

基于ARM的瞬变电磁数据采集系统设计

为了适应地质探测的要求, 结合便携式探测系统的设计思想, 根据瞬变电磁信号的特点, 设计了基于ARM的高采样率和高准确度的瞬变电磁数据采集系统。通过实验测量, 系统采样速率达 $2\ \mu\text{s}$, 误差为 $10\ \text{mV}$, 可以满足实际使用要求。该系统的特点是: 使用精密放大器组成的电阻网络对二次场信号实现了分段放大, 避免了前期信号出现饱和, 同时后期微弱信号可以得到准确采集; 使用先进先出(FIFO)存储器节约CPU时间, 保证AD7677对瞬变电磁前期信号的采集速率。

脱 慧/陕西理工大学电工电子实验中心

0 引言

瞬变电磁法作为一种地球物理探测方法, 由于其在时间和空间上的可分性, 使得这种方法简单易行, 信息丰富, 准确度较高, 从而在矿产勘探、钻井、航空和海洋等领域得到了广泛的应用^[1]。采集系统的目的是在噪声中提取由发射机发射的一次场信号在地下导体中感应出的二次场信息。其信息反映了地下导体的电阻率差异。瞬变电磁信号具有早期信号幅度大、衰减快, 而中晚期信号幅度小、衰减慢的大动态范围的特点^[2]。如何采集到有效的瞬变电磁信号是瞬变电磁数据采集系统设计的关键, 本文详细介绍了该系统的设计思路 and 实现方法。

1 数据采集系统的组成与原理

1.1 数据采集系统的组成

通用的数据采集系统由保护电路、低通滤波电路、信号放大电路、A-D模块、时序控制电路以及微控制器组成^[3]。

在进行数据采集过程中, 信号经过前期信号处理电路处理以后, 微控制器根据信号幅值控制放大电路对信号进行适当衰减和放大, 然后由A-D转换器对经过放大器的信号进行采样^[4-5], 最后由微控制器对信号进行数据处理。

1.2 数据采集系统取样原理

在接收系统中, 主要是测量发射电流关断后的二次场信号, 为了确保将野外信号有效可靠地记录下来, 要求接收系统具有较高的灵敏度。由于晚期信号量级已达微伏, 所以接收系统的实际接收准确度至少要达到此水平。目前国内外各种仪器主要有三种取样方式: 模拟积分取样、数字化叠加取样和模拟积分-数字化叠加取样, 这几种方法各有优缺点。

早期的小功率瞬变电磁仪接收机(如PEM和EM-37)均采用模拟积分取样方式。时标信号用来确定取样的起始时间、取样宽度和取样次数。当开关接通时, 信号通过限流电阻给电容充电, 由于运放的钳位作用, 在输入电压不变的情况下, 能够保障给电容恒流充电。适当地设计电阻 R 、电容 C 及充电次数, 可以使最后电容上的电压值等于输入电压值^[6]。由于积分过程中高频滤波作用, 这种电路采样准确度高, 但对电路准确度要求也较高。

数字化叠加取样方式是当前最流行的一种, 其原理是经过采样保持电路后, 先将每个采样点的信号数字化, 然后直接送入计算机, 在计算机内处理后



脱 慧/实验师

关键词/Keywords

ARM ·
AD7677 ·
FIFO ·
瞬变电磁 ·
数据采集 ·

再进行软件积分。每个采样点的数字化信号送入计算机后,计算机可根据设计要求将密集的采样分成若干个时间道信号,每次采样后相同的时间道叠加,即可达到软件积分的目的。这种方式电路简单,实用灵活,在计算机中可做各种不同方法的处理。

第三种取样为模拟积分—数字化叠加取样方式。SIROTEM—II瞬变电磁仪就采用了这种方法。其工作原理综合上述两种方法,它不像模拟积分方式,每道都有一个积分器,而是在通道中只采用了一个积分器。设计积分电阻及电容值,使之每次积分即可达到输入值。相当于每次的取样保持电路都是从零开始取样。这样也相当于面积取样,起到了一个很好的滤波作用。晚延时道将多次积分采样用计算机叠加到一起,得到不同采样道的数值后再进行软件积分。这种方法的缺

点是早延时道分辨率较低。

本文设计的瞬变电磁数据采集系统采用数字化叠加取样方式。

2 数据采集系统硬件设计

本文设计的瞬变电磁数据采集系统的硬件基本组成框图如图1所示。其中接收系统的放大电路采用精密放大器AD521和多路选择开关AD7502组成的电阻网络,实现四级放大,信号采集采用高速率、高准确度的16位A—D转换器AD7677^[7],数据存储芯片采用Cypress公司的CY7C433先进先出芯片,控制器采用飞利浦公司的LPC2292^[8]。由控制器实现对AD521和AD7502组成的放大电路和采样芯片AD7677的控制。下面重点对接收系统的放大电路、采样接口电路、存储接口电路以及译码接口电路的设计和工作原理进行介绍。

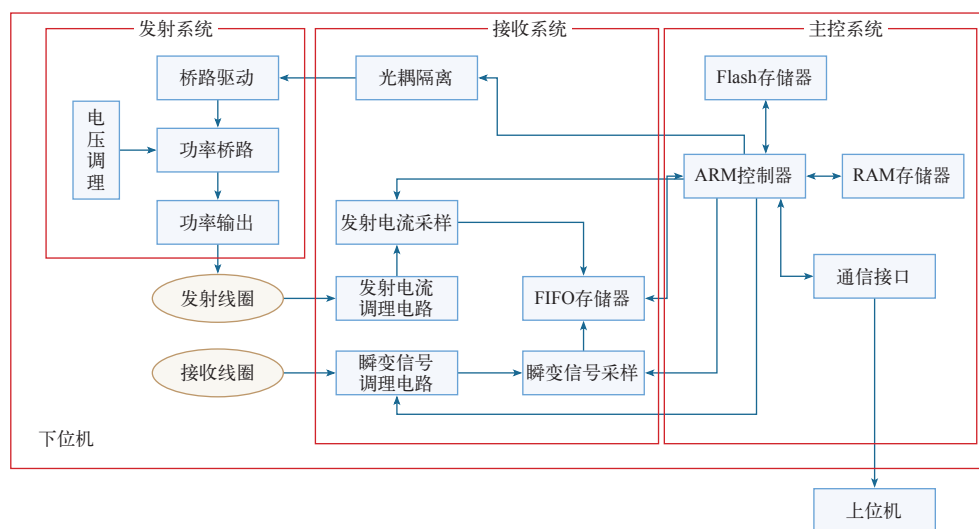


图1 瞬变电磁数据采集系统基本组成框图

2.1 放大电路设计

根据瞬变电磁信号的特点,为提高仪器的动态范围,设计时采用分段放大技术来解决该问题,即对早期瞬变信号不放大,对晚期瞬变信号进行适当放大。这样既可以使前期信号不产生饱和,又可以准确采集到晚期的微弱信号,提高了系统的分辨率。分段放大电路原理如图2所示。

该放大电路的放大器采用的是AD公司的测量放大器AD521,配合ARM控制器对多路选通开关

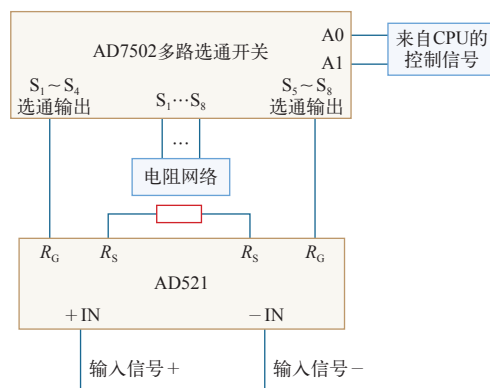


图2 分段放大电路

AD7502进行 $S_1 \sim S_8$ 的选通控制,组成精密的电阻网络,可以实现0.1~1 000的放大倍数,该系统实现的是0.1、1、100和1 000的四级放大。测量放大器的放大倍数计算公式为

$$G = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{R_S}{R_G}$$

2.2 采样接口电路设计

瞬变电磁早期信号衰减很快,这就需要有足够高的采样速率,才能很好地满足系统的要求;晚期信号幅度很小,这就要求有足够高的准确度。综合以上这些要求,所选用的采样芯片应该满足高准确度、高采样速率的双重要求。Analog Device推出的A-D转换芯片AD7677具有这样的性能。AD7677是一款高速、低功耗和高准确度的16位A-D转换器,而且根据不同的应用场合可

以选择不同的模式。其有三种工作模式:Wrap、Normal和Impulse,在本系统中采用的是Impulse模式。Impulse模式是最节能的一种模式,这种模式最快的采样速率为666 kS/s。

CONVST信号由CPU的PWM5产生,而且此控制信号与片选信号CS以及读数据信号RD独立。采用Impulse模式可以实现自动转换,每次转换结束,BUSY电平由高变低,此时转换数据直接进入FIFO存储器,等采样结束后进行数据处理,处理之后通过串行通信口传输给上位机。

AD7677的基准电源输入由REF192提供,前端输入驱动电路由两片AD8021组成,信号采用单极输入的形式,当输入0~2.5 V的模拟信号时,会产生中间刻度为1.25 V的 ± 2.5 V的差分信号。AD7677的接口电路如图3所示。

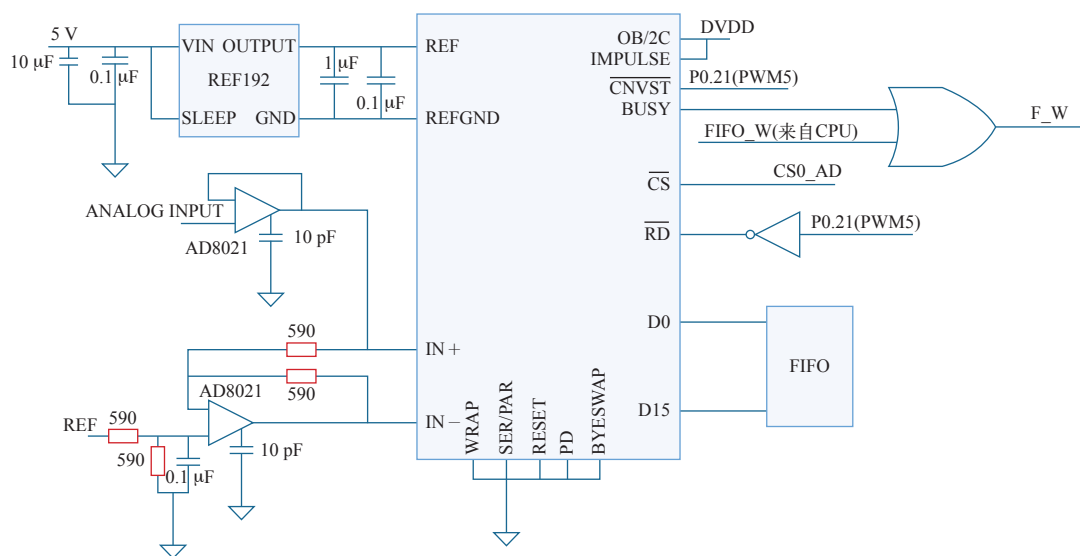


图3 采样接口电路

2.3 存储电路设计

瞬变信号的特点决定了设计时必须考虑到采样后的数据存储。数据采用何种存储方式直接影响到CPU的执行时间,从而影响了A-D的采样速率,因此本文设计数据存储时采用先进先出的存储思想。即A-D采样后的数据先直接存入FIFO^[9-10],等采样点达到要求之后再由CPU读取FIFO中的数据进行处理,这样可以确保对瞬变二次场的前期信号进行充分采集。

为了满足AD7677采集数据的存储需求,本文设计存储电路时采用两片CY7C433进行宽度扩展,其接口电路如图4所示。

2.4 译码电路设计

为了提高系统的可扩展性,采用74LS138译码器译码,实现对外部Flash、外部RAM、FIFO读、AD和LCD各个器件的选通和操作。其译码电路如图5所示。

74LS138译码器的E1、E2使能信号连CPU的

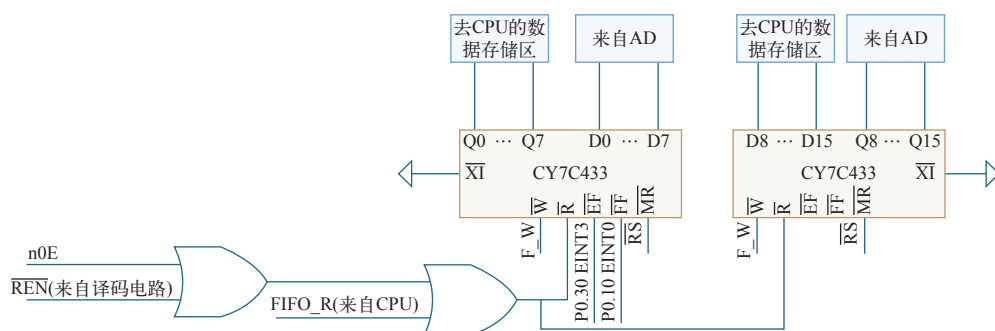


图4 存储接口电路

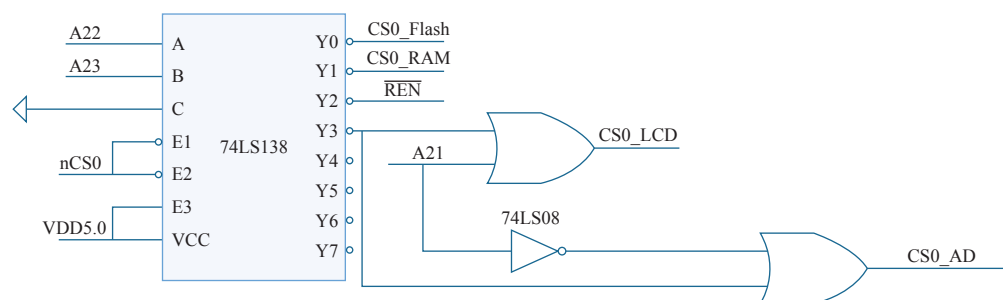


图5 译码接口电路

nCS0，地址范围位为0x80000000—0x80FFFFFF，因此外部扩展设备的译码地址如表1所示。

表1 译码表

E1	E2	E3	C	B	A	地址线
0	0	1	0	0	0	21
0	0	1	0	0	1	18
0	0	1	0	1	0	1
0	0	1	0	1	1	3
						1
地址范围						选通设备
0x80000000—0x803FFFFFF						片外Flash
0x80040000—0x804FFFFF						片外RAM
0x80800000						FIFO的读
A21=0	0x80C00000—0x80C00007					液晶显示器
A21=1	0x80E00000					AD7677

2.5 数据采集系统时序电路设计

(1) AD采样时序设计

设计采集时序是考虑到由于信号前期衰减很快，为了保证AD的采样速率达到设计要求，采用Impulse模式，采样的数据直接进入FIFO，等采样结束再由CPU从FIFO中读取数据进行后期处理。

AD的转换启动信号由CPU的PWM5产生，转

换结束信号BUSY作为FIFO写信号的一端，AD的读信号通过转换信号取反提供。

(2) FIFO读写时序设计

FIFO中数据的写和读是分开进行的，即AD采样的数据先直接进入FIFO，等采样点达到设计要求之后，再读取FIFO中的数据。FIFO的写信号由AD采样结束信号BUSY和CPU的控制信号经过逻辑“或”以后产生。FIFO的读信号由CPU的nOE、译码信号REN和CPU的控制信号共同产生。

3 数据采集系统软件设计

软件部分主要实现AD采样启动信号CNVST的产生，根据采样过程信号的大小调整放大倍数，给译码电路提供需要的译码控制信号，控制FIFO的写和读，等采样结束之后对数据进行处理，具体程序流程如图6所示。

4 实验结果及分析

系统对稳压电源信号进行了测量分析。稳压电源输入3 V的直流电压，选择0.1倍的放大倍数；稳压电源输入1 V的电压，不放大。采样间隔2 μs，

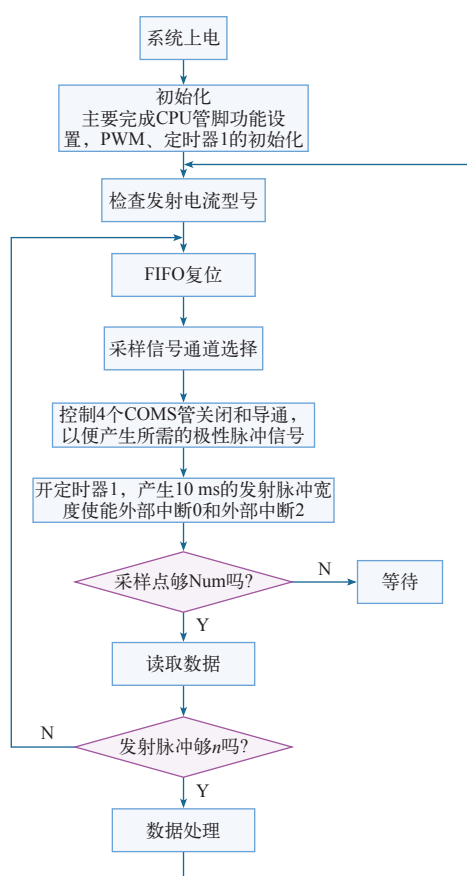


图6 采样程序流程

每次采10 ms的数据。所测得数据如表2所示。

表2 系统对稳压电源的采集数据

输入电压/V	放大倍数	最大采集电压/V	最小采集电压/V	相对误差(%)
3	0.1	0.309 583	0.289 975	0.075 05
1	1	1.000 218	0.999 823	0.039 51

由表2可知,测量3 V电压,选择0.1倍放大倍数,测得的最大值为0.309 583 V,最小值为0.289 975 V,得出相对测量误差为0.075 05%;当测量1 V电压时,不设增益,测得的最大值为1.000 218 V,最小值为0.999 823 V,得出相对测量误差为0.039 51%。后者的误差小于前者,这是因为AD521对信号的放大产生了较大误差。由采集数据可见,采集系统对信号的测量可以准确到毫安级,信号的采集比较准确,能够满足实际测量需求。

5 结束语

本文设计瞬变电磁数据采集系统,通过实验

测量采集速率可以达到2 μ s,同时为了抑制干扰信号,利用发射电流双极性特点,在数据处理时采用软件计算方式,将正极性的信号与负极性的信号相减,然后对结果求算术平均,这样可以大大降低噪声对测量信号的影响。

该系统适合对各种地质结构进行探测,对采集的数据进行反演处理,可以准确得到所测区域的地质信息。由于目前探测的需求,该系统有很高的应用价值和广阔的市场前景。

参考文献

- [1] 韩靖龙. 瞬变电磁法在雷门沟钨矿勘查效果分析[J]. CT理论与应用研究, 2013, 22(1): 53-60.
- [2] 沈宏亮, 许晶. 井下瞬变电磁勘探优缺点分析[J]. 电子测试, 2013, 4(8): 268-269.
- [3] 胡子君, 宋刚, 等. 瞬变电磁低噪声前置放大器研制[J]. 地球物理学进展, 2012, 27(6): 2704-2709.
- [4] 屈路, 于生宝, 等. 分布式瞬变电磁接收系统设计与实现[J]. 仪表技术与传感器, 2013(8): 83-85.
- [5] 张怀, 王广君, 等. 基于FPGA的高准确度电磁信号采集系统设计[J]. 电子技术应用, 2013, 39(8): 88-90.
- [6] 燕丽红, 熊超, 等. 基于ARM控制的电池放电保护系统设计[J]. 计算机与数字工程, 2013(10): 1688-1690.
- [7] 晁元德. 高精度24位模数转换器AD7176-2的原理及应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2014(8): 79-81.
- [8] 刘慈阳, 汤欣. 基于LPC2292PWM控制系统设计与测试[J]. 贵州科学, 2014, 32(2): 35-38.
- [9] 陈海生, 郭晓云, 等. S3C2400串口FIFO模式的中断机制和处理策略[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2013(6): 32-35.
- [10] 吴爱萍, 熊超, 等. 基于ARM的RFID门禁控制系统设计[J]. 现代电子技术, 2013(2): 60-61.

(收稿日期: 2016-07-16) **EA**