



SD 卡控制器 IP 用户手册

2024.03.03

目录

一 修订	3
二 IP 构架	4
三 特性	5
四 初始化流程	6
五 IO 表	7
六 IP 配置参数表	9
七 使用说明	10
7.1 SD 卡控制器应用构架	10
7.2 初始化控制	10
7.3 命令产生和读写数据处理	11
八 性能和资源消耗	12

一 修订

版本	修订人	日期	内容
1.00	陈家耀	2024.03.03	创建了第一个正式版本
1.10	陈家耀	2024.04.23	增加了功能查询/切换命令 CMD6
1.20	陈家耀	2024.09.07	修改了 SDIO 时钟发生器，使用 ODDR 输出 SDIO 时钟

二 IP 构架

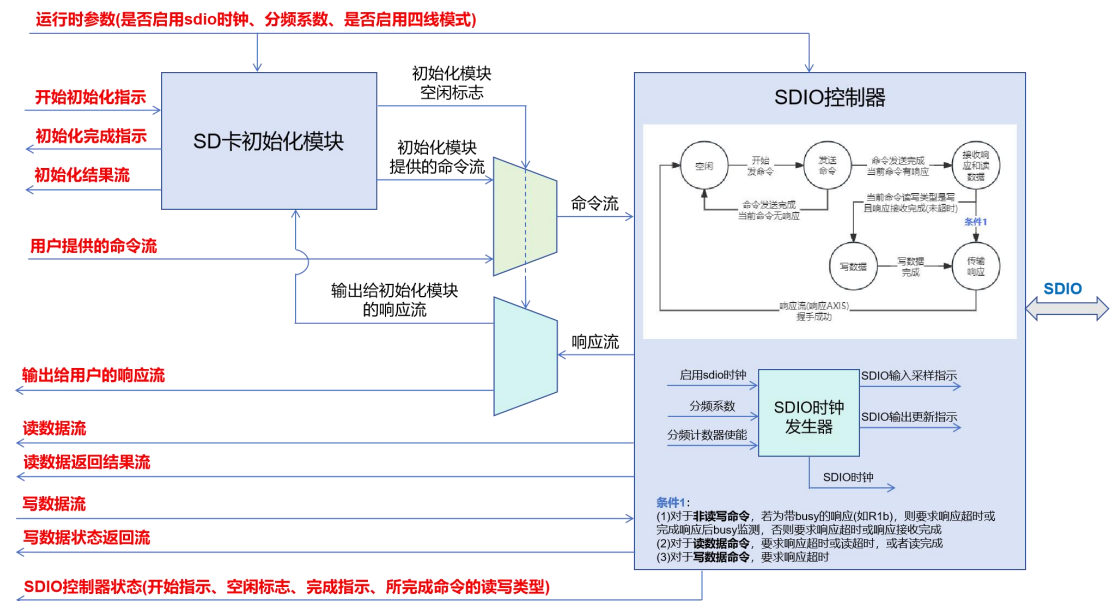


图 2-1 SD 卡控制器框图

SD 卡控制器的框图如图 2-1 所示，该控制器由 SD 卡初始化模块（其初始化流程参见文档的[第四节](#)）和 SDIO 控制器两部分组成。

SD 卡初始化模块能够产生 SD 卡的初始化命令序列，并监测响应流以确定初始化情况。

SDIO 控制器能够接收命令流，并将命令转换为 SDIO 总线上的控制信号，并且监测 SDIO 总线中命令线的从机输出，产生对应的响应流，在这个命令存在响应的情况下，每个响应流与命令流是一一对应的；对于读数据的命令，SDIO 控制器会将从 SDIO 总线读到的数据返回到读数据流，并在读取每个块后产生一个读数据返回结果；对于写数据命令，SDIO 控制器会从写数据流中获取待写的数据，通过 SDIO 总线中数据线将写数据传输给从机，并在写入每个块后产生一个写数据状态返回结果。

当 SD 卡初始化成功时，将用户提供的命令流路由给 SDIO 控制器，将 SDIO 控制器产生的响应流分配给用户，否则，SD 卡初始化模块获得命令流和响应流的控制权。

SDIO 控制器的流程控制在图 2-1 中已给出，它包含“空闲”、“发送命令”、“接收响应和读数据”、“写数据”和“传输响应”五种状态。SDIO 控制器中有一个时钟发生器用于产生 SDIO 总线的时钟输出，其时钟分配系数可以被动态配置，其时钟的开启或关断可以通过“是否启用 sdio 时钟”和“分频计数器使能”来控制，分频系数只能在关闭 SDIO 时钟或者分频计数器溢出时改变，SDIO 时钟只能处于高电平时关断。

三 特性

SD 卡控制器 IP 基于 SD2.0 协议设计，它具有如下特性：

- 支持一线/四线模式
- 可动态配置 SDIO 时钟分频数，支持 1~1024 分频
- 支持常用的初始化命令（CMD0/8/2/3/7/16，ACMD41/6），功能查询与切换命令（CMD6），单块读写命令（CMD17/24），多块读写（CMD18/25），停止传输（CMD12），可方便地进行命令拓展

四 初始化流程

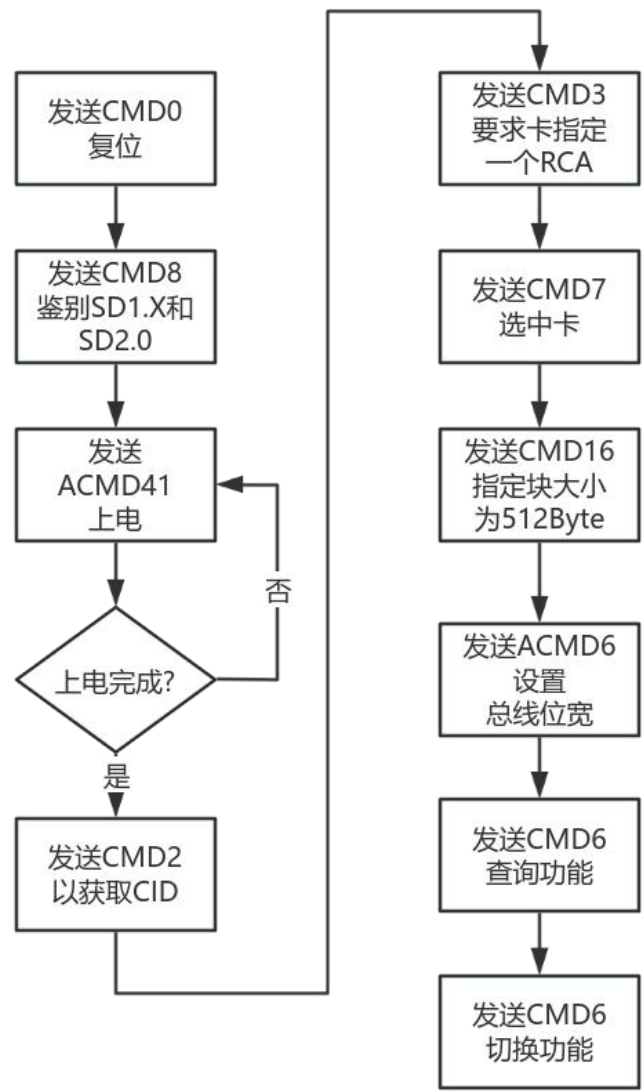


图 4-1 SD 卡初始化模块的初始化流程

图 4-1 展示了 SD 卡初始化模块的初始化流程，该流程对于大多数的 SD2.0 卡都是适用的。如果该初始化流程无法满足应用需求，也可方便地修改 SD 卡初始化模块来使其满足需求。

五 IO 表

表 5-1 SD 卡控制器的 IO 表

名称	方向	位宽	含义
时钟和复位			
clk	input	1	时钟
resetsn	input	1	异步复位，低有效
运行时参数			
en_sdio_clk	input	1	是否启用 sdio 时钟(复位时必须为 0)
div_rate	input	10	分频系数(分频数 = (分频系数 + 1) * 2)
en_wide_sdio	input	1	是否启用四线模式
初始化模块控制和状态			
init_start	input	1	开始初始化请求(指示)
init_idle	output	1	初始化模块空闲(标志)
init_done	output	1	初始化完成(指示)
初始化结果 AXIS			
m_axis_init_res_data	output	24	{保留(5bit), RCA(16bit), 是否大容量卡(1bit), 是否支持 SD2.0(1bit), 是否成功(1bit)}
m_axis_init_res_valid	output	1	---
用户提供的命令 AXIS			
s_axis_cmd_data	input	40	{ 保留 (2bit), 命令号 (6bit), 参数 (32bit)}
s_axis_cmd_user	input	8	本次读写的块个数-1, 仅当命令类型为多块读/写时有效, 其他命令忽略该项
s_axis_cmd_valid	input	1	---
s_axis_cmd_ready	output	1	---
输出给用户的响应 AXIS			
m_axis_resp_data	output	120	对于普通响应(48bit): {命令号(6bit), 参数(32bit)} 对于长响应(136bit)响应: {参数(120bit)}
m_axis_resp_user	output	3	{响应超时(1bit), CRC 错误(1bit), 是否长响应(1bit)}
m_axis_resp_valid	output	1	---
m_axis_resp_ready	input	1	---
读数据 AXIS			
m_axis_rd_data	output	32	128 次传输为 1 块(512Byte = 4Byte * 128)

m_axis_rd_last	output	1	指示当前块的最后 1 组数据
m_axis_rd_valid	output	1	---
m_axis_rd_ready	input	1	---
读数据返回结果 AXIS			
m_axis_rd_sts_data	output	8	{保留(3bit), 读超时(1bit), 校验结果(4bit)}
m_axis_rd_sts_valid	output	1	---
写数据 AXIS			
s_axis_wt_data	input	32	128 次传输为 1 块(512Byte = 4Byte * 128)
s_axis_wt_valid	input	1	---
s_axis_wt_ready	output	1	---
写数据状态返回 AXIS			
m_axis_wt_sts_data	output	8	{保留(5bit), 状态信息(3bit)}
m_axis_wt_sts_valid	output	1	---
SDIO 控制器状态			
sdio_ctrler_idle	output	1	空闲(标志)
sdio_ctrler_start	output	1	开始处理(指示)
sdio_ctrler_done	output	1	处理完成(指示)
sdio_ctrler_rw_type_done	output	2	所完成命令的读写类型 2'b00->非读写 2'b01->读 2'b10->写
SDIO 接口			
sdio_clk	output	1	
sdio_cmd_t	output	1	三态门方向, 0 表示输出, 1 表示输入
sdio_cmd_o	output	1	
sdio_cmd_i	input	1	
sdio_d0_t	output	1	三态门方向, 0 表示输出, 1 表示输入
sdio_d0_o	output	1	
sdio_d0_i	input	1	
sdio_d1_t	output	1	三态门方向, 0 表示输出, 1 表示输入
sdio_d1_o	output	1	
sdio_d1_i	input	1	
sdio_d2_t	output	1	三态门方向, 0 表示输出, 1 表示输入
sdio_d2_o	output	1	
sdio_d2_i	input	1	
sdio_d3_t	output	1	三态门方向, 0 表示输出, 1 表示输入
sdio_d3_o	output	1	
sdio_d3_i	input	1	

六 IP 配置参数表

表 6-1 SD 卡控制器的 IP 配置参数表

参数名	含义	默认值	取值范围
init_acmd41_try_n	初始化时发送 ACMD41 命令的尝试次数	20	[1, 32]
resp_timeout	响应超时周期数	64	[1, +∞]
resp_with_busy_timeout	响应后 busy 超时周期数	64	[1, +∞]
read_timeout	读超时周期数 设置为-1时表示不设超时	-1	-1 或[1, +∞]
en_resp_rd_crc	是否使能响应和读数据 CRC	"false"	"true"或"false"
en_sdio_clken	是否使用 sdio 时钟使能	"false"	"true"或"false"
en_resp	是否使能响应 AXIS	"false"	"true"或"false"
simulation_delay	仿真延时	1.0f	[0.1f, 100.0f]

七 使用说明

7.1 SD 卡控制器应用构架

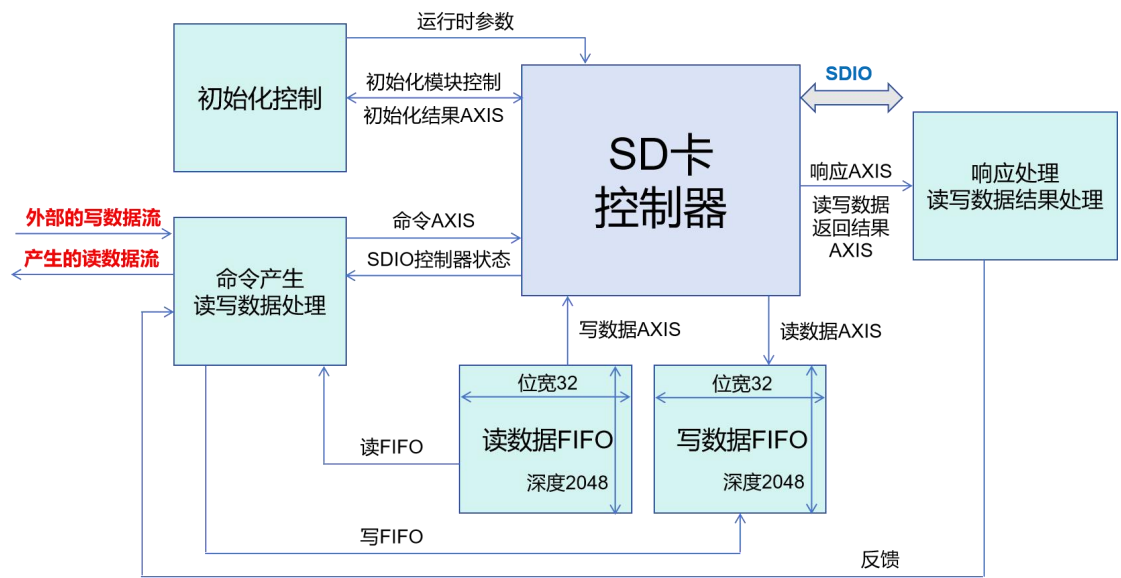


图 7-1 SD 卡控制器 IP 的典型应用构架

对 SD 卡控制器 IP 的一种典型的应用构架如图 7-1 所示。

在初始化控制中，提供运行时参数（是否启用 **sdio** 时钟、分频系数、是否启用四线模式），产生初始化开始信号，监测初始化完成信号和初始化结果。

在命令产生和读写数据处理中，根据应用需求产生命令序列，接收外部的写数据流并存入写数据 FIFO，从读数据 FIFO 取出数据并产生读数据流，监测 SDIO 控制器的状态和响应与读写数据处理结果的情况来调整命令的产生流程。

在响应和读写数据结果处理中，监测响应和读写数据返回结果，给予相关的反馈给命令产生和读写数据处理，以影响命令的产生流程。

需要注意的是，本 IP 在 **sdio_sck_generator.v** 中（第 72 行）使用了 **oddr**，**oddr** 可能与器件类型有关，必要时请根据设计要求进行替换。

7.2 初始化控制

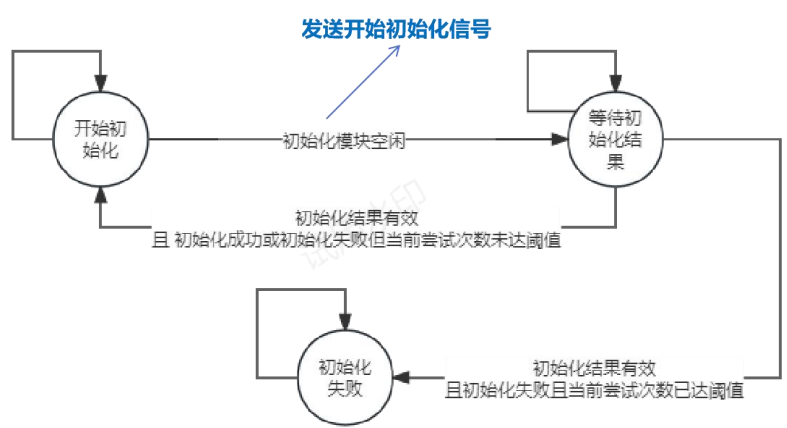


图 7-2 初始化控制状态图

初始化控制可按照图 7-2 所示的状态图进行。

7.3 命令产生和读写数据处理

对于**非读写命令**，当前命令在命令 AXIS 上传输完成（握手成功）后，可以立即产生下一条非读写命令，无需等待 SDIO 控制器将当前命令处理完成。

对于**读数据命令**，建议等待 SDIO 控制空闲并将读数据 FIFO 读空后（判断其空标志有效）再产生一条读数据命令。实际上，从读数据 FIFO 取数据这一操作可以在 SDIO 控制器处理当前这条读数据命令的同时进行，若如此做那么当 SDIO 控制空闲时（处理完当前这条读数据命令时）读数据 FIFO 自然地就已被读空，此时可以立即产生下一条读数据命令。特别地，对多块读命令来说，指定的读取块数最好不超过读数据 FIFO 深度/128，比如，当读数据 FIFO 深度是 2048 时，多块读命令中指定的读取块数应 ≤ 16 。

对于**写数据命令**，建议在产生这条写数据命令之前，就将这条写数据命令所需要的数据全部存入写数据 FIFO 中。实际上，向写数据 FIFO 存数据这一操作可以在 SDIO 控制器处理当前命令的同时进行，若如此做那么当 SDIO 控制空闲时（处理完当前命令时）自然地就已经把下一次要写的数据全部存入写数据 FIFO，此时可以立即产生下一条写数据命令。对多块写命令来说，指定的写入块数应与写数据 FIFO 中现有的块数匹配。

多块读写命令后应当发送一条“停止传输”命令。

八 性能和资源消耗

测试器件型号为 xilinx 的 xc7z020clg400-2，采用默认参数进行综合，结果如表 8-1 所示。

表 8-1 SD 卡控制器的性能和资源消耗

最高时钟频率	200MHz
资源消耗	LUT: 382 FF: 580