励（比如有五个输入端口，一共有  $2^5=32$  组激励）。对于有逻辑关系的输入超过七个以上时，由于工作量很大，不实行从全 0 到全 1 的激励，而是从中选择 128 组激励进行类似抽查的检测，然后读取输出端口，把输出结果传输到计算机内，和标准数据库中的仿真结果进行分析与比较，判断是否一致，如果出现不一致的情况，则说明电路板存在故障。

### 2.2 应用系统软件设计

安装在计算机上的自动测试诊断系统软件采用 Visual C 6.0 语言编程，其主要作用是使计算机向 USB 接口通信卡发送测试激励数据、接收响应数据、进行数据计算与分析等。

### 2.3 标准诊断数据库的软件产生方法

建立标准诊断数据库的目的是为了进行自动故障定位。本系统可用两种方法建立标准诊断数据库：第一种方法是根据被测数字电路板的原理图，在一些 EDA 软件环境如 Protel、Foundation、Maxplus II 中通过仿真功能生成标准诊断数据库。第二种是测试功能正常的数字电路板，在特定的激励下记录该电路板的响应数据，由软件自动追加到相应的数据库中，作为今后测试该电路板的标准诊断数据库。

由于本系统所要测试诊断的电路板端口数较多，采用第二种方法不但工作量非常大，而且还要确保所测数字电路板在测试过程中功能正常，因此本系统采用第一种方法。考虑到所测的电路板为组合逻辑数字电路板，所以本系统采用 Xilinx 公司的 Foundation F3.1i 软件环境，在原理图编辑器 (Schematic Editor) 中输入被测数字电路板的原理图，然后在功能仿真器 (Functional Simulation) 的 Script Editor 中利用软件自带的仿真命令自动生成标准诊断数据文件，再由应用系统软件将数据导入相应的数据库。

目前一般的自动测试诊断系统通常是在标准的测控总线或仪器总线 (CAMAC、GPIB、VXI、PXI、CAN 等) 的基础上组建而成的，其成本较高、体积庞大、操作复杂，在测试过程中显得非常不方便，难以满足现代科技工作者的需要。本文介绍的自动测试诊断系统是以五片 P89C668 单片机为核心组成故障诊断平台，采用基于 FT245BM USB 芯片的通信卡实现计算机与测试诊断平台的通信。该系统的便携式结构特别适合于现场测试，具有成本低、体积小、重量轻、结构紧凑、自动化程度高等优点；系统的操作比较简单，只要掌握计算机的一般

# 开关电容滤波器频域分析

高晋占, 宋 丽

(清华大学 自动化系, 北京 100084)

**摘 要:** 介绍了利用频域方法对一种常用的开关电容滤波器的传输特性进行理论分析, 得出了其等效噪声带宽, 并给出了仿真结果。所得结果与参考文献中时域方法分析的结果相一致, 但是分析过程要简洁得多, 而且更容易理解。

**关键词:** 开关电容 滤波器 频域

随着集成电路技术的发展和工艺的改进, 高质量的 MOS 电子开关和电容可以集成在体积很小的芯片上, 从而使开关电容滤波器 (SCF) 得到广泛应用。SCF 中既有模拟电路, 又有开关电路, 其分析和综合方法往往比较复杂, 已见报道的有阻抗变换法<sup>[1]</sup>、双线性  $z$  变换法<sup>[2]</sup>、时域分析方法<sup>[3]</sup>等。本文针对一种常用的 SCF 电路, 利用频域方法分析其传输特性, 所得结果与时域方法分析的结果相一致。

## 1 开关电容滤波器频域分析

图 1(a)所示是一种常用的开关电容滤波电路, 它既有滤波作用, 又有放大作用。图中的  $K_1$  和  $K_2$  是由脉冲信号控制的双刀双掷同步电子开关, 其控制信号  $p(t)$  是频率为  $f_0$  的方波, 如图 1(b)所示。当  $p(t)$  为高电平时, 电子开关接到 A (如实线所示), 当  $p(t)$  为低电平时, 电子开关接到 B (如虚线所示)。

考虑到运算放大器输入负端为虚地, 流经反馈支路的电流  $i(t)$  (设定方向如图中箭头所示) 与输入电压  $v_i(t)$  之间的关系为:

$$v_i(t) = -Ri(t) \quad (1)$$

式(1)的傅立叶变换式为:

$$V_i(\omega) = -RI(\omega) \quad (2)$$

式(2)中的  $V_i(\omega)$  和  $I(\omega)$  分别表示  $v_i(t)$  和  $i(t)$  的频谱。

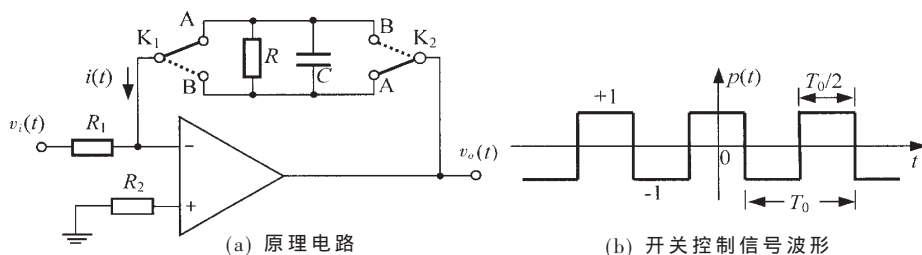


图 1 开关电容滤波器电路

对于反馈支路, 由于电子开关的作用, 电流  $i(t)$  通过电子开关周期性地变换方向给  $RC$  并联电路交替充电, 这相当于对  $i(t)$  周期性地乘以  $+1$  和  $-1$ , 这样就可以用

$$i'(t) = p(t) \times i(t) \quad (3)$$

来表示流经  $RC$  积分电路的电流。

设方波  $p(t)$  的周期为  $T_0$ , 角频率为  $\omega_0 = 2\pi/T_0$ , 如图 1(b)所示。这样的周期函数可以展开为如下指数形式的傅立叶级数:

$$p(t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \exp[j(2n-1)\omega_0 t] \quad (4)$$

将(4)式代入(3)式, 得:

$$i'(t) = p(t) \times i(t) = \frac{2i(t)}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{n+1}}{2n-1} \exp[j(2n-1)\omega_0 t] \quad (5)$$

对(5)式进行傅立叶变换, 并利用  $F[x(t)\exp(j\omega_1 t)] = X(\omega - \omega_1)$  的频移特性, 得:

(接上页)

操作, 具有一定的数字电路技术基础, 能够看懂一般的数字电路原理图, 经过简单的技术培训, 详细阅读并理解本系统的使用说明后就可以进行操作; 系统硬件模块的标准化和软件模块的可复用性使系统具有很强的扩展能力。目前该测试诊断系统已经投入使用, 效果良好, 完全达到了预期的设计目的。

## 参考文献

- 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计系统配置与接口技术. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001
- 许永和. 8051 单片机 USB 接口程序设计(上、下). 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004
- P89C668 单片机使用指南. 广州周立功单片机发展有限公司, 2001

(收稿日期: 2004-11-11)