

随钻声波测井仪高效电源设计

肖红兵^{1,2}, 鞠晓东¹, 杨锦舟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. 胜利油田钻井工艺研究院, 山东东营 257017)

摘要: 为了保障随钻声波测井仪在锂电池供电条件下能够长时间工作, 需要采用高效电源设计。根据随钻声波电子系统的供电特点、电池性能和工程应用要求, 设计了随钻声波测井仪电源控制电路。随钻声波测井仪采用间歇工作方式, 低功耗微处理器根据随钻测量系统的指令控制电源开关, 对仪器主电子系统的电源进行控制。仿真和实验结果表明, 电源控制电路功耗低、抗干扰能力强、可靠性高, 能够满足随钻声波测井仪的工作要求。

关键词: 随钻声波测井; 高效电源; 电源控制; 低功耗

中图分类号: TB556

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2009)-05-0620-04

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2009.05.012

Design of high efficiency power supply for acoustic logging while drilling tool

XIAO Hong-bing^{1,2}, JU Xiao-dong¹, YANG Jin-zhou²

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

2. Drilling Technology Research Institute, Dongying 257017, Shandong, China)

Abstract: High efficiency power supply is necessary for the acoustic Logging While Drilling (LWD) tool powered by high-temperature lithium battery. According to the multi-power supply characteristic of the acoustic LWD tool, a power control circuit is designed. The tool is operated in the intermittent mode, and a low power MCU instructed by Measurement While Drilling (MWD) system controls the power switch, which controls the main power supply of the tool. The simulation and experimental results show that the power control circuit has the advantages in low power dissipation, high anti-interference ability and high-reliability, and can meet the demand of acoustic LWD tool.

Key words: acoustic LWD; high efficiency power supply; power control; low power dissipation

1 引言

随钻声波测井技术是准确评价地层、进行地层对比以及储层描述的有效手段之一。随钻声波测井仪的电子系统主要由发射部分和接收采集控制处理部分组成, 包含模拟电路、数字电路、模拟数字混合电路, 通常采用多路供电。与其它随钻测井仪器相比, 随钻声波测井仪的电子系统复杂、功耗较大。例如, 目前国际上较为先进的 Baker Hughes INTEQ公司的 APX(Acoustic Property Explorer)仪器包括大功率宽带声源、六个接收器阵列、复杂的井下数据采集和实时处理系统, 系统功耗为 18W(低速测量方式)或 30W(高速测量方式)^[1-3]。APX 系统

复杂、功能强, 因此电子系统功耗较大, 但即使功能简单的随钻声波测井仪, 例如仅仅实现地层纵波波速测量功能, 其平均功耗也可达数瓦以上。若采用相控线阵发射、接收技术, 以改变换能器的辐射指向性, 使得声波能量更多地辐射向地层, 并改善接收到的信号的资料质量^[4], 则需采用多个大规模 FPGA 或新型 CPLD 芯片^[5], 平均功耗会更大。

国外随钻测井仪器一般采用泥浆发电机和高温锂(Li)电池供电, 由于技术原因, 目前国内随钻测井仪器仍然采用高温锂电池供电, 一般采用多节锂电池串联组成电池短节。锂电池的指标如下: 3.45V/29Ah@150℃, 额定放电电流 400mA, 耐高温 150℃。在随钻声波测井仪中, 由于安装空间限制, 电池短节不能做得太长, 因此其能量有限, 例如采用 8 节锂电池串联组成电池短节, 根据电池指标, 同时考虑到多路放电的不均衡性和使用余量, 电池短节的能量约为 2.4×10^6 J, 仪器连续工作时间仅能维持 4 天左右, 无法满足实际钻井需要。因此, 受

收稿日期: 2008-10-03; 修回日期: 2009-01-08

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(10534040)、国家自然科学基金面上项目(40574049 和 40874097)和高等学校博士学科点专项科研基金(20070425028)。

作者简介: 肖红兵(1968-), 男, 甘肃金塔人, 博士研究生, 高级工程师, 主要研究方向为随钻测井技术。

通讯作者: 肖红兵, E-mail: xhb0546@yahoo.com.cn

电池能量所限,随钻声波测井仪不能像电缆声波测井仪器那样采用长时间连续工作方式。

由于在钻井过程中,钻进速度不快,与电缆测井相比,随钻声波测井仪的测量速度较慢,因此在保证地层分辨率的前提下,随钻声波测井仪可以采用间歇工作方式,这样就能够降低系统的平均功耗,大幅度提高电源的工作寿命。为实现随钻声波测井仪器的间歇工作方式,需控制随钻声波电子系统的供电电源,以保证仪器能够根据测量需要可靠地开启和关断。

2 电源控制电路设计

随钻声波测井仪受控于 MWD(Measurement While Drilling)系统,根据钻井作业特点和随钻测井的需要,MWD 系统实时改变随钻声波仪器的工作时序,通过井下通讯总线,将指令传给随钻声波仪器,使其在钻井过程中间歇工作。随钻声波电源系统控制方式如图 1 所示。

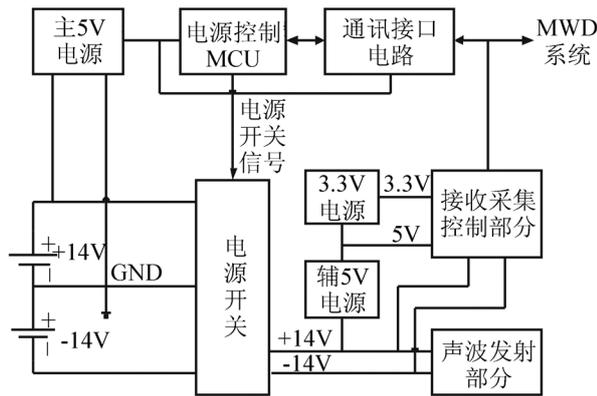


图 1 随钻声波电源系统控制框图
Fig.1 Power system control chart of acoustic LWD tool

整个电子系统由 8 节锂电池供电,并从中间引出线作为电源地,得到±14V 电池电压。电源控制 MCU、通讯接口电路和电源开关组成电源控制电路,工作电压为+14V 和 5V,其中 5V 电压由主 5V 电源产生。电源控制 MCU 通过通讯接口电路与 MWD 系统通讯,并控制电源开关的导通和关闭。声波发射部分和接收采集控制部分所需电源由±14V 经电源开关之后,再经相应的电源变换模块得到。因此,整个电子系统中只有电源控制电路始终处于工作状态,使电子系统中功耗大的声波发射部分和在接收采集控制部分则处于受控状态,实现间歇工作方式,从而可以最大限度地降低电池能耗。

电源控制电路如图 2 所示,电源控制 MCU 采用低功耗芯片 PIC16C63,功率 MOSFET Q1、Q2、

Q3 及其外围器件组成电源开关。

PIC16C63 是一种 CMOS 工艺的高性能 RISC8 位单片机,具有 8 级硬件堆栈、13 个双向 I/O 口,硬件中断以及睡眠工作方式,片内有 192b RAM 和 4K×14b EPROM;芯片内集成了 I2C、SPI 总线和 SCI/USART 和自振式看门狗等多个功能模块,当采用 5V 供电和 4MHz 主频时,工作电流小于 2mA,睡眠工作方式的电流不大于 1A^[6]。由于 PIC16C63 具有低功耗、外围器件少、可靠性高等特点,因此适合于随钻声波测井仪电子系统的供电控制,电源控制程序流程如图 3 所示。

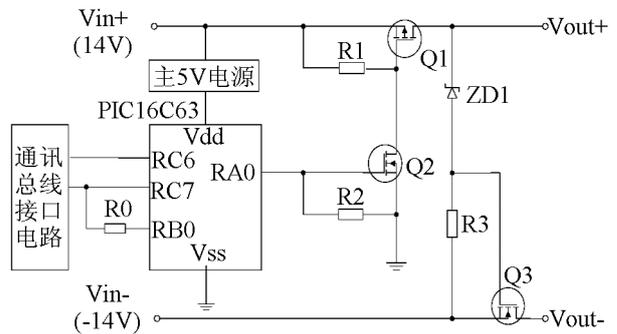


图 2 随钻声波测井仪电源控制电路
Fig.2 Power control circuit of acoustic LWD tool

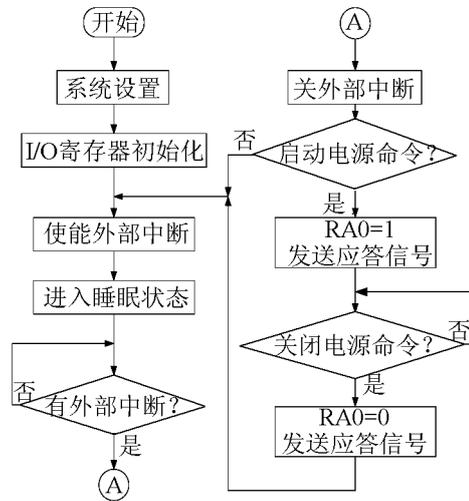


图 3 电源控制程序流程
Fig.3 Power control flow chart of acoustic LWD tool

PIC16C63 由 SCI 通讯线 RC6、RC7,经井下通讯总线接口电路与 MWD 系统通讯,I/O 口 RA0 控制电源开关电路。为减小功耗,PIC16C63 平时工作在睡眠模式,当需要测量时,由 MWD 系统唤醒。PIC 系列单片机通常采用 I/O 口电平变化方式唤醒睡眠,由于井下电磁干扰较大,容易发生误动作,可靠性差,且需额外增加一根连接线,不利于井下连接。但在睡眠模式中,PIC16C63 无片内 Q 时钟,异步模式 USART 不工作,无法直接通过串

口命令唤醒睡眠,为此,在串口接收 RC7 引脚与 RB0/INT 引脚之间并联电阻 R0,利用串口接收端的首个串行脉冲作为唤醒脉冲,触发 RB0/INT 中断唤醒睡眠。在 PIC16C63 收到 MWD 系统的启动电源命令之前,RA0=0,则 Q1、Q2、Q3 关断, $V_{out+}=V_{out-}=0$;当 PIC16C63 收到启动电源命令之后,RA0=1,Q2 导通,则使 Q1、Q3 导通, $V_{out+}=V_{in+}$, $V_{out-}=V_{in-}$ 。

3 电源开关电路器件选择、仿真和实验

Q1、Q3 分别为正、负电源的开关管,需要承受较大的工作电流,而且为了减小其自身损耗,导通电阻应尽量低,考虑到 Q1、Q3 在工作时通过的电流比较大,器件温度比较高,因此,为进一步提高可靠性,可采用漏极额定电流高的 MOSFET,如 N 沟道 PowerTrench MOSFET FDS8812NZ(30V、20A、4.0m Ω)和 P 沟道 PowerTrench MOSFET FDS4435BZ(-30V、-8.8A、20m Ω)。

Q2 选用 N 沟道增强型功率 MOSFET IRFR220,其主要指标为:BV_{DSS}=200V, I_D=4.6A, r_{DS(ON)}=0.8 Ω , V_{GS(TH)}=2~4V。

稳压管 ZD1 用来使 Q3 建立合适的偏压,因此为了使 Q3 可靠导通,根据 IRFF220 的导通特性,选择 ZD1 为 24V 稳压管 1N4749。

电源开关电路的仿真采用电路通用分析软件 OrCAD/Pspice10.5,它可以对模拟电路进行直流、交流、瞬态等基本电路特性分析,还可进行参数扫描分析和统计分析,具有仿真速度快、精度高等优点,并且集成了几乎所有电子电路设计和分析所需的器件、信号源、电源、万用表和示波器。PSPICE 用于电路仿真时,以源程序或图形方式输入,能自动进行电路检查、生成图表、模拟和计算电路。它不仅可以对模拟电子线路进行不同输入状态的时间响应、频率响应、噪声和其它性能的分析优化,还可以分析数字电子线路和模数混合电路。

图 4~图 6 为电源开关电路的仿真结果,其中,图 4 为导通特性,电源开启电压为 3.1V,输出 $V_{out}=\pm 13.8V$ (负载电阻为 40 Ω)。图 5 为静态功耗特性,当控制信号为 0V 时,正电源漏电流 28.6 μA (实线),负电源漏电流 15.8 μA (虚线)。图 6 为开关电路自身功耗,当输入控制信号为 5V 时, I_{R1}=70 μA (实线), I_{R2}=50 μA (长虚线), I_{R3}=42 μA (短虚线)。

根据仿真和实验结果,电源控制电路能够使电源开关可靠地导通和关断,且功耗低、抗干扰能力强,满足设计要求。

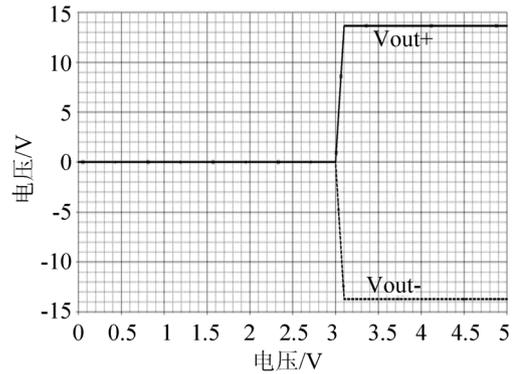


图 4 电源开关导通特性

Fig.4 Turn-on characteristics of the power switch

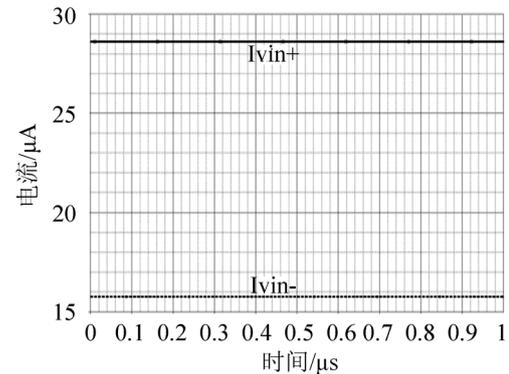


图 5 电源开关静态功耗

Fig.5 Quiescent power drain of the power switch

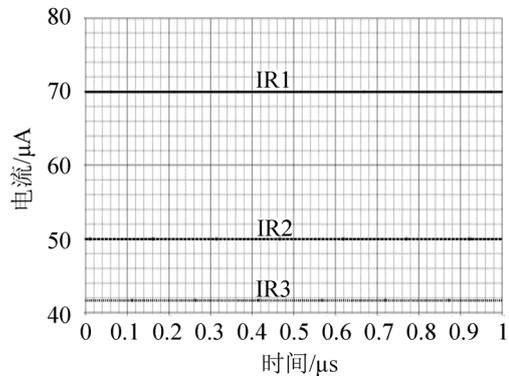


图 6 电源开关自身功耗

Fig.6 Dynamic power drain of the power switch

4 结 论

随钻声波测井仪电子系统复杂、功耗较大,如果采用高温锂电池供电,保障仪器的长时间连续工作是一项关键技术。根据随钻声波电子系统的供电特点、电池性能和工程应用要求,设计了随钻声波电源控制电路。该方案采用了低功耗 MCU,能够根据 MWD 系统指令控制电源电子开关,实现了系统主电路的供电控制。仿真和实验结果表明,所设计的电源控制电路功耗低、抗干扰能力很强,间歇工作方式大幅度提高了电池利用效率,能够满足随

钻声波测井仪的工作要求。

参 考 文 献

- [1] Joyce B, Patterson D, Leggett J, et al. Introduction of a new omni-directional acoustic system for improved real-time LWD sonic logging tool design and field test results[A]. SPWLA 42nd Annual Logging Symposium[C]. June 17-20, 2001.
- [2] Leggett J, Dubinsky V, Patterson D, et al. Field test results demonstrating improved real-time data quality in an advanced LWD acoustic system[Z]. SPE 71732, 2001.
- [3] 林楠, 王敬萌, 亢武臣, 等. 最新随钻声波测井仪的技术性能与应用实例[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(4): 73-76.
LIN Nan, WANG Jingmeng, Kang Wu-chen, et al. Technical performances and applications of the newly developed sonic LWD tools[J]. Drilling Petroleum Techniques, 2006, 34(4): 73-76.
- [4] 车小花, 乔文孝. 声波测井信号定向接收处理方法及校验[J]. 声学技术, 2007, 26(1): 66-69.
CHE Xiaohua, QIAO Wenxiao. Directional reception and verification of acoustic well logging data[J]. Technical Acoustics, 2007, 26(1): 66-69.
- [5] 王德龙, 张海澜. 新型 CPLD 在井下超声石油流量计中的应用[J]. 声学技术, 2006, 25(5): 411-414.
WANG Delong, ZHANG Hailan. Application of new CPLD in downhole ultrasonic flowmeter[J]. Technical Acoustics, 2006, 25(5): 411-414.
- [6] Microchip Technology Inc. PIC16C6X datasheet[DB/OL]. <http://www1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/30234d.pdf>.

荣誉证书

丁玉薇 同志:

经评审,您的论文“科技期刊评估的指标、体系和方法”获“第六届长三角科技期刊发展论坛”优秀论文三等奖,特颁此证。

江苏省科技期刊编辑学会
上海市科技期刊学会
浙江省科技期刊编辑学会
二〇〇九年九月二十日

荣誉证书

钱俊龙、谢燕、许云、丁玉薇、熊樱菲、潘小伦 同志:

经评审,您的论文“科技期刊创新与编辑学理论研究——从上海地区六个期刊编辑部“创新调查”引出的思考”获“第六届长三角科技期刊发展论坛”优秀论文一等奖,特颁此证。

江苏省科技期刊编辑学会
上海市科技期刊学会
浙江省科技期刊编辑学会
二〇〇九年九月二十日