



杭州万高科技股份有限公司

V9160

数据手册



V9160 是一款三相计量芯片，支持多种模式的全波和基波能量计量，并支持监测多种电网事件。同时，采样数据可通过 DMA 以 SPI 协议传输出去。

特点

- 电源：3.3V 电源供电，电压输入范围 3.0~3.6V
- 基准电压：1.2V（典型温度系数 10 ppm/°C）
- 功耗：
常温正常工作时芯片典型功耗：
 - 8.5 mA（系统时钟为 26.2144 MHz）
- 计量特点：
 - 6 路独立的过采样 Σ/Δ ADC：3 路电压，3 路电流
 - 支持电压/电流通道的任意映射，可通过配置寄存器调整
 - 计量精度：
满足 IEC 62053-21:2020/ IEC 62053-22:2020 和 IEC 62053-23:2020 的要求
10000:1 动态范围内，全波/基波有功能量计量误差小于 0.1%
10000:1 动态范围内，全波/基波无功能量计量误差小于 0.1%
2000:1 动态范围内，全波/基波电压/电流有效值误差小于 0.2%
 - 测量数据：
全波/基波的电流/电压有效值瞬时值/平均值
全波/基波有功/无功分相/合相功率瞬时值/平均值
全波视在功率瞬时值/平均值
三相线电压值
三相电流矢量和值
频率和相位
 - 支持软件校表
 - 支持小信号加速校表
- 支持过流、过压、欠流、欠压、电压骤升、电压骤降检测
- 支持采样数据 DMA 发送，最大支持 512 点/周波
- 电流采样：支持 CT 和罗氏线圈
- 支持 UART 接口
- 工作温度：-40 ~ +105°C
- 储存温度：-55 ~ +150°C
- 封装：SOP16

目录

特点.....	2
目录.....	3
表目录	5
图目录	6
历史版本	7
1 引脚排布.....	8
2 管脚描述.....	9
3 性能参数.....	10
4 电源系统.....	12
4.1 掉电监测电路	12
5 复位.....	13
5.1 RX 复位	13
5.2 软件复位	13
6 通用异步收发器（UART）	14
6.1 概述	14
6.2 通信协议	14
6.3 读操作	15
6.4 写操作	17
6.5 块读操作	18
7 测量数据处理单元.....	21
7.1 概述	21
7.2 特点	21
7.3 校表	21
8 采样数据主动上传.....	24
8.1 概述	24

8.2	时序和格式.....	24
9	电能质量处理单元.....	26
9.1	概述.....	26
9.2	特征.....	26
9.3	电压骤升骤降.....	26
9.4	过压欠压和过流欠流.....	26
9.5	过零点检测.....	27
10	信号输出口.....	29
10.1	概述.....	29
10.2	功能描述.....	29
11	罗氏线圈处理	32
12	封装尺寸图.....	33

表目录

表 1.	历史版本	7
表 2.	管脚描述	9
表 3.	模拟性能参数	10
表 4.	计量性能参数	10
表 5.	极限参数	10
表 6.	功耗	11
表 7.	UART 通讯错误	14
表 8.	UART 接口时序参数说明	15
表 9.	读操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	16
表 10.	读操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	16
表 11.	写操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	17
表 12.	写操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	18
表 13.	块读数据顺序	18
表 14.	块读操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	19
表 15.	块读操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）	19
表 16.	角差校正说明	22
表 17.	采样点数和传输速率关系	24
表 18.	主动采样数据上传数据格式	24

图目录

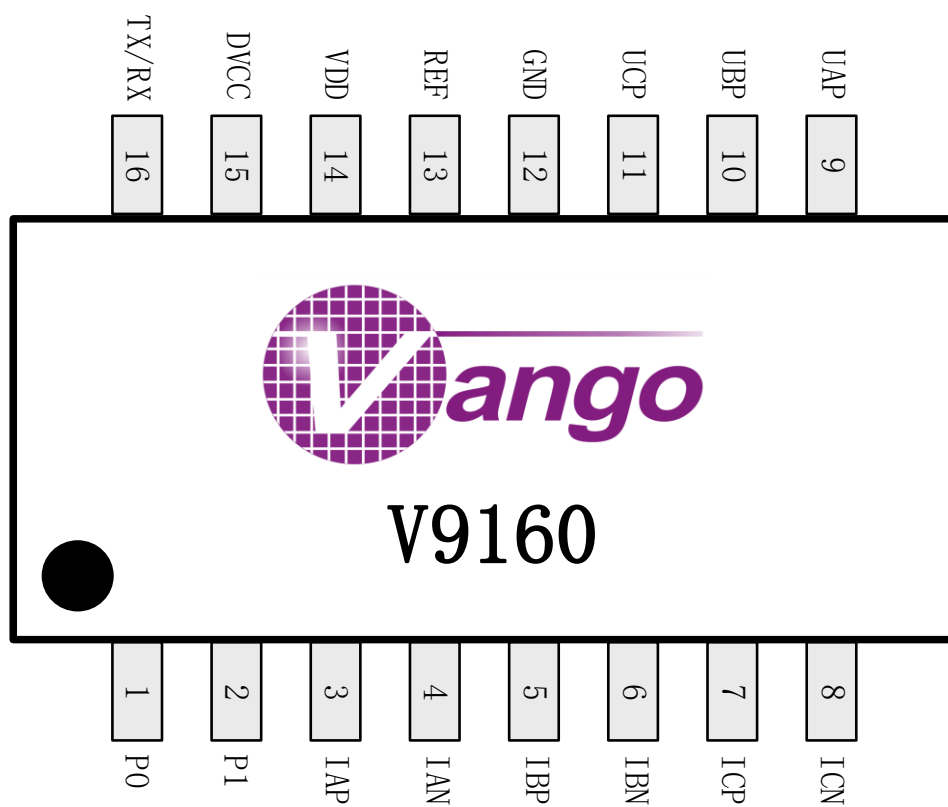
图 1.	掉电监测	12
图 2.	UART 通讯时 RX 复位时序图.....	13
图 3.	11-Bit 字节数据格式 (LSB 到 MSB)	14
图 4.	读/写操作时外部 MCU 对计量芯片发送的命令帧 (8 个字节)	14
图 5.	计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序	15
图 6.	读操作通讯协议	15
图 7.	写操作通讯协议	17
图 8.	块读操作通讯协议	19
图 9.	DMA SPI 传输时序	24
图 10.	电信号检测示意图	26
图 11.	电压/电流过零点输出图.....	27
图 12.	信号输出口功能框图.....	29
图 13.	V9160 封装尺寸图	33

历史版本

表1. 历史版本

日期	版本	表述
2024.10.22	V1.0	初始版本;
2025.01.21	V1.1	删除 POR 上电复位功能;
2025.04.09	V1.2	修改 RCH 性能参数值;

1 引脚排布



2 管脚描述

表2. 管脚描述

引脚编号	Pin 脚名称	输入/输出	正常功能
1	P0	O	可配置输出
2	P1	O	可配置输出
3	IAP	I	电流 A 通道 P 端输入
4	IAN	I	电流 A 通道 N 端输入
5	IBP	I	电流 B 通道 P 端输入
6	IBN	I	电流 B 通道 N 端输入
7	ICP	I	电流 C 通道 P 端输入
8	ICN	I	电流 C 通道 N 端输入
9	UAP	I	电压 A 通道 P 端输入
10	UBP	I	电压 B 通道 P 端输入
11	UCP	I	电压 C 通道 P 端输入
12	GND	P	地
13	REF	O	参考电压
14	VDD	P	主电源
15	DVCC	O	数字电源输出
16	TX/RX	I/O	UART 通信

3 性能参数

表3. 模拟性能参数

参数	最小	典型	最大	单位	说明
模拟输入信号					
单端输入信号	电压通道	-200	200	mV（峰值）	
	电流通道	-400	+400		
信号带宽（-3dB）		2		kHz	
片上基准电压					
温度系数		10		ppm/°C	
输出电压	1.1	1.2	1.3	V	
VDD 上电速率	3.3V/s		1V/ms		
低电压检测门限（PWRDN）	2.7	2.8	2.9	V	
回差		30		mV	
时钟频率					
RCH		6.5		MHz	

表4. 计量性能参数

参数	典型	单位	说明		
全波有功能量计量误差	0.1	%	动态范围 10000:1 @ 25°C		
全波有功能量计量带宽	2	kHz			
全波无功能量计量误差	0.1	%	动态范围 10000:1 @ 25°C		
全波无功能量计量带宽	2	kHz			
基波有功能量计量误差	0.1	%	动态范围 10000:1 @ 25°C		
基波有功能量计量带宽	65	Hz			
基波无功能量计量误差	0.1	%	动态范围 10000:1 @ 25°C		
基波无功能量计量带宽	65	Hz			
全波视在能量计量误差	0.2	%	动态范围 2000:1 @ 25°C		
基波视在能量计量误差	0.2	%	动态范围 2000:1 @ 25°C		
电压有效值误差	0.2	%	动态范围 2000:1 @ 25°C		
电压有效值带宽	2	kHz			
电流有效值误差	0.2	%	动态范围 2000:1 @ 25°C		
电流有效值带宽	2	kHz			
数字 IO					
驱动能力		4	mA		
输出高电平, V _{OH}	2.4		V		
输出低电平 V _{OL}		0.4	V		
输入高电平, V _{INH}	2.0		3.6	V	
输入低电平, V _{INL}	-0.3		0.8	V	
电源输入					
AVDD	3.0	3.3	3.6	V	
数字电源输出（DVCC）					
电压		1.2		V	

表5. 极限参数

参数	最小	典型	最大	单位	说明
模拟电源电压 AVDD	-0.3		3.63	V	相对于地

电流采样通道输入电压	-0.4		AVDD+0.3	V	相对于地
电压采样通道输入电压	-0.2		AVDD+0.3	V	相对于地
工作温度	-40		+105	°C	
存储温度	-55		+150	°C	

表6. 功耗

工作模式/电路模块	功耗	单位	说明
正常工作模式	8.5	mA	系统时钟频率为 26.2144MHz，ADC 时钟频率为 6.5536MHz，开启 A/B/C 三相电压/电流通道 ADC 时的芯片消耗电流数据。

4 电源系统

V9160 电源系统有以下几个特点：

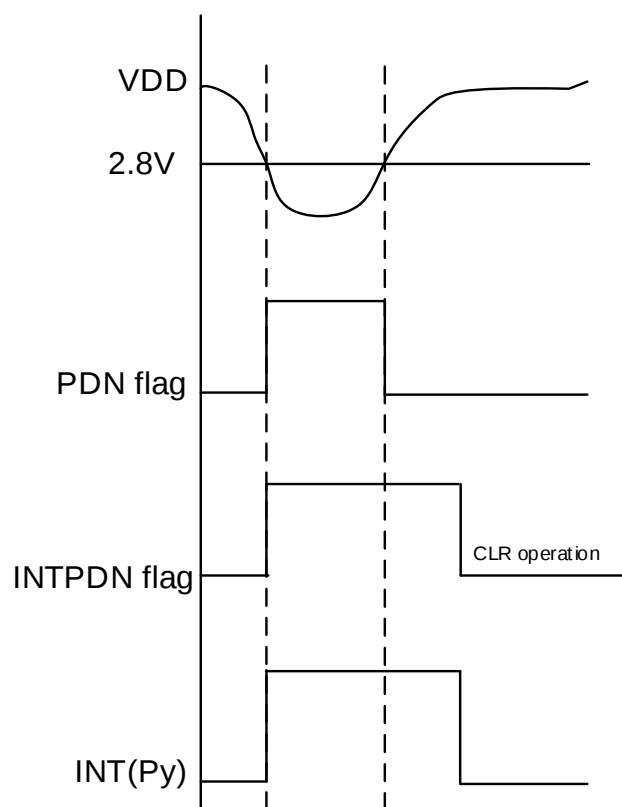
- 3.3V 电源供电，电压输入范围：2.8~3.6V；
- 支持掉电监测；

4.1 掉电监测电路

V9160 内置掉电监测电路，可以实时监测引脚 VDD 的输入信号。当 VDD 引脚上的电平低于 2.8V 时，产生掉电中断。此时计量精度无法保证，仍可正常通讯。

掉电监测电路始终工作。

图1. 掉电监测



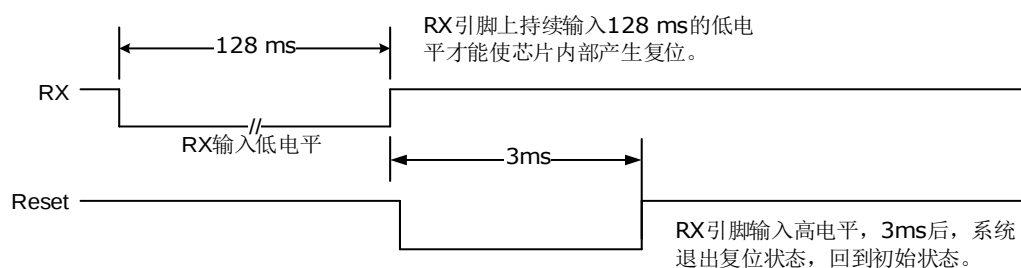
5 复位

5.1 RX 复位

当“RX”引脚持续输入 128 ms 的低电平时，芯片内部会产生复位。之后，“RX”引脚输入高电平大于 3ms 完成芯片复位。

注意：芯片上电后需做一次 RX 复位操作。

图2. UART 通讯时 RX 复位时序图



5.2 软件复位

运行软复位函数可以使芯片内部产生复位，1ms 后完成复位。

系统通信正常才可执行软件复位函数。

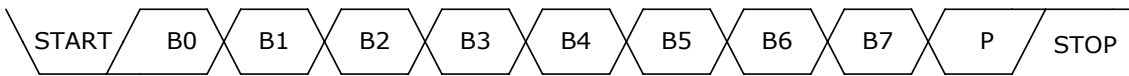
6 通用异步收发器（UART）

6.1 概述

V9160 支持 UART 通信。

V9160 UART 是一个带奇校验的标准 8 位 UART。UART 采用低字节先发，低位先发。下图是一个 UART 字节的标准格式。

图3. 11-Bit 字节数据格式（LSB 到 MSB）



UART 协议是一个半双工协议，MCU 发送命令结束之后 1ms（与系统时钟的准确度有关），V9160 才会上传数据。

UART 支持波特率自适应，推荐使用 1200bps~19200bps 的波特率。V9160 通过接收到的第一个帧头来自动适应通信波特率。该波特率也会通过接下来的通信进行微调。如果通信波特率变动较大，则需要重新进行波特率自适应。

V9160 支持连续写的通信命令，这个模式可节省参数配置时间。

在下面条件下，V9160 的 UART 接收会被停止。

表7. UART 通讯错误

编号	条件	UART_ERR 置 1
1	UART 接收的帧头错误。	否
2	UART 接收超时，连续两个字节的時間间隔大于 20ms（与系统时钟的准确度有关）。	是
3	UART 接收的奇校验位错误。	是
4	UART 接收的校验和字节错误。	是

6.2 通信协议

外部 MCU 对 V9160 进行读/写操作均需要发送一个由 8 个字节组成的命令帧（结构如下图所示）。

图4. 读/写操作时外部 MCU 对计量芯片发送的命令帧（8 个字节）

帧头	控制字节	地址字节	数据字节0	数据字节1	数据字节2	数据字节3	校验字节
----	------	------	-------	-------	-------	-------	------

进行读/写操作时，在收到外部 MCU 发送的命令帧后，V9160 会针对不同的操作向外部 MCU 发送

不同结构的应答帧。

下图是 V9160 的 UART 接口（RX 和 TX）接收与发送一个字节帧的时序。

图5. 计量芯片的 UART 接口接收与发送一个字节帧的时序

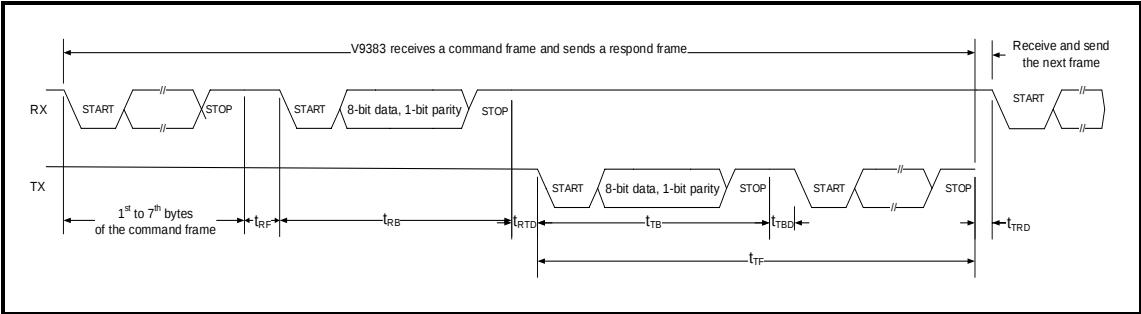


表8. UART 接口时序参数说明

时序参数	说明
t _{RB}	RX 引脚接收完一个字节实际所需的时间。 $T_{RB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ 其中，baudrate 为 UART 接口实际的波特率。
t _{RF}	t _{RF} = 20ms 如果 RX 引脚接收一个命令帧，该命令帧中的字节间，存在大于等于 20ms 的时间间隔，则认为发生字节超时。发生超时后，UART 接口进入 IDLE 模式，等待下一个命令帧。
t _{RTD}	RX 引脚完成一个命令帧的接收与 TX 引脚开始发送应答帧之间的延时。 $1\text{ms} \leq t_{RTD} \leq 20\text{ms}$ 注意：广播写操作时，不发送应答帧。外部 MCU 对计量芯片进行连续两次广播写操作之间，建议至少等待 1ms。
t _{TF}	TX 引脚发送一个应答帧实际所需的时间。进行读操作或写操作时，t _{TF} 由读操作与写操作的应答帧的结构决定。
t _{TB}	计量芯片的 TX 引脚发送完一个字节实际所需的时间。 $T_{TB} = \frac{11}{\text{baudrate}}$ 其中，baudrate 为 UART 接口实际的波特率。
t _{TBD}	计量芯片的 TX 引脚发送的一个应答帧里连续两个字节之间的延时。 $0\text{ms} \leq t_{TBD} \leq 20\text{ms}$
t _{TRD}	计量芯片的 TX 引脚完成一个应答帧的发送与 RX 引脚开始接收下一个命令帧之间的延时。 建议大于 1ms。

6.3 读操作

- 支持对 1~16 个地址连续的寄存器进行读操作。
- V9160 会应答。

图6. 读操作通讯协议



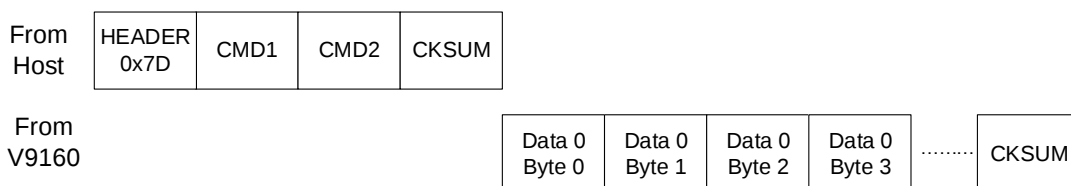


表9. 读操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	HEADER	0	1	1	1	1	1	0	1
2	CMD1	读操作长度选择（N） 0: 读 1 个 32 Bits 数据。 1: 读 2 个 32 Bits 数据。 ... 15: 读 16 个 32 Bits 数据。				0	0	0	1
3	CMD2	读操作起始地址（D ₀ ）							
4	CKSUM	校验和。计算方法：将 CMD1 和 CMD2 按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： $CKSUM = 0x33 + \sim(CMD1 + CMD2)$							

表10. 读操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	Data 0 Byte 0	从寄存器（地址 D ₀ ）读出的目标数据的 Bit[7:0]							
2	Data 0 Byte 1	从寄存器（地址 D ₀ ）读出的目标数据的 Bit[15:8]							
3	Data 0 Byte 2	从寄存器（地址 D ₀ ）读出的目标数据的 Bit[23:16]							
4	Data 0 Byte 3	从寄存器（地址 D ₀ ）读出的目标数据的 Bit[31:24]							
...	...	...							
4xN+1	Data N Byte 0	从寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）读出的目标数据的 Bit[7:0]							
4xN+2	Data N Byte 1	从寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）读出的目标数据的 Bit[15:8]							
4xN+3	Data N Byte 2	从寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）读出的目标数据的 Bit[23:16]							
4xN+4	Data N Byte 3	从寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）读出的目标数据的 Bit[31:24]							
4xN+5	CKSUM	校验和。计算方法：将上述 4×(N+1)个目标数据字节（Data 0~N Byte 0~3，来自 V9160）与 CMD1 和 CMD2（来自 MCU）按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： CKSUM = 0x33 + ~(CMD1 + CMD2 + Data 0 Byte 0 + Data 0 Byte 1 + Data 0 Byte 2 + Data 0 Byte 3 + + Data N Byte 0 + Data N Byte 1 + Data N Byte 2 + Data N Byte 3)							
读操作长度 N 等于 0 时，V9160 只会向 MCU 发送 5 个字节的应答帧。									

6.4 写操作

- 支持对 1~16 个地址连续的寄存器进行写操作。
- V9160 会应答。

图7. 写操作通讯协议

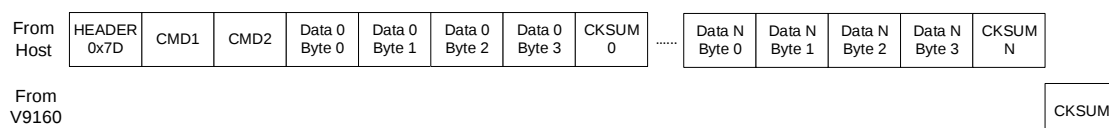


表11. 写操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	HEADER	0	1	1	1	1	1	0	1
2	CMD1	写长度选择（N） 0：写 1 个 32 Bits 数据。 1：写 2 个 32 Bits 数据。 ... 15：写 16 个 32 Bits 数据。				0	0	1	0
3	CMD2	写操作起始地址（D ₀ ）							
4	Data 0 Byte 0	写入寄存器（地址 D ₀ ）的目标数据的 Bit[7:0]							
5	Data 0 Byte 1	写入寄存器（地址 D ₀ ）的目标数据的 Bit[15:8]							
6	Data 0 Byte 2	写入寄存器（地址 D ₀ ）的目标数据的 Bit[23:16]							
7	Data 0 Byte 3	写入寄存器（地址 D ₀ ）的目标数据的 Bit[31:24]							
8	CKSUM 0	校验和 0。计算方法：将上述 4 个目标数据字节（Data 0 Byte 0~3）与 CMD1 和 CMD2 按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： $CKSUM\ 0 = 0x33 + \sim(CMD1 + CMD2 + Data\ 0\ Byte\ 0 + Data\ 0\ Byte\ 1 + Data\ 0\ Byte\ 2 + Data\ 0\ Byte\ 3)$							
...	...	...							
5xN+4	Data N Byte 0	写入寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）的目标数据的 Bit[7:0]							
5xN+5	Data N Byte 1	写入寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）的目标数据的 Bit[15:8]							
5xN+6	Data N Byte 2	写入寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）的目标数据的 Bit[23:16]							
5xN+7	Data N Byte 3	写入寄存器（地址 D _N =D ₀ +N）的目标数据的 Bit[31:24]							
5xN+8	CKSUM N	校验和 N（来自 MCU）。计算方法：将上述 4×(N+1) 个目标数据字节（Data 0~N Byte 0~3）与 CMD1 和 CMD2 按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： $CKSUM\ N = 0x33 + \sim(CMD1 + CMD2 + Data\ 0\ Byte\ 0 + Data\ 0\ Byte\ 1 + Data\ 0\ Byte\ 2 + Data\ 0\ Byte\ 3 + \dots + Data\ N\ Byte\ 0 + Data\ N\ Byte\ 1 + Data\ N\ Byte\ 2 + Data\ N\ Byte\ 3)$							

写操作长度 N 等于 0 时，MCU 只需要向 V9160 发送前 8 个字节的命令帧。

表12. 写操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	CKSUM	校验和（来自 V9160）。用于检验写操作是否成功。 CKSUM 与 CKSUM N（来自 MCU）相等，则本次写操作成功。 CKSUM 与 CKSUM N（来自 MCU）不相等，则本次写操作失败。							

6.5 块读操作

为了方便用户一次性读取所需要的数据，提高通信效率，V9160 提供固定的连续读功能。

特点如下：

- 支持对固定的地址不连续的寄存器进行块读操作。
- 当前相位测量模式为单次相位测量模式时，在 UART 块读结束之后，自动触发一次单次相位测量
- V9160 会应答。
- 块读寄存器的固定返回数据顺序如下表所示

表13. 块读数据顺序

序号	数据项
0	A 相全波平均有功功率值
1	B 相全波平均有功功率值
2	C 相全波平均有功功率值
3	A 相全波平均无功功率值
4	B 相全波平均无功功率值
5	C 相全波平均无功功率值
6	A 相全波平均视在功率值
7	B 相全波平均视在功率值
8	C 相全波平均视在功率值
9	A 相全波平均电压有效值
10	B 相全波平均电压有效值
11	C 相全波平均电压有效值
12	A 相全波平均电流有效值
13	B 相全波平均电流有效值
14	C 相全波平均电流有效值
15	A 相全波平均频率值
16	B 相全波平均频率值
17	C 相全波平均频率值
18	B 相电压相角
19	C 相电压相角
20	A 相电流相角
21	B 相电流相角
22	C 相电流相角
23	芯片状态寄存器 STS1

24	波特率测量值 DAT_BAUDCNT8
----	---------------------

图8. 块读操作通讯协议

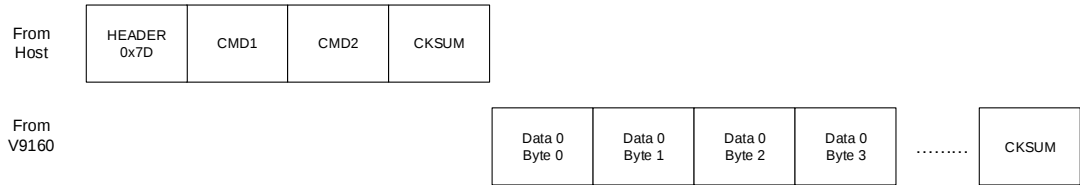


表14. 块读操作 MCU 向 V9160 发送的命令帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	HEADER	0	1	1	1	1	1	0	1
2	CMD1	0	0	0	0	0	0	1	1
3	CMD2	0	0	0	块读操作的起始序号选择（M） 例如：若 M=3，第一个返回的数据为 A 相全波平均无功功率值。 若 M=0，第一个返回的数据为 A 相全波平均有功功率值。				
4	CKSUM	校验和。计算方法：将 CMD1 和 CMD2 按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： CKSUM = 0x33 + ~(CMD1 + CMD2)							

表15. 块读操作 V9160 向 MCU 发送的应答帧结构（仅列出各字节的数据位 B7:B0）

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
1	Data 0 Byte 0	从块读寄存器序号 M 读出的目标数据的 Bit[7:0]							
2	Data 0 Byte 1	从块读寄存器序号 M 读出的目标数据的 Bit[15:8]							
3	Data 0 Byte 2	从块读寄存器序号 M 读出的目标数据的 Bit[23:16]							
4	Data 0 Byte 3	从块读寄存器序号 M 读出的目标数据的 Bit[31:24]							
...	...	...							
4xN+1	Data N Byte 0	从块读寄存器序号(M+N)读出的目标数据的 Bit[7:0]							
4xN+2	Data N Byte 1	从块读寄存器序号(M+N)读出的目标数据的 Bit[15:8]							
4xN+3	Data N Byte 2	从块读寄存器序号(M+N)读出的目标数据的 Bit[23:16]							
4xN+4	Data N Byte 3	从块读寄存器序号(M+N)读出的目标数据的 Bit[31:24]							
4xN+5	CKSUM	校验和。 计算方法：将上述 4×(N+1)个目标数据字节（Data 0~N Byte 0~3，来自 V9160）与 CMD1 和 CMD2（来自 MCU）按照字节累加并对累加和进行取反操作再加 0x33 后得到。公式如下： $CKSUM = 0x33 + \sim(CMD1 + CMD2 + Data\ 0\ Byte\ 0 + Data\ 0\ Byte\ 1 + Data\ 0\ Byte\ 2 + Data\ 0\ Byte\ 3 + + Data\ N\ Byte\ 0 + Data\ N\ Byte\ 1 + Data\ N\ Byte\ 2 + Data\ N\ Byte\ 3)$							

顺序	字节	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
		0 + Data N Byte 1 + Data N Byte 2 + Data N Byte 3)							
读操作序号大于等于 24 时，V9160 只会向 MCU 发送 5 个字节的应答帧。									

7 测量数据处理单元

7.1 概述

测量数据处理单元主要用于计算全波和基波有功功率、全波和基波无功功率、全波和基波视在功率、全波和基波有效值、全波和基波合相功率、线电压，并提供电网事件监测功能。

提供原始波形数据，波形数据可通过 DMA 输出。

7.2 特点

- 支持 3 路电压和 3 路电流同时计量。
- 提供各种测量数据：
 - 6 路电压/电流信号原始波形（22-bit），DMA 模式输出
 - 6 路电压/电流信号直流分量合相和各相全波/基波电压/电流有效值和有功/无功/视在功率
 - 3 路线电压
 - 频率/相位/功率因数
 - 各相之间线电压测量数据
- 全波带宽可选。
- 支持软件校表：
 - 支持波形前校准
 - 支持全波/基波的有功功率和无功功率和基波有功功率比差校正和二次补偿（offset 校正）
- 平均功率值或平均有效值的刷新时间可选
- 提供 10 个周波或 12 个周波的平均有效值用于电压闪变检测。
- 支持电压骤升骤降、过压欠压、过流欠流判断。

7.3 校表

7.3.1 角差校正

角差校正值为：

$$N = \text{Round}(C \times E)$$

其中：

C 为角差校正常数系数；

N 为写入角差校正相关寄存器的值，带符号。用二进制补码表示。

E 为台体显示的误差。

表16. 角差校正说明

MODE	校准精度（度）	校准范围（度）
0x00	0.00274658203125	±1.93084716796875

对于 MODE=0x00，0~63 范围内偏移，精调精度 0.00274658203125°，精调范围 ±0.17303466796875°；对于中调,0-3 范围偏移,中调精度 0.3515625° ,中调范围± 1.0546875° ;对于粗调,0-1 范围偏移,粗调精度 0.703125° 粗调范围±0.703125° 。

IA 角差校正值 = 待校正角度/校准精度

IB 角差校正值 = 待校正角度/校准精度

IA 角差校正值和 IB 角差校正值以补码形式组合后写入角差校正寄存器。

7.3.2 比差校正

$$S = 2^{31} \left(\frac{1}{1+e} - 1 \right) + S1 \left(\frac{1}{1+e} \right)$$

其中：

S：写入有效值/功率比差校正寄存器的值，二进制补码；

S1：原始比差值，即未校正有效值/功率比差校正寄存器显示的原始值，二进制补码；

e：误差，进行功率比差校正时，e 为台体显示的误差值（E）。

7.3.3 功率小信号校正

$$C = -E \times P \times a\%$$

其中：

E：当功率因数为 1.0 时，向校表台体通 a%lb 时台体显示的误差；

P：功率寄存器的值。

7.3.4 频率测量

频率测量是对基波信号进行过零检测和计数。每当发生正向过零事件时，锁存当前计数值为瞬时频率测量值（1 个周波点数），并根据配置决定是否将计数器重置为 1，重新进行计数，若直接重置则为瞬时频率测量值，否则为平均频率测量值。

瞬时频率测量值通过配置寄存器计数器进行累积，可以得到任意要求的周波数的平均频率。



$$f = \text{result_freq} \times (\text{cfg_frq_unit_sel} + 1) / f_clk$$

其中，

f_clk: 系统时钟频率。

result_freq: 输出频率计数结果

cfg_frq_unit_sel: 测量频率平均周期选择

8 采样数据主动上传

8.1 概述

V9160 支持 DMA 模式的数据传输方式，并通过 SPI 协议主机模式向外部 MCU 发送最大 6 路原始采样数据。数据上传速率根据采样点数的不同而不同。在开启采样数据主动上传功能前，需要打开对应通道的采样数据上传开关，每一路通道之间的开关都是独立的。通过 IO 配置主动采样数据上传 IO 口 P0/ P1。

表17. 采样点数和传输速率关系

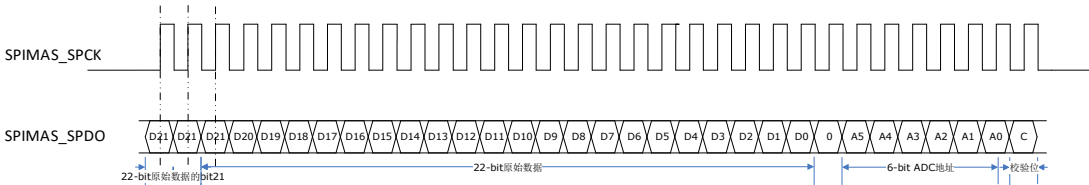
采样点数	传输速率
512 点/周波	主频二分之一分频
256 点/周波	主频四分之一分频
128 点/周波	主频八分之一分频
64 点/周波	主频十六分之一分频

V9160 采样数据上传触发方式支持命令触发和事件触发，事件触发包括以下所有情况 UA/ UB/ UC 骤升骤降事件，UA/ UB/ UC 的过压欠压事件，IA/ IB/ IC 的过流欠流事件。

8.2 时序和格式

V9160 可通过 DMA SPI 接口向外围器件传输信号的原始采样数据。SPI 极性和相位可配置，当极性为 0、相位为 0 的时候传输时序如下图：

图9. DMA SPI 传输时序



传输方式：一次完成 32-Bit 数据的传送，每次传输的数据帧格式如下表所示：

表18. 主动采样数据上传数据格式

Bit	内容
31	同 Bit29 值
30	同 Bit29 值
29:8	各通道 ADC 信号原始采样数据，22-Bit

7	0
6	指示当前采样数据是否来自 UA 通道 0: 否 1: 是
5	指示当前采样数据是否来自 IA 通道 0: 否 1: 是
4	指示当前采样数据是否来自 UB 通道 0: 否 1: 是
3	指示当前采样数据是否来自 IB 通道 0: 否 1: 是
2	指示当前采样数据是否来自 UC 通道 0: 否 1: 是
1	指示当前采样数据是否来自 IC 通道 0: 否 1: 是
0	奇偶校验位，校验范围为前 31 位

9 电能质量处理单元

9.1 概述

电能质量处理单元主要包括电压/电流的过压、过流、欠压、欠流的检测以及电压通道的骤升骤降的检测。

9.2 特征

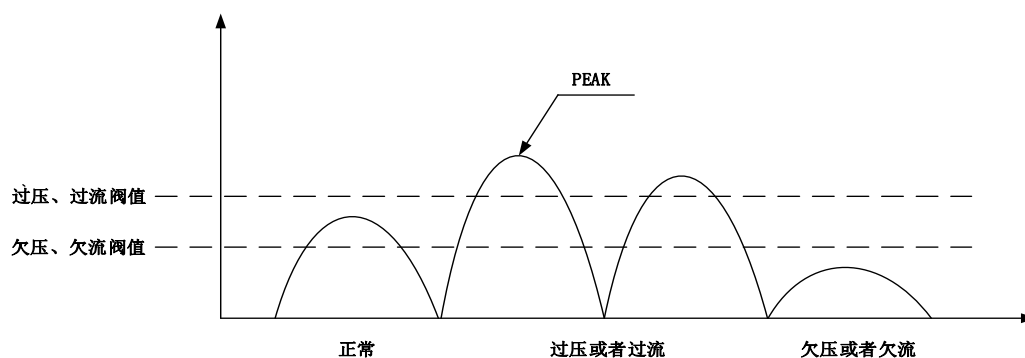
- 骤升/骤降
 - 检测 A、B、C 三相电压瞬时有效值的骤升和骤降
 - 产生电压有效值的骤升和骤降的标志位以及中断，和骤升骤降结束标志位以及中断
 - 记录最大骤升和骤降的时间
 - 最大骤升和骤降时的值记录
- 过压/欠压/过流/欠流
 - 实现瞬时值电流过流和欠流检测以及瞬时电压的过压和欠压检测
 - 实现过压欠压过流欠流的标志位和中断

9.3 电压骤升骤降

V9160 可以通过编程的方式来指示三路电压通道的骤升骤降。

9.4 过压欠压和过流欠流

图10. 电信号检测示意图



超上限阈值采样点数：比如设置值为 4，表示如果半个周波采样点中有大于 4 个点超过阈值，则认为该半周波波形超限。

超上限阈值半周波数：比如设置为 2，表示如果连续有两个半周波都超限，则认为过压或者过流事件发生。

低于下限阈值采样点数：比如设置为 4，如果发现半个周波采样点中小于或等于 4 个点高于下限阈值，则认为该半波低于下限。

低于下限值半波数：比如设置为 2，表示如果连续有两个半周波都低于下限，则认为欠压或者欠流事件发生。

9.5 过零点检测

V9160 支持 3 路电压通道过零点检测和 3 路电流通道过零点检测，可选择过零点方向。当电压/电流通道信号发生过零点事件时，电压过零点标志位/电流过零点标志位会置 1。用户需要写 1 清零。

使能电压/电流过零点中断输出时，通过配置 IO 配置电压/电流过零点中断输出。引脚 Px 的输出电平自动根据电压过零点标志位/电流过零点标志位翻转。

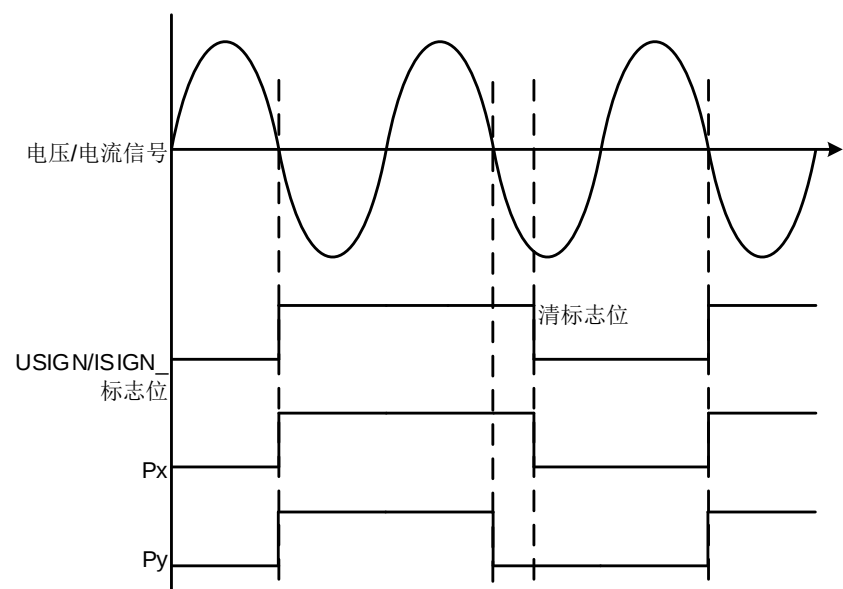
过零点检测精度与采样点数选择有关，如果是一个周波 256 点，则精度为 360/256。

通过配置 IO 配置电压/电流过零点输出方波。引脚 Py 的输出电平自动根据电压/电流过零点状态实时翻转。每发生一次过零点事件，IO 口翻转一次，由于过零方波经过带通滤波器，因此输出和输入之间会有相位迟滞，延迟时间为 8ms 左右（与基波频率有关）。

当进行电压/电流过零点检测时，系统将同时提供电压/电流阈值检测功能，系统将自动对比电压/电流瞬时有效值是否超过阈值，如果未超过阈值，将被判定为无效输入，电压/电流过零点的中断输出和过零点输出都将被屏蔽，直到电压/电流瞬时有效值超过阈值。

下图配置为使能过零点中断输出，过零点检测方式选择为负向过零点时，电压过零点标志位/电流过零点标志位、过零点中断输出以及过零点输出方波波形。

图11. 电压/电流过零点输出图



10 信号输出口

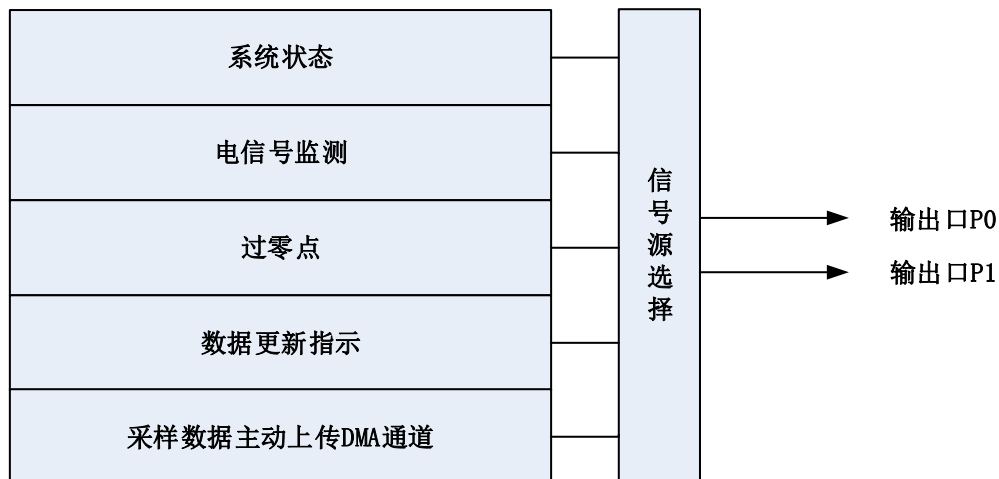
10.1 概述

V9160 最多提供 2 个输出信号（P0/P1）用于映射内部的输出信号源。

10.2 功能描述

2 个信号输出口可以配置为采样数据主动上传 DMA 通道接口、过零点方波以及四大种类中断输出。信号输出口可以设置为输出某个单独信号，也可以设置为输出某几类中断信号。

图12. 信号输出口功能框图



说明：

1. 作为中断事件输出口时，输出口默认为低电平输出，如果事件发生，则输出高电平，直到用户清除事件标志位，输出状态才恢复默认电平。
2. 当作为过零点方波输出时，输出口默认为低电平输出，如果配置为正向过零点，则当信号从负信号过渡到正信号时，IO 口翻转。
3. 当作为 DMA 输出口时，使用 SPI 协议，需要用户选择 SPCK、SPDO 口。
4. IO 输出配置有 8bit，输出的中断类型根据以下表格确认

Bit6~Bit3	Bit2~Bit0	功能
0	0	高阻态
0	1	高阻态
0	2	高阻态
0	3	高阻态
0	4	高阻态
0	5	高阻态
0	6	UA 电压骤降中断

0	7	UA 电压骤升中断
1	0	UB 电压骤降中断
1	1	UB 电压骤升中断
1	2	UC 电压骤降中断
1	3	UC 电压骤升中断
1	4	UA 电压骤降结束中断
1	5	UA 电压骤升结束中断
1	6	UB 电压骤降结束中断
1	7	UB 电压骤升结束中断
2	0	UC 电压骤降结束中断
2	1	UC 电压骤升结束中断
2	2	UA 过压中断
2	3	UA 欠压中断
2	4	UB 过压中断
2	5	UB 欠压中断
2	6	UC 过压中断
2	7	UC 欠压中断
3	0	IA 过流中断
3	1	IA 欠流中断
3	2	IB 过流中断
3	3	IB 欠流中断
3	4	IC 过流中断
3	5	IC 欠流中断
3	7	UART 错误中断
4	0	采样数据主动上传完成中断
4	1	检验和错误中断
4	3	Reference 错误中断
4	4	Bist 错误中断
4	5	UA 过零点中断
4	6	UB 过零点中断
4	7	UC 过零点中断
5	0	IA 过零点中断
5	1	IB 过零点中断
5	2	IC 过零点中断
5	6	采样数据更新中断
5	7	瞬时有效值更新中断
6	0	平均有效值更新中断
6	1	瞬时功率更新中断
6	2	平均功率更新中断
6	3	掉电中断
6	4	高阻态
6	7	相序检测错误中断
7	1	采样数据主动上传 SPI 时钟 SPIMAS_SPCK
7	2	采样数据主动上传 SPI 数据 SPIMAS_SPDO
7	3	UA 断相中断
7	4	UB 断相中断
7	5	UC 断相中断
7	6	1 类中断
7	7	2 类中断
8	0	3 类中断

8	1	4 类中断
8	2	1 类中断和 2 类中断
8	3	1 类中断和 3 类中断
8	4	1 类中断和 4 类中断
8	5	2 类中断和 3 类中断
8	6	2 类中断和 4 类中断
8	7	3 类中断和 4 类中断
9	0	1 类中断和 2 类中断和 3 类中断
9	1	1 类中断和 2 类中断和 4 类中断
9	2	2 类中断和 3 类中断和 4 类中断
9	3	1、2、3、4 类中断
10	1	UA 过零点缺失中断
10	2	UB 过零点缺失中断
10	3	UC 过零点缺失中断
10	4	IA 过零点缺失中断
10	5	IB 过零点缺失中断
10	6	IC 过零点缺失中断
其他	其他	高阻

其中，IO 口在不配置时（即全 0，或其他未定义的配置），输出高阻。

1 类中断：电流过零点中断、电压过零点中断。

2 类中断：采样数据刷新中断、瞬时有效值刷新中断、平均有效值刷新中断、瞬时功率值刷新中断、平均功率值刷新中断、主动采样数据上传完成中断。

3 类中断：电流通道欠流中断、电流通道过流中断、电压通道欠压中断、电压通道过压中断、电压骤降中断、电压骤升中断、电压骤降结束中断、电压骤升结束中断、UA 断相中断、UB 断相中断、UC 断相中断，UA/ UB/ UC/ IA/ IB/ IC 过零点缺失中断。

4 类中断：UART 通信错误中断、参数自检错误中断、掉电中断、Reference 错误中断、RAM 自检错误中断、相序检测错误中断。

11 罗氏线圈处理

当外部采样电路采用罗氏线圈的方式时，需要对输入的电流信号进行积分处理，才能真正还原采样的电流信号，

罗氏线圈的感应电压与被测电流的关系如下：

$$U_{out} = M \frac{di}{dt}$$

M 表示电流对时间的微分与被测电压成正比关系，通过调整 M 的取值（线圈匝数，种类等），Uout 控制在合理的范围内(ADC 的 1%-100%量程)，可以得到较为准确的结果，将输出的电压再次进行积分就可以得到待测量的电流，同时罗氏线圈输出的电压应与电压通道呈 90° 相位关系(罗氏输出的线圈电压滞后电压通道 90°)。

12 封装尺寸图

图13. V9160 封装尺寸图

