

7.4 软件设计

ZYNQ SOC 为片上系统，利用 ZYNQ SOC 的 PL 主要实现 AD7609、AD7606 采集、离散量输入、离散量输出、数字滤波、设备自检等功能，并提过 AXI 内部总线和 PS 端通信。

ZYNQ PS 端集成 ARM 处理器，采用 ARM 处理器实现输出储存及串口通信功能。

主要实现数据的传感器信号调理及激励、AD 采集、串口通信、数据存储、数据下载等功能。采集存储一体机原理框图如下：

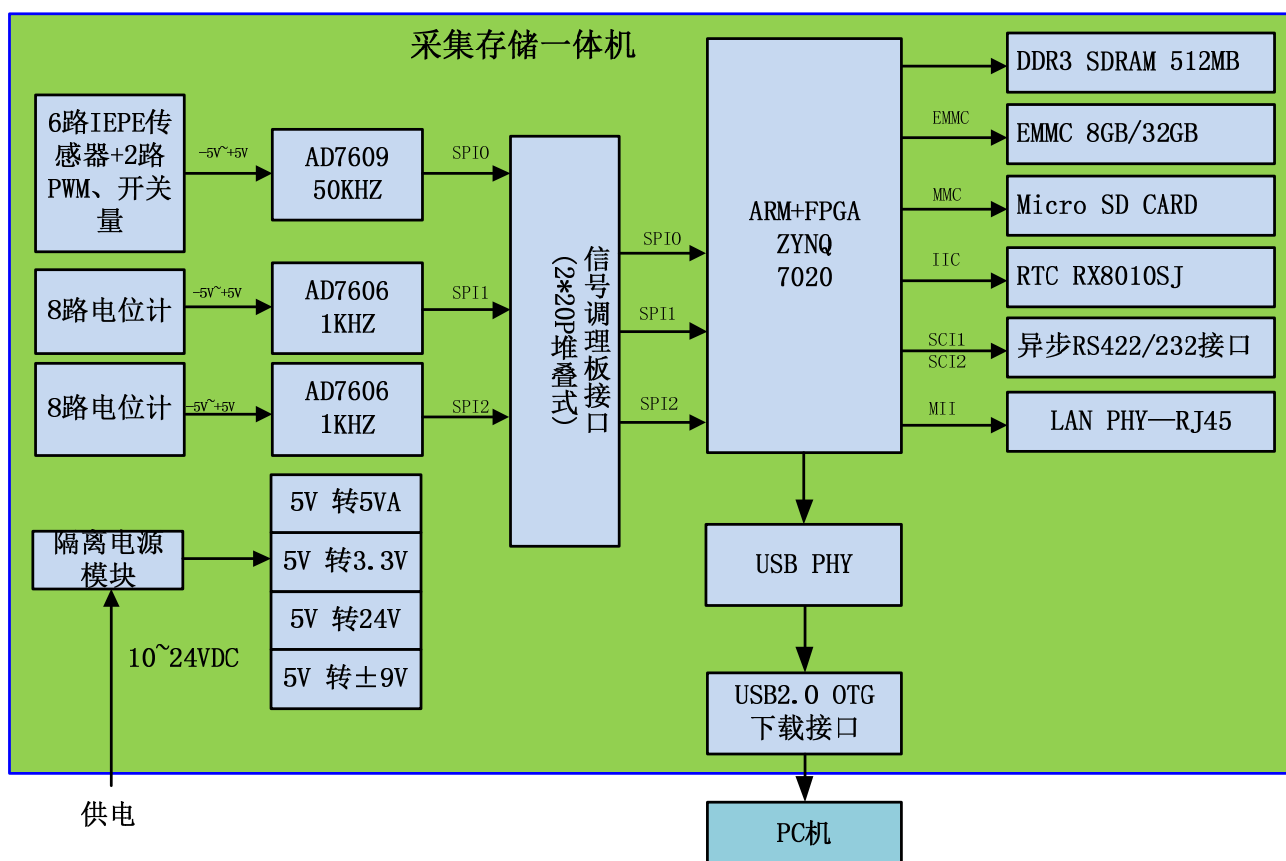


图21 原理框图

7.4.1 SOC PL 端(FPGA)程序设计

FPGA 实现三路独立的 AD 采集功能，其中前 8 个通道由一片 AD7609BSTZ 采样率 50K(默认)和 200K 可通过跳线设置，后 16 路由两片 AD7606BSTZ，采样率 1K(默认)和 10K。

FPGA 数据采集及控制工作流程如下：

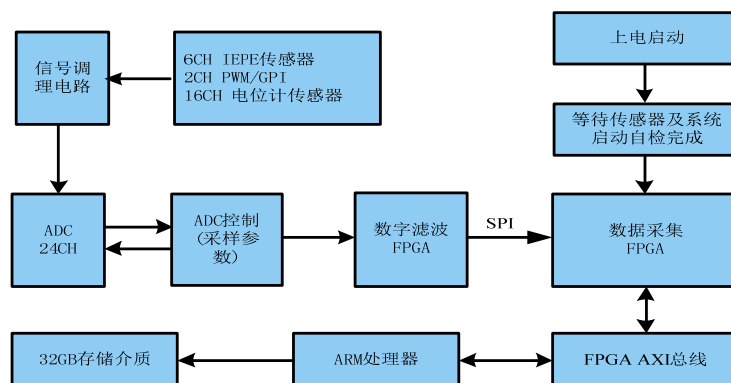


图22 采集及控制工作流程

FPGA 程序开发主要功能如下：

1) AD7609BSTZ为18位AD，量程-5V~5V，有效信号-5V~5V，取16位作为有效数据(超过16位(0~FFFF表示-5V到+5V)：18位取高16位，17位[17:1]，其他取低16位，参考代码)；

第18位作为符号位，第17位因为单端信号+/-5V，所以一直为0；舍弃最低位，取16位数据同时将-5V-0V用0-8000表示，0V-5V用8000~FFFF表示，也就是

```
{(!data3_reg[17]),data3_reg[15:1]};
```

转换16位有效数据CODE16如下：

```
data3 <= {(!data3_reg[17]),data3_reg[15:1]};//转换16位CODE
```

$$\pm 5V \text{ CODE} = \frac{V_{\pm}}{10V} \times 131072 \times \frac{V_{REF}}{2.5V} \quad (-10V \sim +10V)$$

WHEN $V_{+} = +5V$, $V_{-} = 0$, $\text{CODE} = 65536$, 然后除以 $2+32768 \implies 65536$

$$+5V \text{ CODE} = \frac{5V}{10V} \times 131072 \times \frac{V_{REF}}{2.5V} = 65536 \quad (18 \text{ 位 CODE})$$

$$+5V \text{ CODE}_{16} = \frac{5V}{10V} \times 65536 \times \frac{V_{REF}}{2.5V} + 32768 = 65536 \quad (\text{转换后 } 16 \text{ 位 CODE})$$

WHEN $V_{+} = -5V$, $V_{-} = 0$, $\text{CODE} = -65536$, 然后除以 $2+32768 \implies 0$

$$-5V \text{ CODE} = \frac{-5V}{10V} \times 131072 \times \frac{V_{REF}}{2.5V} = -65536 \quad (18 \text{ 位 CODE})$$

$$-5V \text{ CODE}_{16} = \frac{-5V}{10V} \times 65536 \times \frac{V_{REF}}{2.5V} + 32768 = 0 \quad (\text{转换后 } 16 \text{ 位 CODE})$$

经过转换之后的16位数据CODE16,可以计算得出模拟电压Vad如下：

$$V_{ad} = 5V * (\text{CODE}_{16} - 32768) / 32768$$

$$V_{AD} = -5V + \frac{\text{CODE}_{16}}{32768} \times 5V$$

2) AD7606BSTZ为16位AD，量程-5V~5V(-32768~+32768)，有效信号0V~5V，取16位作为有效数据；转换16位CODE

//data9 <= data9_reg[15] ? 16'd0 : data9_reg[14:0]; (无负压)

Data9 <= {(!data9_reg[15]),data9_reg[14:0]}; (允许负压)

经过转换之后的 16 位数据 CODE16, 可以计算出模拟电压 Vad 如下:

$$V_{AD} = 10V * (CODE16 - 32768) / 65536$$

$$V_{AD} = -5V + \frac{CODE16}{32768} \times 5V$$

- 3) AD7609BSTZ 采样率 50K 和 200K(高)选择通过跳线 SWM1 (KEY_SEL0) 选择;
- 4) AD7606BSTZ 采样率 1K 和 10K(高)选择通过跳线 SWM2 (KEY_SEL1) 选择;
- 5) 指示灯:

STAT_LED0 : 三路 AD 均工作正常并在开始采集储存时 1HZ 闪, OTG 下载数据时 2HZ 闪;

STAT_LED1 : 第一个 7609 的采样率指示, 亮 200KSPS;

STAT_LED2 : 第二、三个 7606 的采样率指示, 亮 10KSPS;

表8 ZYNQ 7020 (XC7Z020CLG400-2)

序号	管脚名称	管脚	类型	信号名称	备注
1	B34_L6_P	P14	input	AD7609_BUSY	
2	B34_L17_P	Y18	input	AD7609_BUSY1	
3	B34_L11_N_SRCC	U15	input	AD7609_BUSY2	
4	B34_L3_N	V13	output	AD7609_CONVSTAB	
5	B34_L7_P	Y16	output	AD7609_CONVSTAB1	
6	B34_L11_P_SRCC	U14	output	AD7609_CONVSTAB2	
7	B34_L5_N	T15	output	AD7609_CS_N	
8	B34_L7_N	Y17	output	AD7609_CS_N1	
9	B34_L10_P	V15	output	AD7609_CS_N2	
10	B34_L6_N	R14	input	AD7609_DOUTA	
11	B34_L5_P	T14	input	AD7609_DOUTB	
12	B34_L22_P	W18	input	AD7609_DOUTA1	
13	B34_L10_N	W15	input	AD7609_DOUTA2	
14	B34_L17_N	Y19	input	AD7609_DOUTB1	
15	B34_L9_P	T16	input	AD7609_DOUTB2	
16	B34_L4_N	W13	input	AD7609_FIRSTDATA	
17	B34_L21_N	V18	input	AD7609_FIRSTDATA1	
18	B34_L18_P	V16	input	AD7609_FIRSTDATA2	
19	B34_L4_P	V12	output	AD7609_RST	
20	B34_L9_N	U17	output	AD7609_RST1	
21	B34_L18_N	W16	output	AD7609_RST2	
22	B34_L8_P	W14	output	AD7609_SCLK	
23	B34_L21_P	V17	output	AD7609_SCLK1	
24	B34_L8_N	Y14	output	AD7609_SCLK2	
25	B35_L12_P_MRCC	K17	input	FPGA_GCLK1	50M 时钟
26	B34_L16_N	W20	output	I2C0_SCL	RX8010SJ 时钟 SCL
27	B34_L16_P	V20	inout	I2C0_SDA	RX8010SJ 时钟 SDA
28	B34_L22_N	W19	input	RTC_INT#	RX8010SJ 时钟 INT

29	B34_L1_N	T10	input	KEY_SEL0	采样率选择 SEL0
30	B34_L1_P	T11	input	KEY_SEL1	采样率选择 SEL1
31	B35_L17_P	J20	input	KEY_SEL2	备用
32	B34_L3_P	U13	output	STAT_LED0	状态指示灯 0
33	B34_L2_N	U12	output	STAT_LED1	状态指示灯 1
34	B34_L2_P	T12	output	STAT_LED2	状态指示灯 2
35	B35_L24_P	K16	output	STAT_LED3	状态指示灯 3
36	B35_L24_N	J16	output	STAT_LED4	状态指示灯 4
37	B35_L3_N	D18	input	UART1_RXD	RS422 串口
38	B35_L3_P	E17	output	UART1_TXD	RS422 串口
39	B35_L12_N_MRCC	K18	input	PL_KEY	备用
40	MI09		input	PS_KEY	记录选择开关键

按键功能

设置项	信号名称	按键名称	默认	默认	LOW	LOW
采样率	KEY_SEL0	SWM1	High	50KSPS	LOW	200KSPS
	KEY_SEL1	SWM2	High	1KSPS	LOW	10KSPS
	KEY_SEL2	SWM3	High	备用		
记录开关	PL_KEY	KB2	High	记录	LOW	停止
工作模式	PS_KEY	KB1	High	储存	LOW	下载
启动模式	MODE0	MOD0	0	QSPI	1	SD
	MODE1	MOD1	1		1	

状态指示灯

指示位置	信号名称	功能	复位时	自检时	自检完成后
LED1A	PWR_LED	亮表示电源正常	亮	亮	亮
LED1B	STAT_LED0	自检正常亮	LOW 灭	亮	1HZ 闪
LED2A	STAT_LED1	工作模式指示	LOW 灭	按设置	亮：记录模式 灭：下载模式
LED2B	STAT_LED2	采样率指示	LOW 灭	LOW 灭	记录时 1HZ 闪：50K+1K 记录时 2HZ 闪：200K+10K
LED3A	STAT_LED3	备用	LOW 灭	LOW 灭	
LED3B	STAT_LED4	备用	LOW 灭	LOW 灭	

7.4.1 SOC PS 端(ARM)程序设计

系统中需要进行开发的驱动包括：

- 1) AD 采集 AXI 总线数据读取
- 2) TF 卡写盘驱动

- 3) 串口驱动
- 4) 以太网驱动
- 5) 工作状态指示灯及按键

ARM 系统软件主要实现功能如下表：

表9 ARM 系统软件功能模块表

序号	模块名称	功能说明	状态
1	TF 接口驱动	为文件系统提供 SD 访问接口	
2	串口驱动	RS422 数据发送	
3	网络驱动	网络 UDP 数据发送	
4	ARM 应用程序	提供 AD7609、7606 同时采集功能	
5	ARM 应用程序	提供 AD 数据存储功能及按照 TXT 格式存储	
6	数据下载功能	USB2.0 OTG 功能	

7.4.2 数据储存协议

将采集的 AD 数据以固定格式进行储存，方便事后分析，根据通道采样率有两种，我们将前 8 个通道 AD7609 的数据存储成一个文件，其余 16 通道 AD7606 的数据存储一个文件。

- 1) 数据存储文件以 txt 或 csv 格式存储；
- 2) 文件名称：高频+时间信息和
- 3) 数据帧流水号采用 0~FFFFFFFF 范围内的 4 个字节来表示，超出从 0 开始计数；
- 4) 数据帧格式如下表

表10数据帧格式

AD7609 高频采集通道					AD7606 低频采集通道				
序号	字节号	数据说明	数据来源	备注	序号	字节号	数据说明	数据来源	备注
1	WORD1	IEPE0	AD7609	CH0	1	WORD1	DWJ1	AD7606-1	CH0
2	WORD2	IEPE1	AD7609	CH1	2	WORD2	DWJ2	AD7606-1	CH1
3	WORD3	IEPE2	AD7609	CH2	3	WORD3	DWJ3	AD7606-1	CH2
4	WORD4	IEPE3	AD7609	CH3	4	WORD4	DWJ4	AD7606-1	CH3
5	WORD5	IEPE4	AD7609	CH4	5	WORD5	DWJ5	AD7606-1	CH4
6	WORD6	IEPE5	AD7609	CH5	6	WORD6	DWJ6	AD7606-1	CH5
7	WORD7	IEPE6	AD7609	CH6	7	WORD7	DWJ7	AD7606-1	CH6
8	WORD8	IEPE7	AD7609	CH7	8	WORD8	DWJ8	AD7606-1	CH7
9	WORD9	帧流水号 1	计数器 1		9	WORD9	DWJ9	AD7606-2	CH8
10	WORD10	帧流水号 2	计数器 1		10	WORD10	DWJ10	AD7606-2	CH9
11					11	WORD11	DWJ11	AD7606-2	CH10
12					12	WORD12	DWJ12	AD7606-2	CH11

13					13	WORD13	DWJ13	AD7606-2	CH12
14					14	WORD14	DWJ14	AD7606-2	CH13
15					15	WORD15	DWJ15	AD7606-2	CH14
16					16	WORD16	DWJ16	AD7606-2	CH15
17					17	WORD17	帧流水号 1	计数器 2	
18					18	WORD18	帧流水号 2	计数器 2	

➤ 文件名字及帧流水号

帧流水号或者文件创建时间 RTC 系统时间(不能丢包—流水号和数据帧数据先后有关)

4 字节可以表示: 4294967295 按照 200K 采样率大约接近可以 6 个小时不重复(50K 大约一天)。

文件名称以时间命名方式如下:

8 路 AD7609 的数据命名方式: 高速 50K+时间

16 路 AD7606 的数据命名方式: 低速 1K+时间

➤ 记录文件的大小

为了防止文件过大, 按 50K 采样率 8 个通道, 30 秒大约 28MB 文件, 每 30 秒创建一个文件(帧流水号 1500K);

为了防止文件过大, 按 1K 采样率 16 个通道, 10 分钟大约 $31.25 * 600KB = 20MB$ 文件, 每 10 分钟创建一个文件(600K);

➤ 数据速率评估

表11高采样率和低采样率数据量

类型	通道数	帧流水号	位数	采样率	数据速度	文件大小	记录时间	数据速度	文件数
	Byte	Byte	Byte	KSPS	MB/s	高速 30s 低速 10 分钟	/h	MB/h	/h
高速	8	2	2	50	0.953674316	28.61022949	3600	3433.227539	120
低速	16	2	2	1	0.034332275	20.59936523	3600	123.5961914	6
								3.473460674	GB
类型	通道数	帧流水号	位数	采样率	数据速度	文件大小	记录时间	数据速度	文件数
	Byte	Byte	Byte	KSPS	MB/s	高速 30s 低速 10 分钟	/h	MB/h	/h
高速	8	2	2	200	3.814697266	114.440918	3600	13732.91016	120
低速	16	2	2	10	0.343322754	205.9936523	3600	1235.961914	6
								14.61803913	GB

➤ 1 秒数据延迟

断电前 1 秒之前的数据可以记录保存下来, 每个文件的写入周期应该大于 2HZ(根据 TF 卡小文件写入速度)。

7.4.3 数据下载

采用 PC 机 USB2.0 接口, 设备 USB 工作在 OTG 模式下, 用于直接读取映射的磁盘数据。