

在断路器离线测试仪的设计和使用过程中，需要积累大量的正常状态和故障状态下的历史动作数据，形成样本库，作为断路器进行故障诊断的依据。从数据库的建立和维护的角度来说，上位机比仪器本身更占有优势。同时，由于仪器自身硬件系统资源的局限，相对复杂的故障诊断分析也需要利用上位机软件来实现。因此，这就需要容量大、移动灵活的测试仪和上位机的中间存储介质。

SD 卡(Seecure Digital Memory Cardl)是一种基于 Flash 的新一代存储器，具有体积小、容量大、数据传输快、移动灵活、安全性能好等优点，是许多便携式电子仪器理想的外部存储介质。

1 ATMEGA128 的 SPI 接口简介及基本数据传输

SPI 全称为“Series Peripheral Interface”，意为“串行外设接口”，是一种全双工、3 线同步数据传输的串行总线接口。图 1 为 ATMEGA128 单片机主机-从机通过 SPI 进行互连的示意图。

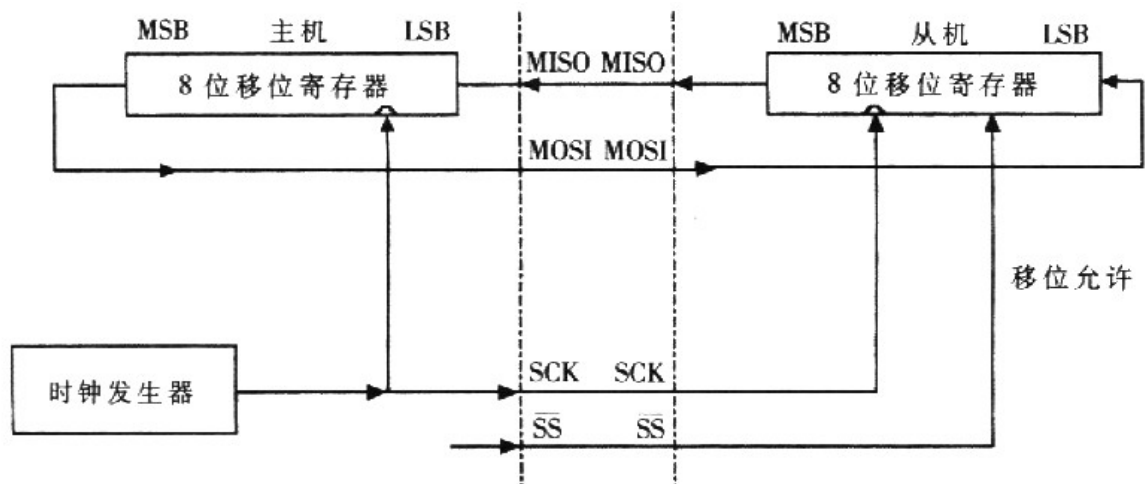


图 1 ATMEGA128 单片机主机-从机通过 SPI 的互连示意图

系统包括两个移位寄存器和一个主机时钟发生器。主机通过将需要的从机的 SS 引脚拉低，启动一次通讯过程。主机和从机将需要发送的数据放入相应的移位寄存器中。主机在 SCK 引脚上产生时钟脉冲以交换数据。主机的数据从主机的 MOSI 移出，从从机的 MOSI 移入；从机的数据从从机的 MISO 移出，从主机的 M

ISO 移入。主机通过将从机的 SS 引脚拉高实现与从机的同步。基本的通过 SPI 接口发送和接收单个字节的流程如图 2 所示。

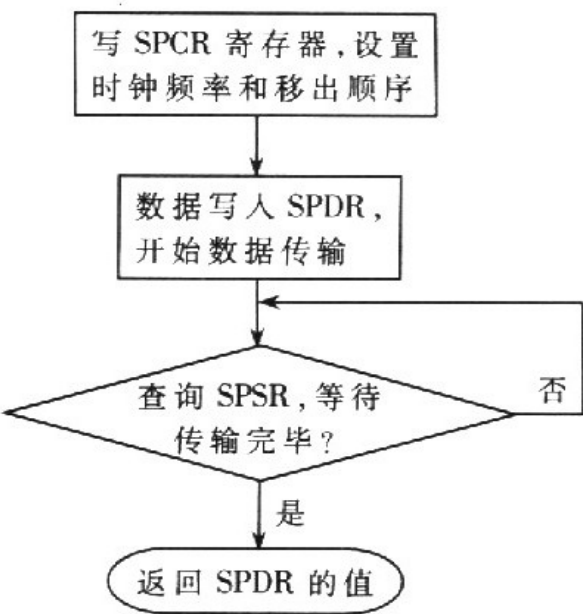


图 2 发送和接收单个字节的流程图

值得注意的是，因为发送和接收是同时进行的，所以发送和接收数据使用同一个函数。在发送数据时，并不关心函数的返回值；在接收数据时，可以发送并无实际意义的字节(如 0xFF)作为函数的参数。

2 SPI 模式下的 ATMEGA128 单片机与 SD 卡的接口电路

SD 卡为用户提供两种操作模式：SD 模式和 SPI 模式。SPI 模式下 SD 卡的引脚定义如表 1 所示。在该模式下，SD 卡为主机提供了 CS、SCLK、DI、DO 四线接口。ATMEGA128 单片机与 SD 卡的接口电路如图 3 所示。

表 1 SD 卡 SPI 模式引脚定义

引脚序号	引脚标识	引脚功能描述
1	CS	片选(低电平有效)
2	DI	数据输入
3	VSS	电源地
4	VDD	电源
5	SCLK	时钟输入端
6	VSS2	电源地
7	DO	数据输出
8	RSV	保留
9	RSV	保留

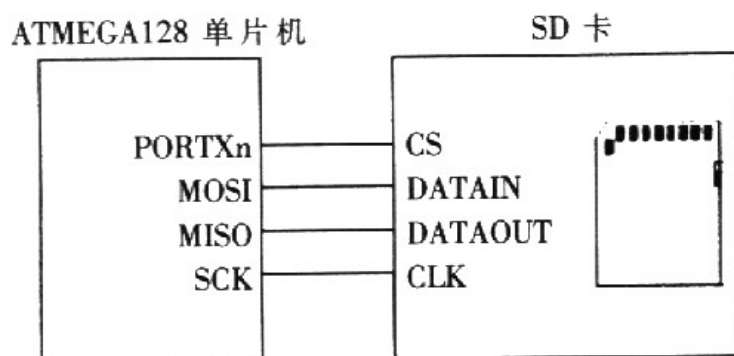


图 3 ATMEGA128 单片机与 SD 卡的接口电路

因为不涉及主从机之间的转换，所以单片机的 SS 引脚闲置不用。单片机的 PORTXn 引脚作为 SD 卡的选通信号。

对于单片机来说，SPI 接口和程序下载接口复用，节约了单片机的硬件开销，提高了单片机的资源利用率。

3 SPI 模式下对 SD 卡的操作

SPI 模式下 SD 卡的操作流程如图 4 所示。

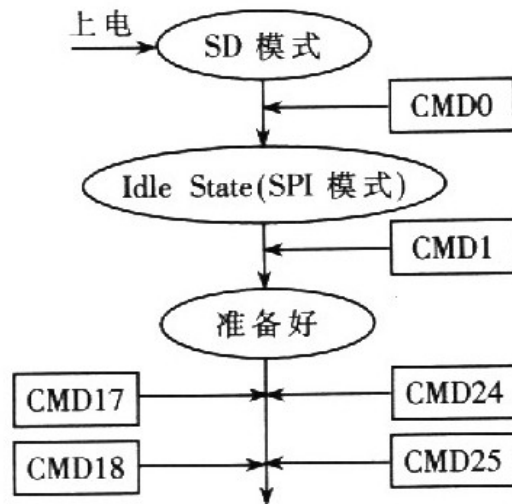


图 4 SPI 模式下 SD 卡的操作流程

上电后，SD 卡自动进入 SD 模式。单片机此时使 CS 信号为低电平，并向 SD 卡发送 RESET 命令 (CMD0)，如果 SD 卡有 0x01 作为响应，则表明 SD 卡进入 SPI 模式下的 Idle 状态。在等待至少 74 个时钟周期后，向 SD 卡发送 SEND_OP_COND (CMD1) 命令，当轮询到 SD 卡的响应为 0x00 时，说明 SD 卡已经准备好接收读写操作了。

对 SD 卡的基本读写操作命令有：数据块读命令 READ_BLOCK (CMD17)、多数据块读命令 READ_MULTIPLE_BLOCK (CMD18) 和数据块写命令 WRITE_BLOCK (CMD24)、多数据块写命令 WRITE_MULTIPLE_BLOCK (CMD25)。

对 SD 卡的操作都是由一些命令来实现的。所有的命令都是由 48 个数据位组成的，其结构如表 2 所示。

表 2 SD 卡命令格式

位标识	47	46	[45:40]	[39:8]	[7:1]	0
宽度(位)	1	1	6	32	7	1
取值	'0'	'1'	×	×	×	'1'
描述	起始位	传输位	命令序号	命令参数	CRC7	停止位

在应用时，可以连续发送 6 个字节来实现上述的命令格式。

4 应用于断路器离线测试仪的 SD 卡文件系统设计

在使用断路器离线测试仪的过程中，希望记录下断路器每次动作时的线圈电流以及动作电压。按照图 5 所示的结构来组织数据的存储。

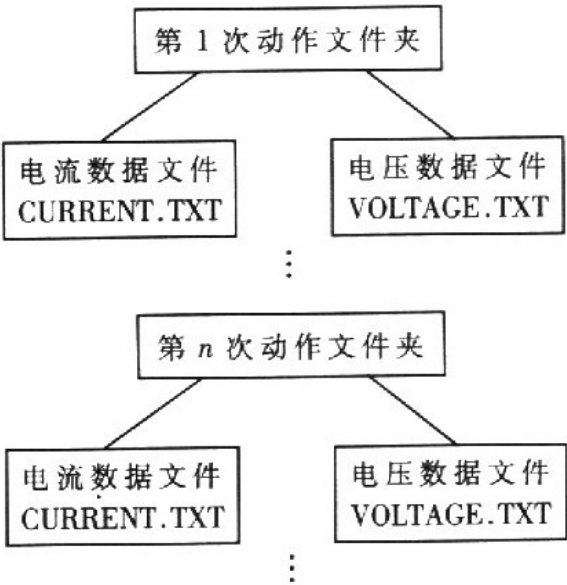


图 5 SD 卡文件组织结构

首先为各次动作数据文件创建父文件夹。以动作的次数作为文件夹名，CURRENT.TXT 和 VOLTAGE.TXT 分别为各文件夹下记录电流、电压数据的扩展名为 TXT 的子文件。

SD 卡数据区的组织结构如表 3 所示。

表 3 SD 卡数据区的组织结构

分区区 (Partition Area)		引导指令集 (Master Boot Record)
		分区表 (Partition Table)
		签名字 (Signature Word)
常规区 (Regular Area)	系统区 (System Area)	分区引导扇区 (Partition Boot Sector)
		文件分配表 (File Allocation Table)
	用户区 (User Area)	

在实际应用中，只对系统区进行配置即可。其中的分区引导扇区设置了扇区(Sector)和串(Cluster)的大小，以及采用哪类文件分配表(FAT12 或 FAT16)等内容。

文件分配表则包含了与目录或文件相对应的入口(Entry)。每个入口由 32 个字节组成，包含文件名、扩展名、记录的时间和日期、起始位置和文件大小等信息。文件的大小可以根据对电流电压信号进行采样时的采样频率和采样时间计算得到。

按照以上原则设计的文件系统，结构简单、容易维护，能够满足上位机数据积累和软件分析的需要。