

基于 PIC 单片机的随钻声波测井仪电源管理设计

秦贞宇^{1,2}, 卢俊强^{1,2}, 鞠晓东^{1,2}, 门百永^{1,2}

(1. 中国石油大学(北京)油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;

2. 北京市地球探测与信息技术重点实验室, 北京 102249)

摘要: 为了保证随钻声波测井仪在井下长时间高效率工作, 需要对电源管理板进行高效管理; 根据随钻声波测井仪电子系统的供电特点设计了电源管理控制电路, 低功耗微处理器 PIC 单片机根据随钻测量系统的指令对电源电路开关阵列进行控制, 通过 CAN-UART 对主控板进行工作参数下发, 利用实时钟电路提供的时间信息完成对井深和井下存储数据的映射, 实现对随钻测井仪间歇式定时工作目的; 实验测试结果表明, 电源控制电路功耗为 0.116 W, 开关通断时间为微秒级, 输出电压稳定; 经实际应用满足了随钻声波测井仪的实际工作要求。

关键词: 电源管理; 随钻声波测井仪; PIC 单片机

Power Management Design of Acoustic Logging While Drilling Instrument Based on PIC Single Chip Microcomputer

Qin Zhenyu^{1,2}, Lu Junqiang^{1,2}, Ju Xiaodong^{1,2}, Men Baiyong^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Petroleum Resources and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2. Key Laboratory of Earth Prospecting and Information Technology, Beijing 102249, China)

Abstract: In order to ensure that the acoustic logging while drilling tool works efficiently for a long time, it is necessary to manage the power management board efficiently. A power management and control circuit is designed according to the power supply characteristics of the electronic system of acoustic logging while drilling. The low-power microprocessor PIC MCU controls the switch array of the power circuit on the basis of the instructions of the while drilling measuring system. Transmits the working parameters into the main control board through CAN-UART. And maps the well depth and downhole storage data by using the time information provided by the real-time clock circuit for the purpose of intermittent timing operation of logging while drilling tool. The experimental results show that the power consumption of the power supply control circuit is 0.116 W, the on-off time of the switch is microsecond, and the output voltage is stable. Satisfies the actual working requirement of acoustic logging while drilling tool through practical application.

Keywords: power management; acoustic logging while drilling tool; PIC single chip microcomputer

0 引言

随钻测井 (logging while drilling, LWD) 是自 20 世纪 90 年代以来迅速崛起的先进测井技术, 随钻声波测井技术也是 20 世纪 90 年代中后期推出发展, 因其兼备准确评价地层、进行地层对比和储层描述等特点, 现逐步应用于测井现场服务。随钻声波测井仪与其它随钻测井仪相比电子系统更为复杂, 功耗更大, 故常采用多路供电工作方式。锂电池因其能量密度高、放电电压稳定等特点而被广泛在随钻声波测井仪的供电电源部分, 目前国内随钻测井仪采用

高温锂电池供电, 一般将多组锂电池串联成电池组, 但使用锂电池的不足之处就是续航时间短, 因此随钻声波测井仪不具备其他电缆声波测井仪长时间连续工作的特点。为保证随钻声波测井仪在锂电池供电条件下长时间间歇式工作, 需在电源管理部分进行高效设计^[1-3]。本文通过 PIC 单片机作为主控制器来对四通道开关的闭合进行控制, 以达到分段管理、持续工作时间更长、根据测量需要有效的开启与关断的目的。

1 电源管理模块控制电路设计

本文设计的电源管理模块主要以 PIC 单片机为核心, 外围电路主要分为: 供电电源部分、CAN 通讯部分、UART 通讯部分、RTC 实时时钟部分、开关阵列部分。电源管理模块主要负责将电源如何有效的分配给系统中的不同部件, 降低各组件间闲置时的功耗, 延长电池寿命^[4-7]。电源管理模块设计框图如图 1 所示。

收稿日期: 2018-12-18; **修回日期:** 2019-01-07。

基金项目: 国家科技重大专项 (2017ZX05019006, 2017ZX05019001); 国家自然科学基金项目 (11734017, 11374371); 中国石油科技创新基金项目 (2016D-5007-0303); 中国石油大学(北京)基金 (2462016YJRC020)。

作者简介: 秦贞宇 (1994-), 男, 山东邹县人, 硕士研究生, 主要从事声波测井仪器方向的研究。

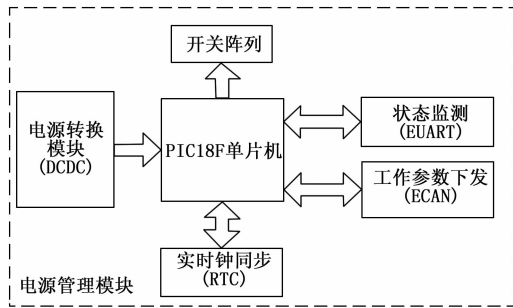


图1 电源管理模块设计结构框图

1.1 主控制器部分

PIC 单片机主要负责控制开关阵列，通过 CAN 总线和 UART 与上位机进行通讯来下发工作参数和自检，读取时钟信息并返还到上位机进行井深与数据对比，本文设计选用的电源管理模块的主控制器为美国 Microchip 公司推出的 PIC18F46K80 单片机，这是一款采用 nano Watt XLP 技术、自带 ECAN 模块、低功耗、44 引脚的工业级增强型闪存单片机，其工作电压范围 1.8~5.5 V，工作频率最高可达 64 MHz，具有片上 3.3 V 稳压器、64 KB 的片上闪存 Flash 程序存储器、1024 字节的 EEPROM 数据存储器及 3.6 KB 的片内通用 SRAM 寄存器，体积小并且价格低廉，内部资源丰富，广泛应用于工业控制领域。单片机采用外部晶振，DCDC 选用静态工作电流 138 uA 的 TPS54260，通过 DCDC 将输入电压 24 V 转变为输出电压 3.3 V 供给单片机。

1.2 RTC 实时时钟电路

目前 LWD 主要采用泥浆脉冲上传数据，传输效率较低，因此在现场测井中只有少数处理数据实时上传至地面，大部分原始数据还保留在仪器主控存储板中，由于 LWD 仪器无测量井深的能力，这就需要通过时间对照将井深与原始数据完全对应^[8]。通过设计实时钟电路利用 PIC 单片机对时钟芯片的编程开发，为井下数据提供时间信息并与地面系统测量井深时间进行对比，完成井下存储数据与井深的映射，实现井下随钻仪器精准定位。

时钟电路采用的是 PCA8565 芯片，它是一款低功耗的 CMOS 实时时钟芯片，并且还可以提供年、月、天、工作日、小时、分和秒等信息，具有闰年自动补偿功能，其正常工作电压在 1.8~5.5 V，温度最高可达到 125°，采用双线 IIC 接口与 PIC 进行通讯，最大传输速度可达 400 kbit/s，读/写地址分别为 A3H/A2H。PCA8565 可外接 32.768 Hz 晶振，具有内部电源复位以及定时功能，在进行读或写操作之后，其内部地址寄存器具有自动增加功能。芯片引脚 SDA、SCL 分别与 PIC 单片机的 IIC 接口数据线和时钟线相接，此外芯片的 SDA 和 SCL 分别上拉 2.2 k 电阻，使得在总线空闲时，SDA 和 SCL 均保持高电平。

1.3 ECAN 总线驱动电路

井下仪器工作参数是上位机通过 CAN 总线下发到 PIC，主控板掉电后保存参数通过 CAN 总线上发到主控 PC，数据接口板中存储的数据通过 CAN 总线传输，仪器预订参

数、时间信息、掉电提醒和定时功能也都是通过 CAN 总线进行通讯^[9-10]。本文设计 ECAN 总线驱动电路采用的是 MAX 公司生产的低电源 MAX3050 芯片，其在高速模式下数据最大传输速率可达 2 Mbps。当总线或 CAN 驱动器超过 4 ms 不工作时，该芯片还具有自动关闭功能。芯片的 1、4 引脚作为 CAN 总线发送与接收分别与 PIC 单片机的 CANTX、CANRX 相连。由于本文设计不需要此芯片的自动关闭功能，故该芯片第 5 引脚置 0 或接地。芯片的 CANH 和 CANL 之间需串联一个终端电阻进行阻抗匹配，用以消除在通讯过程中的信号反射。

1.4 开关电路

开关电路采用反相驱动器与 MOS 管组合成控制开关，驱动器的输入端通过上拉电阻以保证不工作情况下输入端始终保持高电平使开关处于闭合状态，驱动器输出端通过三极管与稳压二极管连接 PMOS 管，稳压二极管选用稳定电压为 10 V，通过外部供电电压与稳定电压压差来控制 MOS 管的通断，在 PMOS 输出端并联滤波电容来保证输出电压的稳定性。

2 软件设计

电源管理系统的设计共包括上位机和下位机两部分，其中通过上位机软件的操作，经 CAN 模块与下位机软件通讯，可将工作参数命令等信息下发到下位机以实现各种不同控制。在上位机软件中设置仪器的工作参数，比如在随钻预置模式下设置 CAN 参数，用于下井前在地面通过 CAN 对仪器主要参数进行预设置。

下位机软件主要利用 MPLAB 开发环境通过 C 语言编写而成，遵循模块化设计原则，其中包括主程序和各类子程序。主程序有系统初始化及配置位设置，读取 EEPROM 中系统配置参数，通过判断收到的下发命令来进行不同的处理工作。主要子程序有实时时钟芯片读/写子程序，EUSART 通讯子程序，ECAN 发送/接收子程序，定时器中断子程序，EEPROM 读写子程序。此外程序设计了空闲模式和休眠模式，充分利用 PIC18F 系列单片机的空闲模式典型电流值为 880 nA，休眠模式典型电流值为 13 nA 的特点，在进入定时中断子程序时，CPU 停止工作，仅外设工作，以及在完成电源管理控制任务后不切断总电源的情况下，实现休眠模式中掉电检测标志位清零，掉电电流低于 5 uA 的掉电状态而无需手动断电。电源控制程序包括主程序和子程序，总体实现电源管理程序结构如图 2 所示。

3 电源管理板在随钻仪器中的应用

整个系统的结构框如图 3 所示，本文设计的电源管理模块是为了实现对主控板的工作参数保存与下发，采集电路板的采集功能以及前置放大板和发射电路板的功能控制。PIC 单片机及其外围电路作为整个系统的控制单元，上电初始化完毕后，主控板先向电源管理板请求采集序列号，之后等待接收工作参数下发命令。而电源管理板一上电先提供采集序列号，然后进入循环，主动转发工作命令。而电

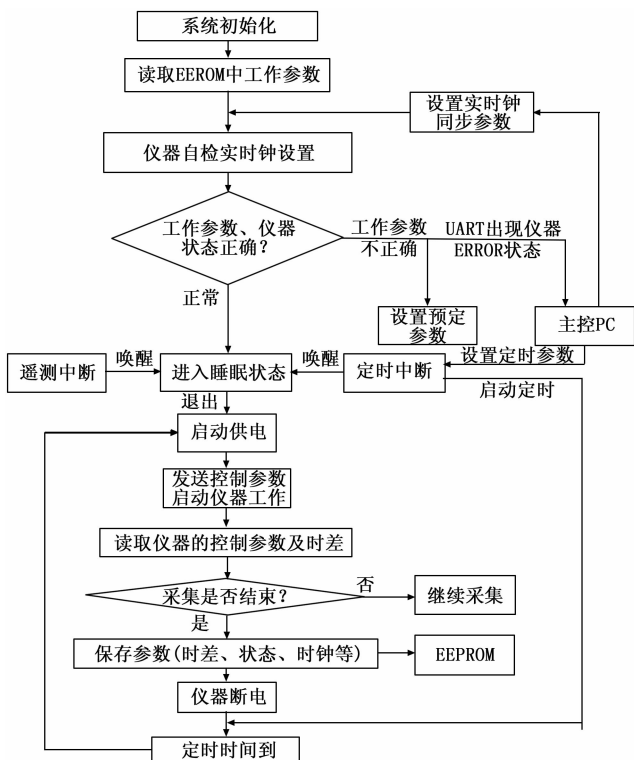


图 2 电源管理程序结构框图

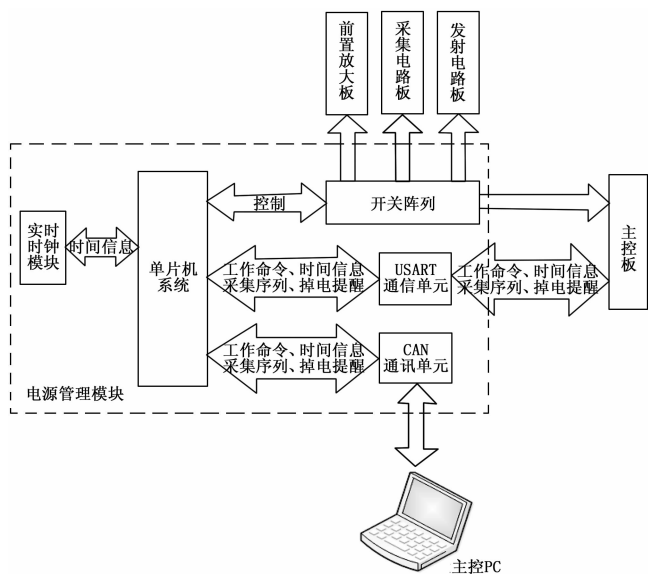


图 3 系统总体设计结构框图

源管理板是通过 CAN 总线接收上位机软件命令, 其中包括工作参数下发命令, 时间信息, 采集序列号和掉电提醒等扩展信息, 不同命令内容采用不同功能字节进行识别。当电源管理板接收到不同命令时, 通过 SCI 接口发送给主控板, 主控板同样也通过 SCI 接口返回应答。其中时间信息是采集循环时主控板向电源管理板随时请求的, 由 PIC 单片机通过 IIC 接口读取时钟芯片, 将读回的时间信息通过 SCI 接口发给主控板, 在上位机软件中可设置定时时间, 实时控制电源的开启与关闭, 利用定时时间来确定随钻测井

仪器的工作时间, 也可以设置固定的通断时间。采集序列号的发送是双向的过程, 上电时由电源管理板发给主控板, 掉电时由主控板发给电源管理板, 同样, 定时发送/应答和错误重发, 直到正确为止。电源管理板可随时下发断电命令, 主控板收到断电命令后先进行工作参数与测井数据的保存, 然后通过给电源管理板返回应答实现断电。

电源管理中控制开关的通断主要是对 PIC 单片机引脚赋高低电平, 如本设计中, 当上位机软件设置开启电源开关, 该命令通过 CAN 总线下发到单片机中, 单片机会通过 SCI 接口将该命令传给主控板, 同时主控板也会回传给单片机应答 (如果收到正确应答, 则进行下一步工作, 否则继续等待接收应答), 此时 PIC 单片机中的 RA5、RB4、RE0、RE1 引脚会相应赋给低电平来开启电源开关, 关闭电源开关同上。当上位机软件设置定时闭合开关, 控制闭合时间是通过 PIC 单片机向 PCA8565 芯片中定时地址中写入相应定时时间, 等到达设定的定时时间则会引发单片机外部中断, 在中断中通过标志位来判定对应的定时时间以及对开关的闭合, 其中掉电提醒功能也是通过定时发送命令直到收到正确响应实现, 当到达定时时间或手动断电时, PIC 单片机与主控板发生握手, 直到主控板完成保存数据和下发参数时返回给 PIC 应答才执行掉电命令。上位机软件还可随时下发断电命令以防止突发情况。

4 实验测试及验证

测试电路主要由逻辑电路、驱动器、PMOS 管、稳压二极管、分压电阻以及滤波电容构成, 稳压二极管的稳定电压为 10 V, PMOS 管的门槛电压最小为 4 V, 栅源电压最大为 10 V, 因此本次测试分别选用 14 V 和 16 V 作为供电电压。在逻辑电路的输入端由 PIC 控制, 在输出端连接至负载, 通过调节负载大小, 观察在不同电压下开关的通断时间和比较输出电压。

图 4 为实际电路中 14 V 和 16 V 供电电压下, 负载电流为 100 mA 时输出信号对比图。图 5 为空载情况下 14 V 和 16 V 供电电压下, 负载电流为 100 mA 时输出信号对比图。图 6 为空载情况下 14 V 和 16 V 供电电压下开关闭合时间对比图。分析可得供电电压为 14 V、负载电流为 100 mA 时的输出电压为 13 V, 而供电电压为 16V 时输出电压得到稳定的 16 V, 且 14 V 的供电电压滤波效果明显比 16 V 的供电电压效果差。

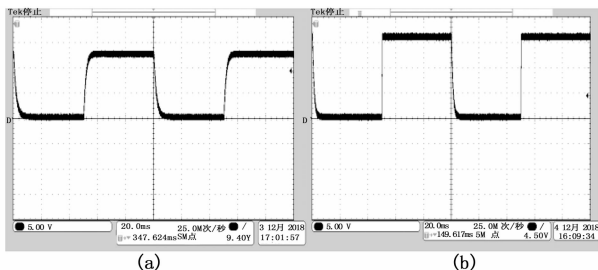


图 4 实际电路中 14 V 和 16 V 供电下输出信号对比图

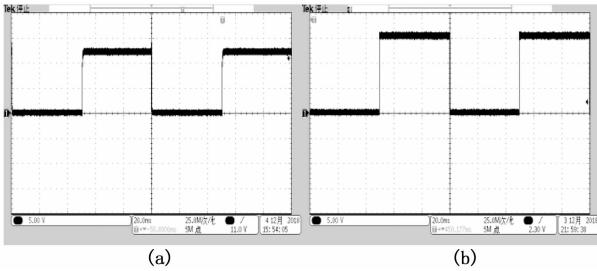


图 5 空载情况下 14 V 和 16 V 供电下输出线号对比图

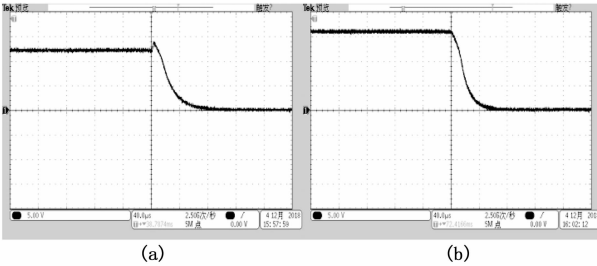


图 6 空载情况下 14 V 和 16 V 供电下开关闭合曲线对比图

当供电电压与稳压二极管稳定电压之间压差刚好达到最低门槛电压时，即供电电压为 14 V，调节负载电流，分别观察在有无滤波电容时开关的通断时间。

图 7 是 14 V 供电电压下空载情况和实际电路中开关的开启与闭合时间对比，在负载电流从 0 变化到 1 A 时，发现无滤波电容比有滤波电容开关通断时间要短，且当电流在 0.1 A 时出现峰值。

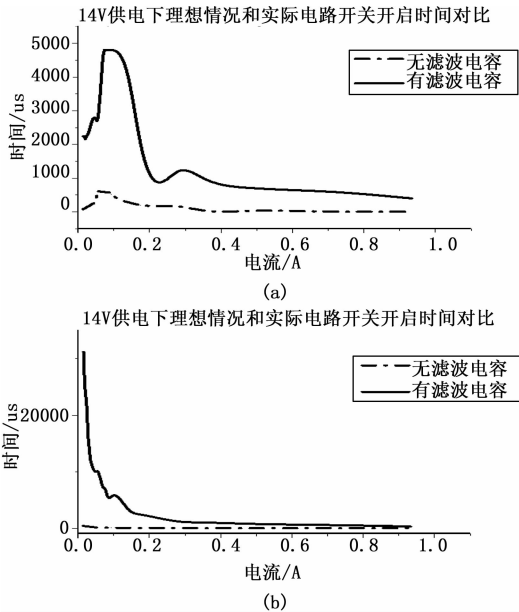


图 7 14 V 供电电压下空载情况和实际电路中开关的开启与闭合时间对比图

随着负载电流的增大，开关开启时间迅速上升，且在负载电流为 0.1 A 时，开关开启时间达到最大，随后迅速下降并逐渐趋于稳定。开关闭合时间随着负载电流的增大先迅速下降，在负载电流为 0.1 A 之后下降呈缓慢趋势且逐渐趋于稳定。开关通段时间均为微秒级。

通过实验测试观察在空载情况和实际电路中输出电压

对比中发现，随着负载电流的增大，输出电压均逐渐减小，在负载电流最小时输出电压达到最大且小于供电电压 14 V，说明在供电电压为 14 V 的情况下，MOS 管没有完全导通。综上所述，当刚刚到达 PMOS 管的门槛电压时，输出电压与开关通断时间均不稳定且不能满足实际需求，故不能应用于实际电路中。

当供电电压与稳压二极管稳定电压之间压差大于最低门槛电压且小于栅源电压，即供电电压为 16 V 时，调节负载电流，分别观察在有无滤波电容时开关的通断时间。

图 8 是 16 V 供电电压下空载情况和实际电路中开关的开启与闭合时间对比，在负载电流从 0 变化到 1 A 时，无滤波电容均比有滤波电容的开关通断时间短，空载情况下开关开启时间约为 5 us，开关闭合时间最大为 32 us，实际电路中开关开启时间稳定为 100 us，开关闭合时间最大为 400 us，且输出电压稳定在 16 V，MOS 管完全导通。在实际电路中开关的通断时间均为微秒级，电源管理板供电电压为 20 V，计算所得功耗为 0.116 W，可以运用到实际电路中。

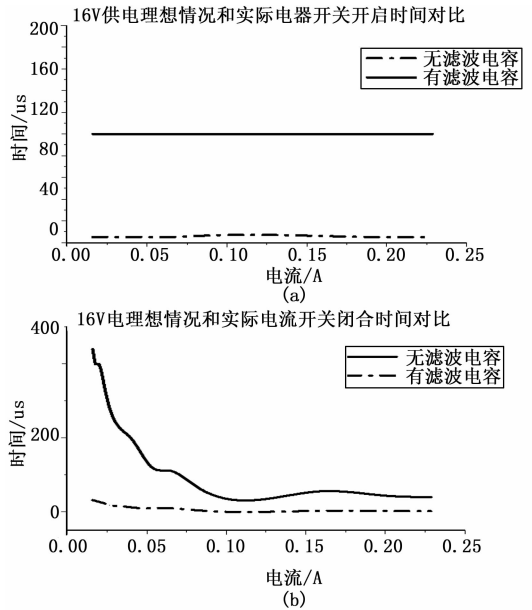


图 8 16V 供电电压下开关通断时间对比图

5 结论

电源管理模块采用 PIC 单片机实现对随钻声波测井仪中系统主电路的控制，实验测试结果表明，所设计的电源控制电路功耗低，抗干扰能力大幅度提高，开关通断时间满足实际电路需求，通过单片机与主控板之间握手应答可以避免掉电丢失数据和工作参数的风险，采用间接式工作方式能够延长电池使用寿命、提高电池的工作效率，能够满足随钻声波测井仪的工作要求。

参考文献:

[1] 卢俊强, 鞠晓东, 乔文孝, 等. 数字信号处理器在随钻声波测井仪中的应用 [J]. 测井技术, 2013, 37 (5): 527-530.