



低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

概述

MAXQ3180是专用的电气参数测量前端，它采集并计算多相负载的多相电压、电流、功率、能量等多种计量参数和功率品质参数。外部主机通过片内串行外设接口(SPI™)总线读出计算结果。外部主机还通过该总线来配置MAXQ3180的工作，监测工作状态。

MAXQ3180采用集成ADC进行电压和电流测量，最多可测量7个外部差分信号对，第8个差分信号对用于测量管芯温度。内部放大器自动调整电流通道增益，以补偿小电流通道信号电平。

应用

3相多功能电表

用于电负载测量的远程终端单元(RTU)

特性

- ◆ 支持IEC 60687、IEC 61036和IEC 61268标准
- ◆ 兼容于3相/3线、3相/4线及其它3相配置
- ◆ 计算有功/无功/视在电能、RMS电压、RMS电流、电压相角和电网频率
- ◆ +25°C时，在1000:1动态范围内，有功电能误差小于0.1%
- ◆ +25°C时，在1000:1动态范围内，无功电能误差小于0.2%
- ◆ RMS电压和RMS电流精度优于0.5%
- ◆ 两路脉冲输出：一路为有功功率，一路为无功功率或视在功率(可选)
- ◆ 可编程脉冲宽度
- ◆ 可编程启动电流门限
- ◆ 可编程计量常数
- ◆ 最高可测量21次谐波
- ◆ 零相电流测量
- ◆ 没有电压信号时，可计算安时数
- ◆ 用户可编程门限的线电压欠压、过压检测

- ◆ 片内数字积分电路能够直接与di/dt输出的电流传感器连接
- ◆ 内置数字温度传感器
- ◆ 高精度内部电压基准：2.048V (30ppm/°C，典型值)，还支持外部电压基准输入
- ◆ 测量每相及三相有功电能(kWh)，正向和反向
- ◆ 测量每相及三相有功功率(kW)
- ◆ 测量每相及三相无功电能(kVarh)，1至4象限
- ◆ 测量每相及三相无功功率(kVar)
- ◆ 测量每相及三相视在电能(kVAh)
- ◆ 测量每相及三相视在功率(kVA)
- ◆ 电网频率(Hz)
- ◆ 功率因数
- ◆ 过流和过压检测
- ◆ 电压跌落检测
- ◆ 测量RMS电流和RMS电压
- ◆ 测量瞬时电流、电压和功率(每周波)
- ◆ 相序错误检测
- ◆ 相电压丢失检测
- ◆ 支持软件计量校准
- ◆ 多达3点的多点校准，补偿传感器的非线性
- ◆ 电源失效检测
- ◆ 双向复位输入/输出
- ◆ SPI兼容串行接口，提供中断请求(IRQ)输出
- ◆ 单电源3.3V供电，低功耗(典型值10mA)
- ◆ 28引脚TSSOP封装

订购信息

PART	TEMP RANGE	PIN-PACKAGE
MAXQ3180-RAN+	-40°C to +85°C	28 TSSOP

+表示无铅/符合RoHS标准的封装。

MAXQ是Maxim Integrated Products, Inc.的注册商标。
SPI是Motorola, Inc.的商标。

引脚配置和典型应用电路在数据资料的最后给出。

注意：该器件的某些版本与发布的规格有所差别，需参考勘误表。通过不同的销售途径有可能同时获得不同版本的器件。关于器件勘误表的信息，请访问：www.maxim-ic.com.cn/errata。



Maxim Integrated Products 1

本文是Maxim正式英文资料的译文，Maxim不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。请注意译文中可能存在文字组织或翻译错误，如需进一步讨论请与Maxim联系。参考零件配单：TEL: 15013652265 QQ: 38537442
索取免费样品和最新版的数据资料，请访问Maxim的主页：www.maxim-ic.com.cn。

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Voltage Range on DVDD Relative to DGND-0.3V to +4.0V
 Voltage Range on AVDD Relative to AGND-0.3V to +4.0V
 Voltage Range on AGND Relative to DGND0.3V to +0.3V
 Voltage Range on AVDD Relative to DVDD-0.3V to +0.3V
 Voltage Range on Any Pin Relative to
 GND or AGND-0.3V to +4.0V

Operating Temperature Range-40°C to +85°C
 Junction Temperature+150°C
 Storage Temperature Range-65°C to +150°C
 Lead Soldering TemperatureRefer to the IPC/
 JEDEC J-STD-020 Specification.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

METERING SPECIFICATIONS

(AVDD = DVDD = VRST to 3.6V, Current Channel Dynamic Range 1000:1 at TA = +25°C, unless otherwise noted.) (Note 1)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Energy Error	DR 1000:1		0.1		%
Reactive Energy Error	DR 1000:1		0.2		%
Apparent Energy Error	DR 1000:1		0.5		%
RMS Voltage Error	DR 20:1		0.5		%
RMS Current Error	DR 500:1		0.5		%
Line Frequency Error			0.5		%
Power Factor Error			0.5		%
Active Energy Error with Harmonic Components	(Note 2)		0.1		%

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

(AVDD = DVDD = VRST to 3.6V, TA = -40°C to +85°C, unless otherwise noted.) (Note 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER-SUPPLY SPECIFICATIONS						
Digital Supply Voltage	DVDD		VRST		3.6	V
Power-Fail Interrupt Trip Point	V _{PFW}	Active mode, EPWRF = 1	2.84		3.13	V
Power-Fail Reset Trip Point	VRST	Active mode	2.70		2.99	V
Analog Supply Voltage	AVDD		VRST		3.6	V
Analog Supply Current	I _{AVDD}	f _{CLK} = 8MHz		1.1	1.8	mA
Digital Supply Current	I _{DVDD}	f _{CLK} = 8MHz		9.0	14	mA
Low-Power Measurement Mode Current	I _{LPMM}	LOWPM = 1 (Note 1)		3		mA

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(AVDD = DVDD = VRST to 3.6V, TA = -40°C to +85°C, unless otherwise noted.) (Note 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
DIGITAL I/O SPECIFICATIONS						
Input High Voltage	V _{IH}		0.7 x V _{DD}			V
Input Low Voltage	V _{IL}		0.3 x V _{DD}			V
Input Hysteresis	V _{IHYS}	V _{DD} = 3.3V	550			mV
Input Leakage	I _L	V _{IN} = GND or V _{DD} , pullup off	±0.01			±1 µA
Input Low Current	I _{IL}	V _{IN} = 0.4V, weak pullup on	-40			µA
RESET Pullup Resistance	R _{RESET}		27	32	36	kΩ
Output High Voltage (Except RESET)	V _{OH}	I _{OH} = -4mA	V _{DD} - 0.4			V
		I _{OH} = -6mA	V _{DD} - 0.5			
Output Low Voltage	V _{OL}	I _{OL} = 4mA	0.4			V
		I _{OL} = 6mA	0.5			
SYSTEM CLOCK SOURCES						
External Clock Input Frequency			0		8.12	MHz
External Clock Input Duty Cycle			45		55	%
External HF Crystal Frequency		Fundamental mode	1.00		8.12	MHz
XTAL1, XTAL2 Load Capacitance			30			pF
Internal RC Oscillator Frequency			7.4	8.0	8.6	MHz
Internal RC Oscillator Drift			250			ppm/°C
Internal RC Oscillator Current			50			120 µA
ANALOG-TO-DIGITAL CONVERTER						
Input Voltage Range			0		2	V
Offset Error			± 2			mV
Offset Error Drift			±8			µV/°C
Gain Error			0.025			%
Total Harmonic Distortion	THD	Input sine wave f = 1kHz	80			dB
Input Capacitance Differential		(Note 1)	32			pF
Input Bandwidth (-3dB)		(Note 1)	7			kHz
INTERNAL VOLTAGE REFERENCE						
Temperature Coefficient		(Note 1)	30			ppm/°C
Output Voltage			2.048			V
INTERNAL TEMPERATURE SENSOR						
Temperature Error		(Note 1)	-4		+4	°C

低功耗、多功能、多相AFE

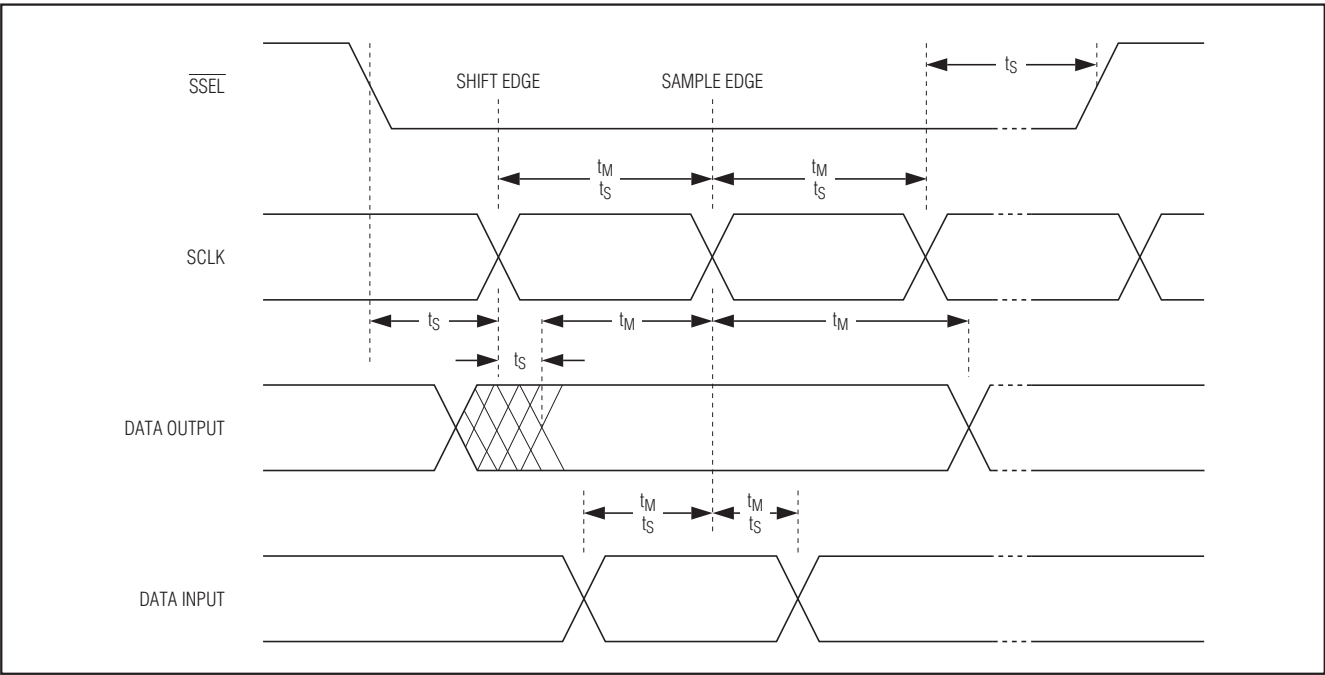
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

(AVDD = DVDD = VRST to 3.6V, TA = -40°C to +85°C, unless otherwise noted.) (Note 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
SPI SLAVE-MODE INTERFACE TIMING						
SCLK Input Pulse-Width High	tSCH		4 x tCLCL			ns
SCLK Input Pulse-Width Low	tSCL		4 x tCLCL			ns
SSEL Low to First SCLK Edge (Slave Enable)	tSE		4 x tCLCL			ns
Last SCLK Edge to SSEL High (Slave Disable)	tSD		2 x tCLCL			ns
MOSI Valid to SCLK Sample Edge (MOSI Setup)	tSIS		3 x tCLCL			ns
SCLK Sample Edge to MOSI Change (MOSI Hold)	tSIH		tCLCL			ns
SCLK Shift Edge to MISO Valid (MISO Hold)	tSOV				3 x tCLCL	ns

- Note 1:** Specifications guaranteed by design but not production tested.
Note 2: Conditions abide to Section 5.6.2.1 per IEC 61036.
Note 3: Specifications to -40°C are guaranteed by design and are not production tested.

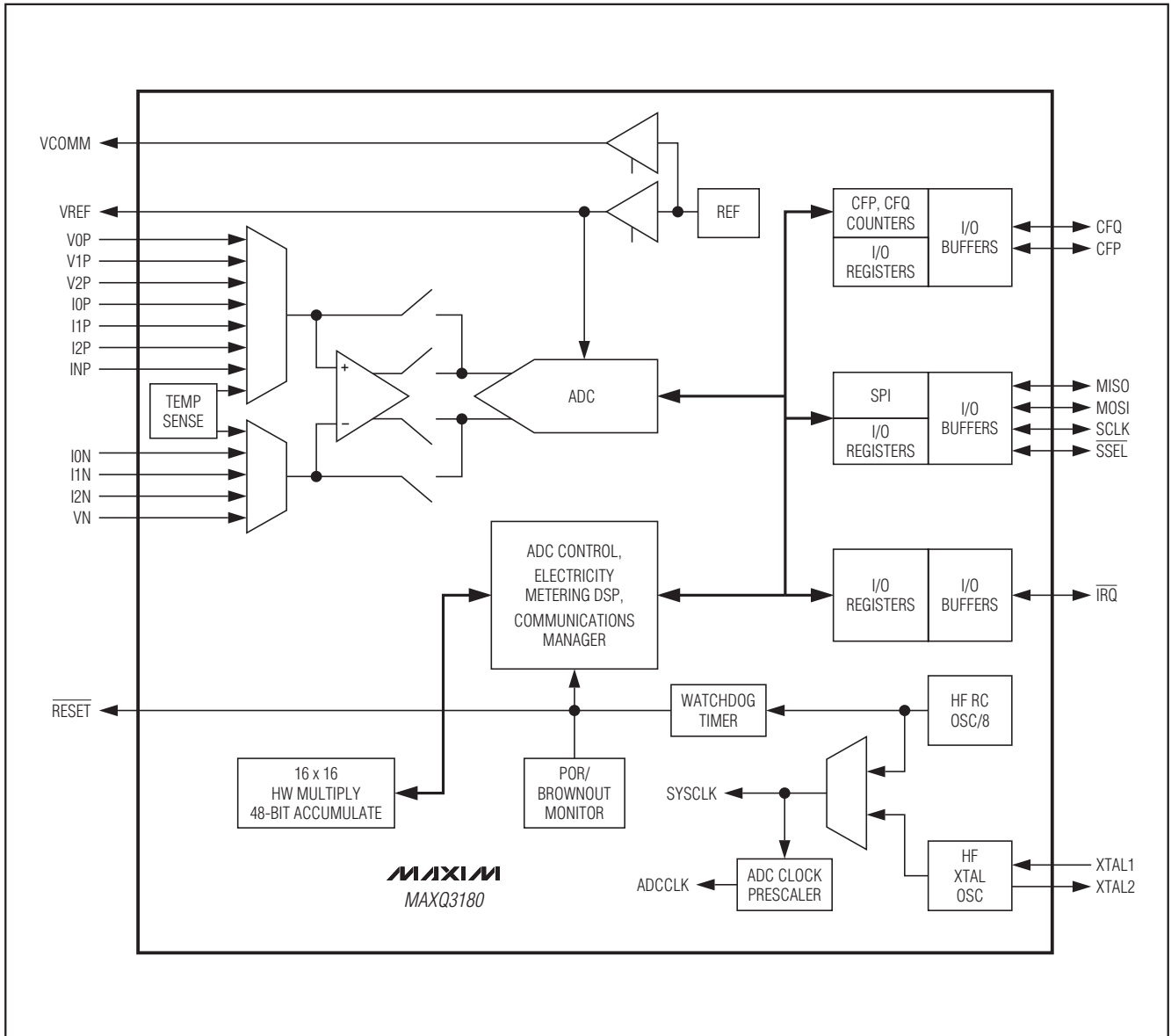
SPI从机模式时序



低功耗、多功能、多相AFE

方框图

MAXQ3180



低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

引脚说明

引脚	名称	功能
1	VN	A相、B相、C相和零相电流通道的模拟输入。
2	INP	
3	IOP	
4	ION	
5	I1P	
6	I1N	
7	I2P	
8	I2N	
9	AGND	模拟地。
10	XTAL2	高频晶体输入/输出。当使用外部高频晶体时，晶振电路应连接在XTAL1和XTAL2之间。当使用外部驱动时钟(EXTCLK = 1)时，应在XTAL1输入时钟，XTAL2不连接。
11	XTAL1	
12	$\overline{\text{IRQ}}$	中断请求输出。当发生非屏蔽中断，器件将该线驱动为低电平，向主机指示。
13	$\overline{\text{SSEL}}$	从机选择输入。该线是SPI接口的低电平有效从机选择输入。
14	SCLK	从机时钟输入。该线是SPI接口的时钟输入，总是工作在从机模式。
15	MOSI	主机输出/从机输入。主机利用该线通过SPI接口将数据传送给从机(MAXQ3180)。
16	MISO	主机输入/从机输出。MAXQ3180 (从机)利用该线通过SPI接口将数据回传给主机。
17, 22	DVDD	数字供电电压。
18	DGND	数字地。
19	CFP	有功电能脉冲输出。
20	CFQ	无功电能脉冲输出。
21	$\overline{\text{RESET}}$	低电平有效复位输入/输出。外部主机将该引脚驱动为低电平，复位MAXQ3180。该引脚含有一个弱上拉电阻，以支持使用线或的外部复位源。上电时不需要RC电路，该功能已经由内部提供。当复位源在器件内部时，该引脚还可以用作复位输出(电源失效、看门狗复位等)。在这种情况下，器件在退出复位状态前，RESET引脚保持为低电平，退出复位状态后，释放RESET引脚。
23	VCOMM	电压偏置。该引脚可以用于为ADC通道转换建立一个输入共模直流偏置。
24	VREF	电压基准。ADC的基准电压。当需要非常高的精度时，可以在该引脚连接外部基准电压。
25	AVDD	模拟供电电压。
26	V0P	A相、B相、C相电压通道的模拟输入。
27	V1P	
28	V2P	

低功耗、多功能、多相AFE

详细说明

工作模式

MAXQ3180有4个基本工作模式，下面几节对每一模式进行说明。初始化模式是上电或者复位后的默认模式；只有当主机发送命令后才能进入或者退出其他工作模式。

初始化模式

这是MAXQ3180复位、上电或者由低功耗测量模式(LPMM)切换时的默认工作模式。在这一模式下，由于还没有配置MAXQ3180，因此，不进行功率测量。当进入该模式后，MAXQ3180将状态标志NOINIT置为1，将 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚驱动为低电平，向主机指示需要进行初始化。主机负责以下工作：

- 询问MAXQ3180，以确定NOINIT位已经置位。
- 以合适的数值装入所有的RAM配置寄存器。
- 将NOINIT位清零。

一旦NOINIT位被清零，MAXQ3180退出初始化模式，进入运行模式(如果LOWPM=1，则为LPMM模式)。在清除NOINIT位之前，由主机负责确保所有配置寄存器已经设置了正确的数值。

运行模式

该模式是MAXQ3180的正常工作模式。在这一模式下，MAXQ3180连续执行以下工作：

- 扫描模拟前端通道，收集原始电压和电流采样。
- 通过使能并配置好的DSP滤波器来处理电压和电流采样。
- 计算功率、电能和其他需要的参量，将这些值存储到RAM寄存器中。
- 响应来自主机的寄存器读写命令。
- 在配置好的CFP和CFQ上输出功率脉冲。
- 当检测到中断条件，并且中断没有被屏蔽时，驱动 $\overline{\text{IRQ}}$ 。

低功耗测量模式(LPMM)

该模式使MAXQ3180能够在低时钟速率下进行所有正常电气参数测量功能，以降低功耗。在这一模式下，MAXQ3180将自己的系统时钟从高频外部晶振(或者外部时钟源)切换到内部RC振荡器。所采用的实际系统时钟频率是RC振荡器输出频率8分频，得到的系统时钟频率大约为1MHz。

只有主机请求时才进入LPMM模式。主机必须将LOWPM位(STATUS0.2)置为1，才能使MAXQ3180进入LPMM模式。当该位置位时，将自动置位NOINIT位，使器件返回到初始化模式。之所以这样，是因为改变时钟频率会使几个配置寄存器失效，需要以新的更新后的数值重新初始化，然后才能继续进行测量工作。请注意，复位后还可以立即设置LOWPM=1(正确地装入负载配置寄存器)，主机一旦清除NOINIT后，使MAXQ3180立即从初始化模式转换到LPMM模式。

主机还可以清除LOWPM位，指示MAXQ3180退出LPMM模式。这导致进入LPMM时，NOINIT置位，主机必须复位相应的配置寄存器，清除NOINIT，以继续测量。

停止模式

该模式使MAXQ3180进入节电状态，尽可能降低电流消耗。在停止模式下，所有功能都被挂起，包括ADC以及功率电压测量和处理等。在这一工作状态下，MAXQ3180不会响应来自主机的任何命令。

只有在主机请求时才进入停止模式。要使MAXQ3180进入停止模式，主机必须将STOPM位(STATUS0.1)置为1。一旦该位被写入后，在寄存器写命令之后，MAXQ3180立即进入停止模式(MAXQ3180发送最后的ACK字节之后)。

有三种方式使MAXQ3180退出停止模式。

- **重新上电。**如果出现上电复位，MAXQ3180自动退出停止模式。从停止模式退出后，所有寄存器被清回到默认状态，MAXQ3180转换到初始化模式。
- **外部复位。**如果驱动 $\overline{\text{RESET}}$ 为低电平，触发了外部复位，MAXQ3180退出停止模式。一旦 $\overline{\text{RESET}}$ 引脚被释放以返回至高电平状态，MAXQ3180退出复位状态，进入初始化模式。以这种方式退出停止模式时，所有寄存器被清回到默认状态。

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

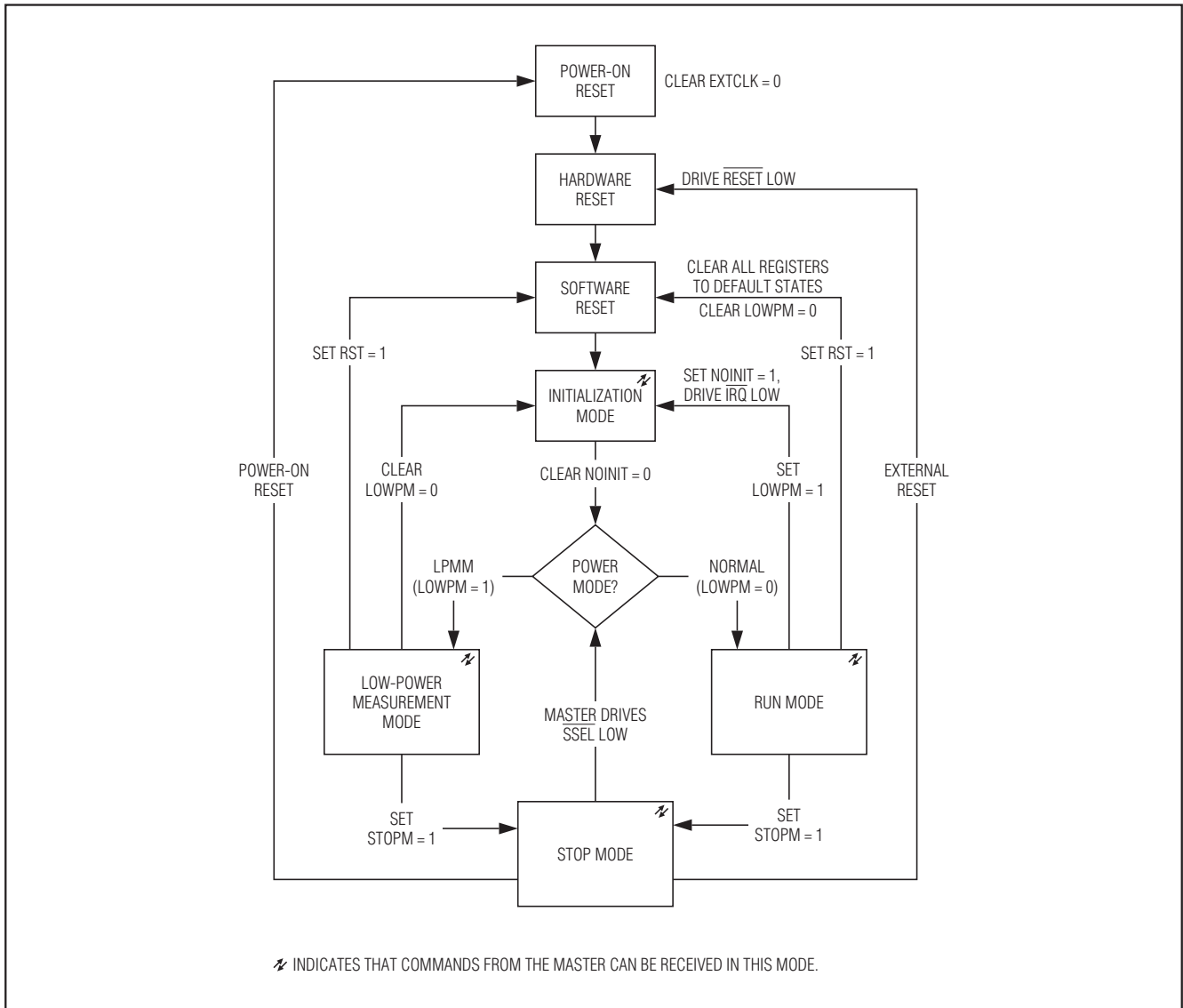


图1. 工作模式

- **外部中断。**将 $\overline{\text{SSEL}}$ 引脚驱动为低电平，导致MAXQ3180退出停止模式而不需要经过复位周期。当以这种方式退出停止模式时，保持所有寄存器和配置设置，MAXQ3180自动恢复电气测量功能和采样处理。

请注意，当主机和MAXQ3180进行通信时， $\overline{\text{SSEL}}$ 线通常在SPI命令开始时被驱动为低电平。这意味着如果主机在MAXQ3180进入停止模式后发送一个SPI命令，MAXQ3180会自动退出停止模式，接收命令。

低功耗、多功能、多相AFE

复位源

有几种不同的源会导致MAXQ3180经历复位周期。对于任意类型的硬件复位，当出现复位时，**RESET**引脚被驱动为低电平。

外部复位

外部源(例如，主机控制器或者手动按下按钮)将MAXQ3180的**RESET**引脚驱动为低电平，启动硬件复位。**RESET**线必须在当前时钟下至少保持4个周期的低电平，才能使外部复位有效。一旦外部复位有效，只要**RESET**保持为低电平，它将一直有效。一旦释放了外部复位，MAXQ3180将所有的寄存器清回至默认状态，重新开始执行初始化模式。

在停止模式之外出现外部复位时，在当前所选时钟(运行模式时为外部高频晶体，LPMM模式为1MHz内部RC振荡器)的4个周期后，重新开始执行(在初始化模式中)。由于MAXQ3180进入初始化模式时，LOWPM位总是被清为0，这意味着在初始化模式中，MAXQ3180开始接收命令之前总是要切换到高频时钟。

从停止模式出现外部复位时，128个内部RC振荡器周期(即，大约128 μ s)后，重新开始执行(在初始化模式中)。

上电复位

当MAXQ3180第一次上电，或者电源DV_{DD}低于V_{RST}电源失效触发点(在停止模式之外)时，MAXQ3180会被维持在上电复位状态。一旦电源上升至V_{RST}电平以上，上电复位状态被释放，所有寄存器被复位至默认状态，重新开始执行初始化模式。上电或者欠压(brownout)复位之后，总是选择高频外部晶体(LOWPM = 0)为时钟源。

在停止模式中，欠压检测被关闭，因此，在DV_{DD}下降到低电平(V_{POR})之前不会出现上电复位。从主机的角度看，上电复位和欠压复位都会使MAXQ3180以相同的方式复位。

看门狗复位

MAXQ3180含有一个硬件看门狗定时器，它经过设置，在正常工作时，周期性地自动复位。在正常条件下，MAXQ3180以足够的频度复位看门狗定时器，防止它溢出。然而，如果某种内部错误导致MAXQ3180锁止，或者进入死循环，

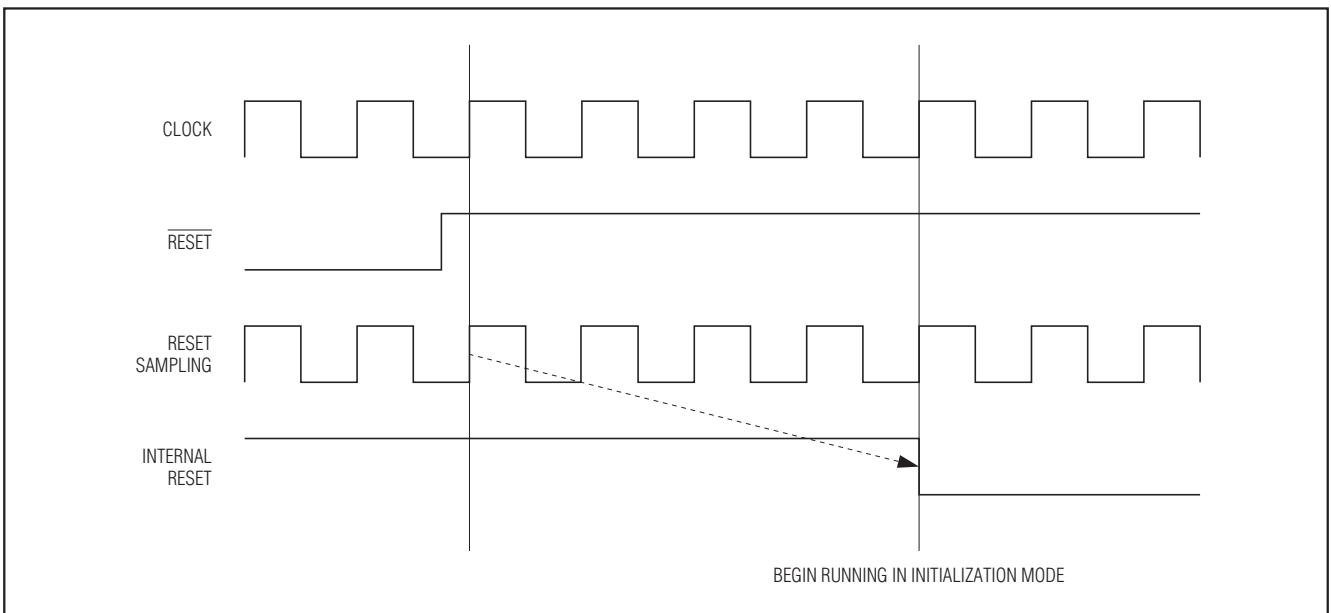


图2. 外部复位

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

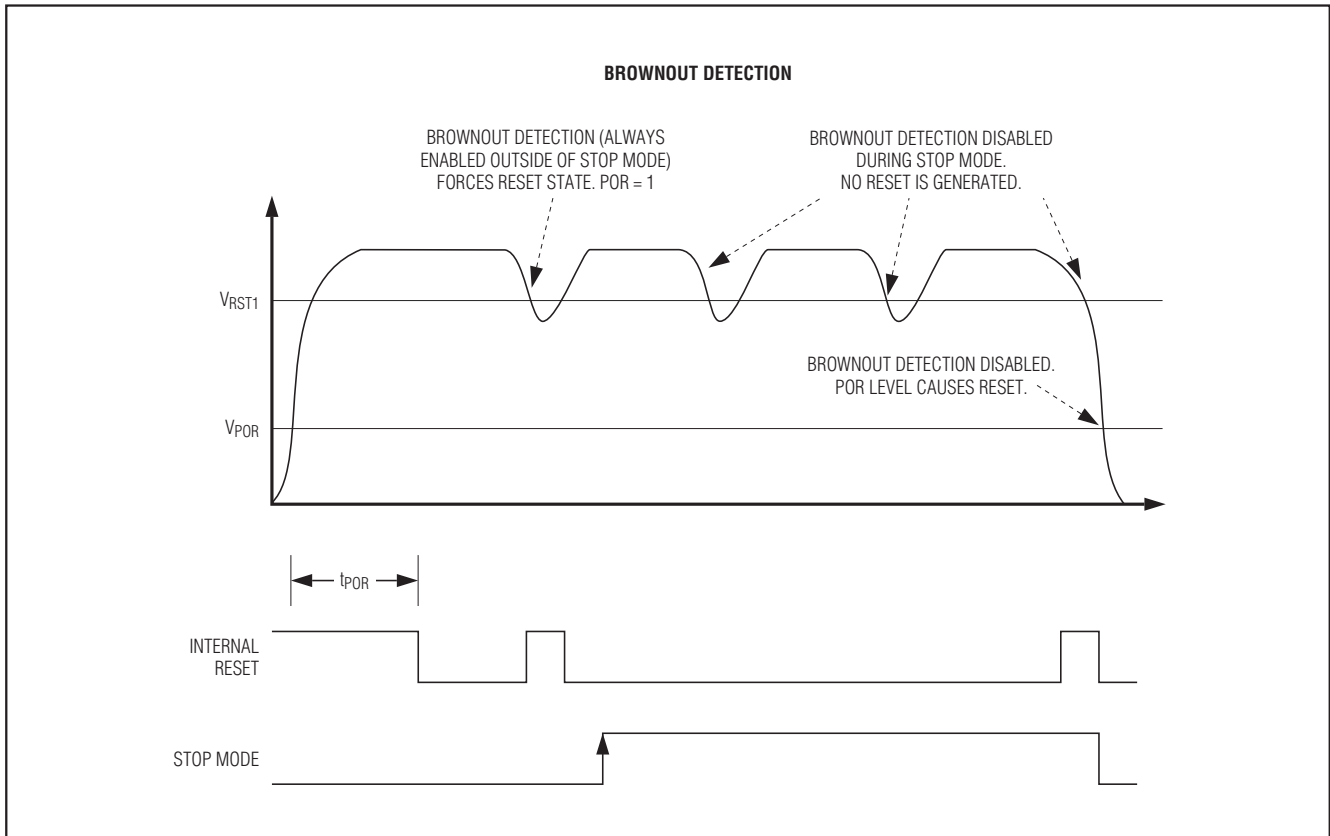


图3. 欠压复位

看门狗定时器到时，触发自动硬件复位。没有寄存器标志向主机指示出现了看门狗复位，但是 $\overline{RESET}$ 线暂时被置为低电平。由于复位导致MAXQ3180重新进入初始化模式， $\overline{IRQ}$ 线变为低电平。

在停止模式期间，看门狗定时器不会运行。

软件复位

主机设置RST (STATUS0.4)位为1会启动软件复位。当出现软件复位时，MAXQ3180将所有的寄存器清回至默认状态，以与外部复位相同的方式返回初始化模式。但是，与硬件复位不同，软件复位不会导致MAXQ3180将 $\overline{RESET}$ 线驱动为低电平。

电源供电监视

除了上电复位和欠压复位电路提供的硬件复位之外，MAXQ3180还能够探测到DVDD引脚上的电源过低，在出现硬件复位之前，通过中断($\overline{IRQ}$)机制向主机发出报警。这一功能用在停止模式之外，当DVDD下降到 V_{PFW} 触发点以下时，该功能导致RAM状态寄存器标志PWRF (STATUS1.1)被置为1。一旦PWRF被硬件置为1，它只能被主机清除(或者系统复位)。当PWRF = 1时，如果EPWRF中断屏蔽位也被置为1，MAXQ3180将 $\overline{IRQ}$ 驱动为低电平，告诉主机出现了中断状态(在这一情况下，电源失效报警)需要注意。

低功耗、多功能、多相AFE

时钟源

包括ADC采样和SPI通信在内的所有操作都与一个系统时钟同步。可以从三个可选源中任选一个作为该时钟，如图4所示。

外部高频晶体

MAXQ3180的默认系统时钟源是外部高频晶体振荡器电路，它连接在XTAL1和XTAL2之间。当采用外部晶体作为时钟时，需要并联谐振AT切割基波模式晶体振荡电路。外部负载电容的典型值与所采用的晶体类型有关，应根据晶体生产商建议的负载电容进行选择。

当使用高频晶体时，基波振荡模式晶体呈感性，以便与外部电容C1和C2产生并联谐振。这些外部电容的典型值一般与所采用的晶体类型有关，应根据晶体生产商建议的负载电容进行选择。

由于XTAL1和XTAL2的噪声会对器件时序有不利影响，因此，晶体和电容应尽量靠近XTAL1和XTAL2引脚放置，晶体和器件之间的连接线应尽量短，并且走直线。对于

多层电路板，尽可能避免在晶体振荡器电路下面通过其他高速数字信号，因为这样会在时钟电路中引入噪声。

上电或者系统复位后，自动选择高频时钟为系统时钟源。然而，在系统运行采用该时钟之前，晶体预热定时器必须计数65,536个高频时钟周期。在预热定时周期期间，系统运行继续采用内部1MHz振荡器。一旦完成了65,536个周期计数(8MHz时大概需要8.2ms)，器件自动切换到高频时钟。从停止模式退出时也用到这一晶体预热定时器，这是因为高频晶体振荡器在停止模式期间关断。

外部高频时钟

除了采用晶体振荡器来产生高频时钟，还可以将其他源(例如，数字振荡器IC)产生的高频时钟直接输入到MAXQ3180的XTAL1引脚。

当采用外部高频时钟作为系统时钟源时，XTAL1引脚应为时钟输入，XTAL2引脚应断开。主机应设置EXTCLK位(STATUS0.6)为1，关断内部晶体振荡器电路。只有上电或者欠压复位时，该位才被MAXQ3180清除，它不受其他复位的影响。

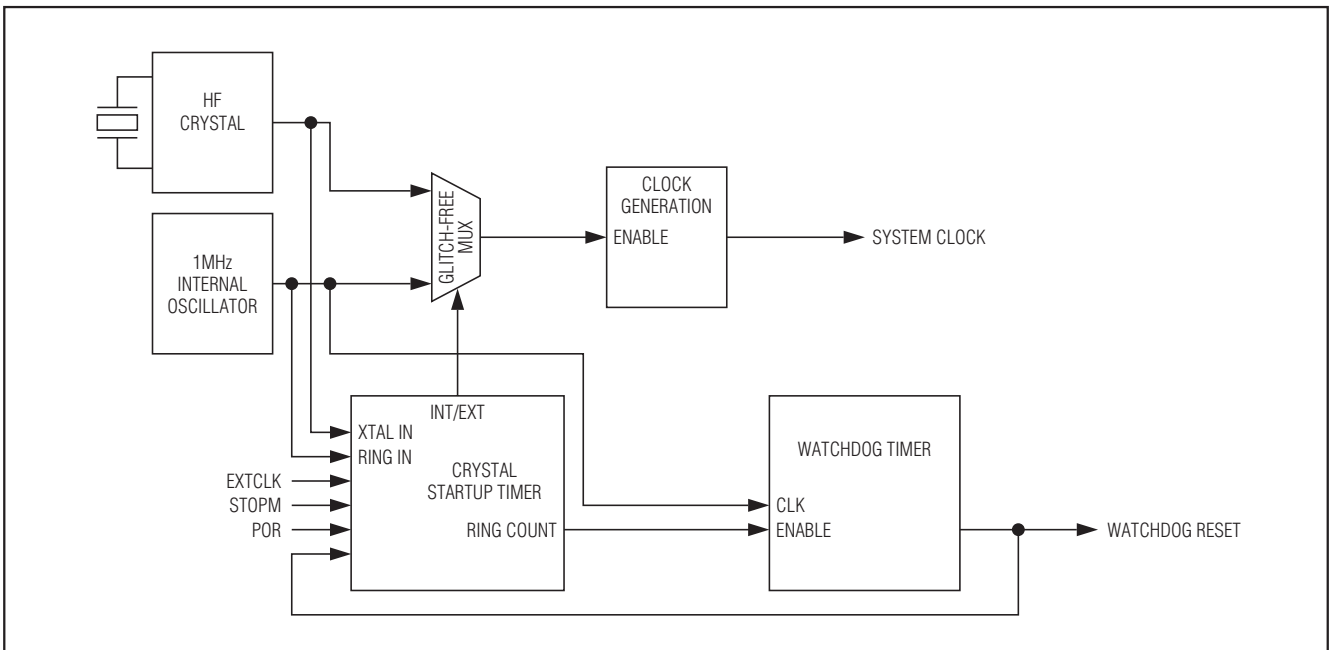


图4. 简化后的时钟源

低功耗、多功能、多相AFE

当使用外部高频时钟时，应由CMOS驱动器产生时钟源。如果时钟驱动器是TTL门，其输出必须通过上拉电阻连接至DVDD，以确保产生正确的逻辑电平。为降低时钟电路的系统噪声，外部时钟源必须满足*Electrical Characteristics*表中规定的时钟源最大上升和下降时间，以及高电平和低电平的最小周期。

内部RC振荡器

当外部高频晶体预热期间，或者当MAXQ3180进入LPMM模式后，系统时钟源自内部RC振荡器。这一内部振荡器设计运行在大约8MHz，而实际的频率随温度和供电电压而变化。

如果不采用外部晶振电路或者高频时钟，可以把XTAL1接地，迫使MAXQ3180一直采用内部振荡器。这样确保晶体预热计数不会结束，MAXQ3180会在所有有效模式(初始化模式、运行模式和LPMM模式)中都采用内部振荡器。

主机通信

在MAXQ3180可以进行电气参数测量之前，主机必须初始化一些配置参数。由于MAXQ3180不含有内部非易失存储器，这些参数(存储在内部寄存器中)必须由主机每次上电或者复位周期出现时进行设置，或者在LPMM模式和运行模式之间切换时进行设置。

外部主机通过标准SPI总线与MAXQ3180通信，通过命令对MAXQ3180的内部寄存器进行读写操作。这些寄存器包括：

- 工作模式设置(停止模式、LPMM模式、外部时钟模式等)
- 状态和中断标志(没有初始化、电源失效、过流/过压探测)
- 屏蔽中断控制，确定哪些条件导致 $\overline{\text{IRQ}}$ 被驱动为低电平
- 配置设置，以便进行模拟通道扫描
- 功率脉冲输出配置

- 滤波器系数和配置
- 含有累积功率和电能数据的只读寄存器

一旦所有的配置寄存器由主机设置为正确数值后，主机必须清除NOINIT标志(STATUS1.0)为零。一旦该标志被清除后，MAXQ3180退出初始化模式，根据LOWPM位的设置开始执行运行模式或者LPMM模式。

MAXQ3180在运行模式或者LPMM模式中测量电压和电流，它对所采集的数据进行累加、滤波和各种计算处理。由主机写入寄存器的设置来配置这些操作(包括各种滤波级)。主机通过各种只读寄存器来读取输出结果，同时进行测量和处理工作。

SPI通信速率和格式

MAXQ3180为主机/从机通信提供SPI总线。由外部主机启动所有通信传输。中断请求线 $\overline{\text{IRQ}}$ 在技术上并不是SPI总线接口的组成，但也可以用于主机/从机通信，因为MAXQ3180可以通过它来提醒主机出现了中断条件。

在SPI传送期间，利用一个串行移位时钟(SCLK)在两条串行数据线(MISO和MOSI)上同时进行数据发送和接收。串行移位时钟的极性和相位是定义SPI数据传送格式的主要因素。串行时钟的极性对应时钟线的空闲逻辑状态，因此，也定义了哪一时钟沿为有效沿。要定义一个在逻辑低电平状态空闲(有效时钟沿 = 上升沿)的串行移位时钟信号，时钟极性选择(CKPOL; SPICF.0)位应配置为0，而设置CKPOL = 1导致移位时钟在逻辑高电平状态时空闲(有效时钟沿 = 下降沿)。串行时钟的相位选择采用哪一边沿来对串行移位数据进行采样。时钟相位选择(CKPHA; SPICF.1)位控制采用有效还是无效时钟沿来锁存数据。当CKPHA被设置为逻辑1时，在无效时钟沿(时钟返回到空闲状态)对数据采样。当CKPHA被设置为逻辑0时，在有效时钟沿(时钟转换到有效状态)对数据采样。CKPOL和CKPHA位一共支持四种SPI数据传送格式。

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

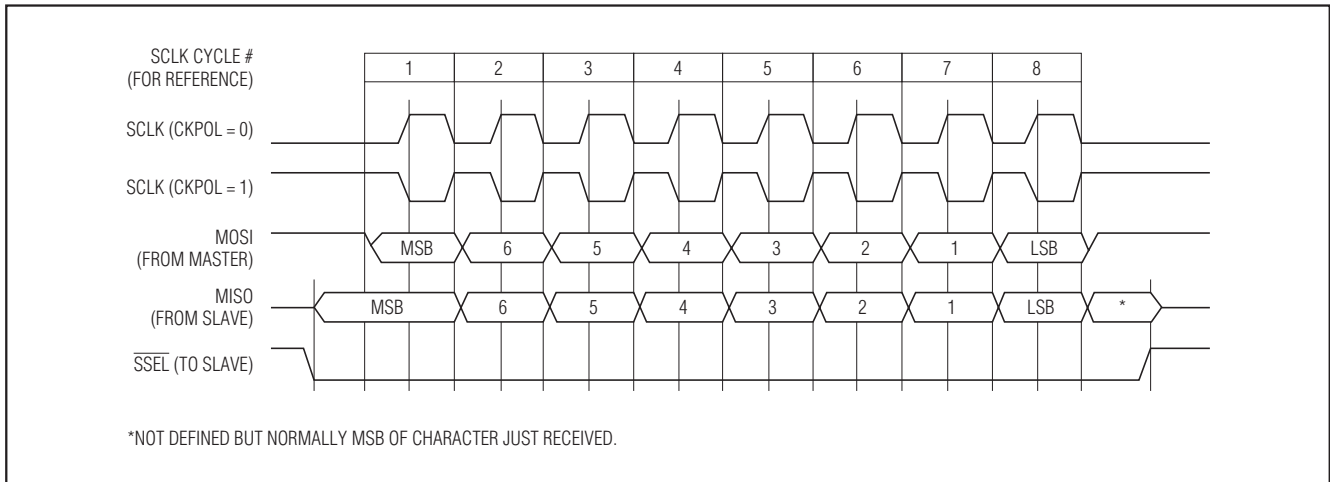


图5a. SPI接口时序(CKPHA = 1)。CKPOL = 1时，SPI接口在时钟上升沿将数据同步送入外设器件，数据在时钟下降沿从外设输出。CKPOL = 0时，SPI接口在时钟下降沿将数据同步送入外设器件，数据在时钟上升沿从外设输出。

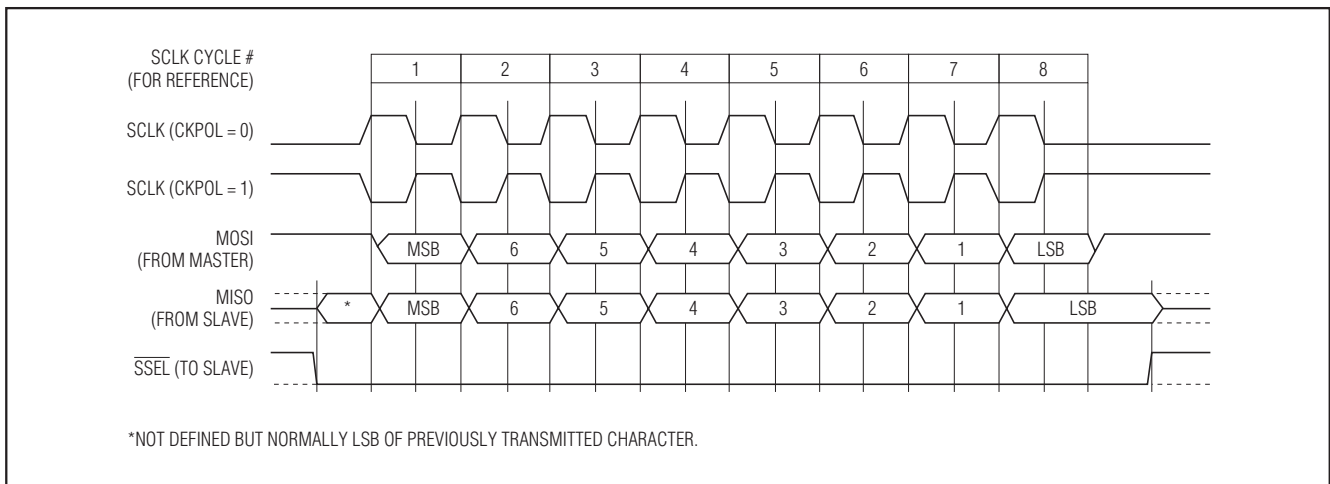


图5b. SPI接口时序(CKPHA = 0)。CKPOL = 1时，SPI接口在时钟下降沿将数据同步送入外设器件，数据在时钟上升沿从外设输出。CKPOL = 0时，SPI接口在时钟上升沿将数据同步送入外设器件，数据在时钟下降沿从外设输出。

通过SPI接口来进行传送时，总是以最高有效位开始，以最低有效位结束。MAXQ3180的所有SPI数据传送长度都是8个比特(一个字节)。MAXQ3180 SPI接口不支持16位字符长度。

MAXQ3180 SPI接口的默认格式(上电和系统复位时)如图5b (CKPOL = 0; CKPHA = 0)所示。在这一格式中，SPI时钟空闲状态为低电平，数据在SCLK上升沿移入移出。一旦和MAXQ3180的SPI建立了通信，写入R_SPICF镜像寄存器可以修改CKPOL和CKPHA格式设置(也可以将SSEL

信号从低电平有效改为高电平有效)，然后读取特殊命令寄存器UPD_SFR，将R_SPICF值复制到内部SPI配置寄存器中。

当有效时钟沿用于采样(CKPHA = 0)时，必须置位SSEL信号才能启动传送周期。这一要求意味着SSEL信号在前后传送期间必须被解除置位和重新置位。相反，当无效沿被用于采样(CKPHA = 1)时，SSEL信号在前后传送期间保持低电平，支持有效时钟沿发出信号，启动新的传送过程。

低功耗、多功能、多相AFE

由于MAXQ3180总是为SPI从机，因此，SPI接口使用的时钟速率由总线主机确定。然而，MAXQ3180的系统时钟频率限制了最大时钟速率。对于正常的通信操作，主机使用的SPI时钟频率必须低于或者等于8分频后的MAXQ3180的时钟频率。例如，当MAXQ3180运行在8MHz时，SPI时钟频率必须小于等于1MHz。如果MAXQ3180运行在LPMM模式(或者晶体还在预热时)，SPI时钟频率必须保持在125kHz或者低于125kHz，以实现正常的通信。

除了限制SPI总线时钟速率之外，主机还必须在每个字节传输/接收周期之后提供通信延时。这一延时为MAXQ3180提供了时间来处理要传输的字节，它应为一个最小1 ADC扫描时隙(TIME_FS寄存器中包含的时间值，定义为 $(R_ADCRATE + 1) / (\text{系统时钟频率})$)。在默认设置以及采用8MHz运行时，延时时间为25μs。将系统时钟频率降低到1MHz (LPMM模式)会增大这一延时周期，增加值在8s至200μs之间。

SPI通信协议

主机和MAXQ3180之间所有的通信通过主机和MAXQ3180的寄存器之一进行读写操作来完成。MAXQ3180含有几种不同类型的内部寄存器。

- **RAM寄存器。**这些寄存器中的数值被存储在MAXQ3180的内部RAM中。有些可以被主机读取和写入，而其他的为只读。RAM寄存器长度为两字节或者四字节(16或者32位)，而有的寄存器并不是所有位都定义了数值。读/写寄存器一般是状态/标志寄存器(由MAXQ3180或者主机写入)、配置寄存器(由主机写入，由MAXQ3180固件读取)，或者数据寄存器(只读，由MAXQ3180固件写入，由主机读取)。
- **虚拟寄存器。**这些只读寄存器并没有存储在RAM中；当主机读取这些寄存器时，它们含有MAXQ3180固件

实时计算的数值。主机利用这些寄存器来获得A、B和C相有功、无功以及视在功率、功率因数和RMS电压电流等数值，根据需要，从当前采集到的数据中计算出这些数值。所有虚拟寄存器的长度为4字节。

- **硬件寄存器。**这些寄存器包括ADC和SPI从机总线控制器等，它们控制MAXQ3180的核心功能。这些寄存器中的每一个(R_ACFG、R_ADCRATE、R_ADCADQ、R_SPICF和STATUS0 (第6位，EXTCLK))都有位于RAM中的寄存器，“映射”硬件寄存器的数值。要读取硬件寄存器，主机必须首先读取特殊命令寄存器UPD_MIR (A00h)，将数值从硬件寄存器复制到RAM中的镜像寄存器，然后才能读取RAM中的镜像寄存器。要写入硬件寄存器时，在相反的过程中，主机写入镜像RAM寄存器，然后读取特殊命令寄存器UPD_SFR (900h)，把镜像寄存器中的数值复制到硬件寄存器中。
- **特殊命令寄存器。**读取时，这些寄存器(UPD_SFR和UPD_MIR)不返回有意义的数值，而是触发操作。读取UPD_SFR导致将数值从镜像寄存器复制到硬件，读取UPD_MIR导致将数值从硬件复制到镜像寄存器。

MAXQ3180中每一个定义的寄存器都有12位地址(从0到4095)。当寻址寄存器，进行读或者写操作时，会用到这些地址。地址0至1023 (000h至3FFh)用于寻址RAM寄存器。地址1024至4095 (400h至FFFh)的寄存器用于虚拟寄存器和特殊命令寄存器。

每一命令含有读/写命令代码、数据长度(1、2、4或者8字节)、12位寄存器地址以及指定数量的数据字节，最后是可选项CRC。由于SPI是全双工接口，主机和从机必须在命令期间发送相同数量的字节。当读取或者写入多字节寄存器(2/4/8字节长度)时，在命令中首先读取或者写入最低有效字节。

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表1. SPI寄存器读命令格式

字节	传输	位	说明
第1字节	主机发送命令 从机发送0xC1字节	7:6	命令代码： 00读 01保留 10写
		5:4	数据长度： 00 1字节 01 2字节 10 4字节
		3:0	数据地址的MSB部分。
第2字节	主机发送地址 从机发送0xC2字节	7:0	数据地址的LSB部分。
同步字节	主机发送假数据 从机发送ACK (0x41)或 NACK (0x4E)字节	7:0	主机发送假数据字节，从机忙时应答NACK，完成处理时应答ACK。 主机必须接收ACK，然后接收数据。
第3字节 (第1数据字节)	主机发送假数据 从机发送数据	7:0	数据，LSB
...	...	...	...
第N字节 (最后一个数据字节)	主机发送假数据 从机发送数据	7:0	数据，MSB
(N + 1)字节	主机发送假数据 从机发送CRC	7:0	CRC可选

表2. SPI寄存器写命令格式

字节	传输	位	说明
第1字节	主机发送命令 从机发送0xC1字节	7:6	命令代码： 00读 01保留 10写
		5:4	数据长度： 00 1字节 01 2字节 10 4字节
		3:0	数据地址的MSB部分。
第2字节	主机发送地址 从机发送0xC2字节	7:0	数据地址的LSB部分。
第3字节 (第1数据字节)	主机发送数据 从机发送ACK (0x41)	7:0	数据，LSB
...	...	...	...
第N字节 (最后一个数据字节)	主机发送数据 从机发送ACK (0x41)	7:0	数据，MSB
(N + 1)字节	主机发送CRC 从机发送ACK (0x41)	7:0	CRC可选
同步字节	主机发送假数据 从机发送ACK (0x41)或 NACK (0x4E)字节	7:0	主机发送假数据字节，从机忙时应答NACK，完成处理时应答ACK。 主机必须接收ACK，然后开始下一次传输。

低功耗、多功能、多相AFE

在每一次传送中，可以选择附加一个循环冗余校验(CRC)字节。对于写命令，主机发送CRC字节，对于读命令，由MAXQ3180发送CRC字节。当STATUS0寄存器中的CRCEN位被置为1时，使能CRC模式。否则，MAXQ3180认为没有采用CRC字节。从主机发送的第一条命令到除了同步字节以外的最后一个数据字节，对传送的所有字节进行8位CRC计算，使用的多项式为 $P = x^8 + x^5 + x^4 + 1$ 。如果传送的CRC字节与计算得到的CRC字节(对于写命令)不匹配，MAXQ3180忽略该命令。

传送长度由第一个命令字节和STATUS0寄存器CRCEN位的状态定义。这一简单协议并不提供专门的同步机制。因此，主机负责发送/接收正确数量的字节。如果主机出错而发送的字节数多于当前命令要求的字节数，要么忽略多余的字节(如果MAXQ3180忙于处理前面的命令)，要么理解为新命令的开始。如果主机发送的字节数少于当前命令要求的字节数，MAXQ3180等待大约200ms，然后停止传送，复位通讯通道。可以通过COM_TIMO寄存器来配置超时时间。

图6和图7所示为典型的2字节读写传送(没有CRC字节)。

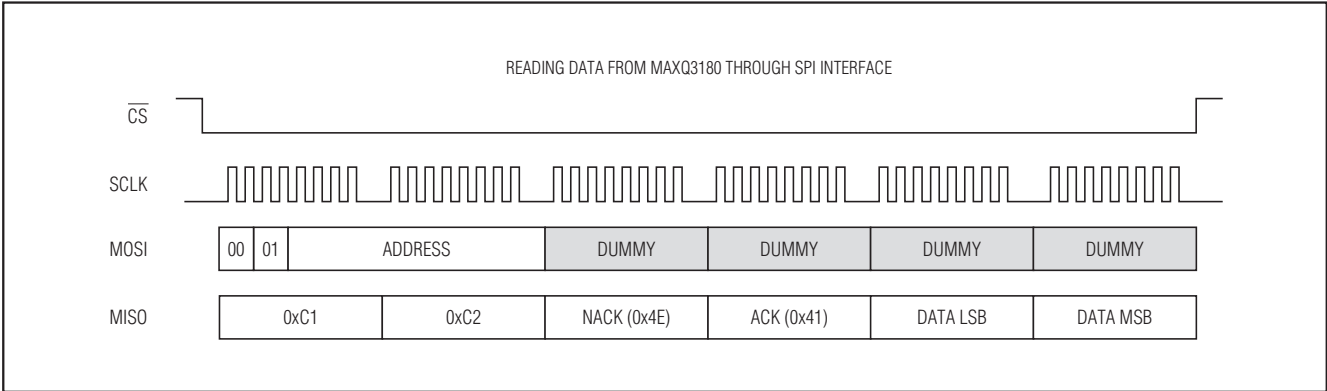


图6. 读SPI传送

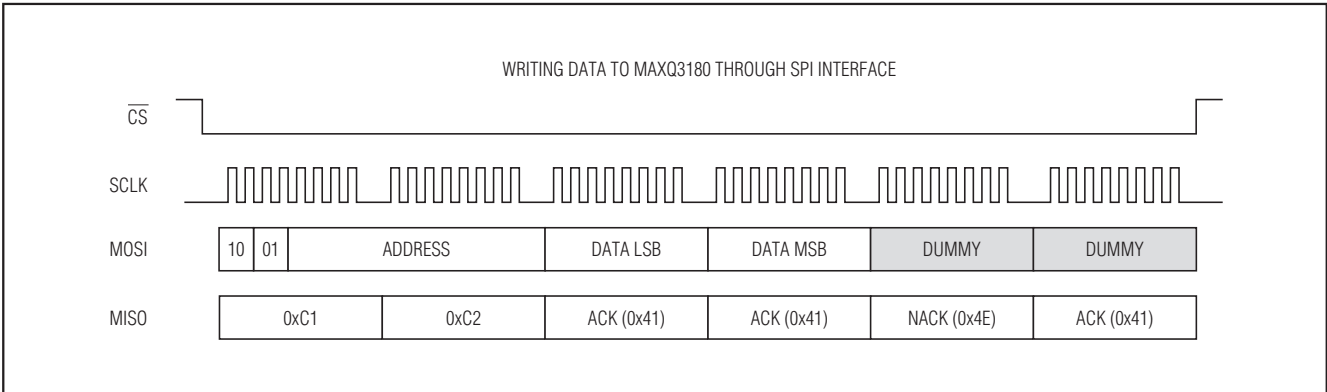


图7. 写SPI传送

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表3. RAM寄存器映射

	x0h	x1h	x2h	x3h	x4h	x5h	x6h	x7h	x8h	x9h	xAh	xBh	xCh	xDh	xEh	xFh	
0xh	STATUS0		OPMODE		STATUS1		INT_MASK		STATUS2		CONNCT						
1xh	SCAN_0		SCAN_1		SCAN_2		SCAN_3		SCAN_4		SCAN_5		SCAN_6		SCAN_7		
2xh	TIME_FS		VOLT_FS		AMP_FS		PWR_FS		KWHT				KAHT				
3xh	CYCNT		PLSCFG		THR1				THR2				PLS1_WD		PLS2_WD		
4xh																	
5xh					AVC0		AVC1		LPF_B0FZC		LPF_B0FNFS		LPF_B0FSM		HPF_B0F		
6xh	BPF_B0F		BPF_A1F										PKCYC		SAGCYC		
7xh	OCLVL		OVLVL		SAGLVL		IUBLVL		VUBLVL		NZC_TIMO		REV_TIMO		ACC_TIMO		
8xh	COM_TIMO		R_ACFG		R_ADCRATE		R_ADCACQ		R_SPICF		NOLOAD		NS				
9xh	RAW_TEMP																
Axh																	
Bxh																	
Cxh																	
Dxh																	
Exh	PHASE_A_KWHAP		PHASE_A_KWHAN		PHASE_A_KWHR1		PHASE_A_KWHR2		PHASE_A_KWHR3		PHASE_A_KWHR4		PHASE_A_KWHAP		PHASE_A_KWHIH		
Fxh	PHASE_A_I_GAIN		PHASE_A_V_GAIN		PHASE_A_E_GAIN_HI		PHASE_A_EOFF_HI		PHASE_A_E_GAIN_LO		PHASE_A_EOFF_LO		PHASE_A_PA_0		PHASE_A_PA_1		
10xh	PHASE_A_PA_2		PHASE_A_PA_3		PHASE_A_FLAGS		PHASE_A_EOVFL		PHASE_A_IPK		PHASE_A_VPK						
11xh																	
12xh																	
13xh																	
14xh																	
15xh																	
16xh																	
17xh																	
18xh																	
19xh			PHASE_A_IRMS				PHASE_A_VRMS				PHASE_A_IH				PHASE_A_ACT		
1Axh	PHASE_A_ACT		PHASE_A_REA				PHASE_A_APP										
1Bxh																	
1Cxh																	
1Dxh	PHASE_B_KWHAP		PHASE_B_KWHAN		PHASE_B_KWHR1		PHASE_B_KWHR2		PHASE_B_KWHR3		PHASE_B_KWHR4		PHASE_B_KWHAP		PHASE_B_KWHIH		
1Exh	PHASE_B_I_GAIN		PHASE_B_V_GAIN		PHASE_B_E_GAIN_HI		PHASE_B_EOFF_HI		PHASE_B_E_GAIN_LO		PHASE_B_EOFF_LO		PHASE_B_PA_0		PHASE_B_PA_1		
1Fxh	PHASE_B_PA_2		PHASE_B_PA_3		PHASE_B_FLAGS		PHASE_B_EOVFL		PHASE_B_IPK		PHASE_B_VPK						
20xh																	

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表3. RAM寄存器映射(续)

	x0h	x1h	x2h	x3h	x4h	x5h	x6h	x7h	x8h	x9h	xAh	xBh	xCh	xDh	xEh	xFh
21xh																
22xh																
23xh																
24xh																
25xh																
26xh																
27xh																
28xh			PHASE_B_IRMS				PHASE_B_VRMS				PHASE_B_IH				PHASE_B_ACT	
29xh	PHASE_B_ACT		PHASE_B_REA				PHASE_B_APP									
2Axh																
2Bxh																
2Cxh	PHASE_C_KWHAP		PHASE_C_KWHAN		PHASE_C_KWHR1		PHASE_C_KWHR2		PHASE_C_KWHR3		PHASE_C_KWHR4		PHASE_C_KWHAP		PHASE_C_KWHIH	
2Dxh	PHASE_C_I_GAIN		PHASE_C_V_GAIN		PHASE_C_E_GAIN_HI		PHASE_C_EOFF_HI		PHASE_C_E_GAIN_LO		PHASE_C_EOFF_LO		PHASE_C_PA_0		PHASE_C_PA_1	
2Exh	PHASE_C_PA_2		PHASE_C_PA_3		PHASE_C_FLAGS		PHASE_C_EOVFL		PHASE_C_IPK		PHASE_C_VPK					
2Fh																
30xh																
31xh																
32xh																
33xh																
34xh																
35xh																
36xh																
37xh			PHASE_C_IRMS				PHASE_C_VRMS				PHASE_C_IH				PHASE_C_ACT	
38xh	PHASE_C_ACT		PHASE_C_REA				PHASE_C_APP									
39xh																
3Axh																
3Bxh	NEUTRAL_KWHIH			NEUTRAL_I_GAIN			NEUTRAL_EOVFL									
3Cxh																
3Dxh																
3Exh				NEUTRAL_IRMS				NEUTRAL_IH								
3Fh																

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
STATUS0	0 0x000	状态	R/W	0x0000	15:7, 0	—	保留, 应该置为0
					6	EXTCLK	外部时钟
					5	ACCEN	使能电能累计
					4	RST	软件复位
					3	CRCEN	使能CRC
					2	LOWPM	LPMM模式
					1	STOPM	停止模式
OPMODE	2 0x002	工作模式	R/W	0x0000	15:10, 7:6, 2:0	—	保留, 应该置为0
					9	TMPC1	温度(双字节)
					8	TMPC0	温度(单字节)
					5:4	HRM	00: 无滤波 01: 带通滤波器 1x: 带阻滤波器
					3	APPSEL	选择视在电能 0: $\sqrt{P^2 + Q^2}$ 1: $I_{RMS} \times V_{RMS}$ 选择谐波滤波器
STATUS1	4 0x004	状态 该寄存器中的 任意一位置位 并且没有屏蔽时, 器件驱动 IRQ至低电平	R/W	0x0001	15	SEQERR	相序错误
					14	VUNBF	电压不平衡标志
					13	IUNBF	电流不平衡标志
					12	MISV	电压丢失检测
					11	NOZC	无过零
					10	SAG	电压跌落检测
					9	OV	过压检测
					8	OC	过流检测
					7:6	—	保留
					5	DCH_Q	脉冲2方向变化
					4	DCH_P	脉冲1方向变化
					3	EOVF	电能溢出
					2	TMRD	温度读数就绪
					1	PWRF	电源失效中断
					0	NOINIT	没有初始化
INT_MASK	6 0x006	中断屏蔽 (使能)	R/W	0x0001	与STATUS1相同		置1时使能相应的IRQ

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
STATUS2	8 0x008	状态	R/W	0x0000	15:8, 6, 3, 1:0	—	保留, 应该置为0
					7	PORF	POR标志
					5	REV_Q	脉冲2反相
					4	REV_P	脉冲1反相
					2	WTRF	看门狗定时器标志
CONNCT	10 0x00A	连接和功率 计算配置	R/W	0x0000	15:8	—	这些位保留, 应该置为0
					7	INTGN	使能IN积分器(di/dt)
					6	INTGC	使能IC积分器(di/dt)
					5	INTGB	使能IB积分器(di/dt)
					4	INTGA	使能IA积分器(di/dt)
					3	—	保留
					2	INEN	使能零相电流
					1:0	CONNCT [1:0]	00: $P1 = V_A \times I_A$ $P2 = V_B \times I_B$ $P3 = V_C \times I_C$ 01: $P1 = V_A \times I_A$ $P2 = -I_B \times (V_A + V_C)$ $P3 = V_C \times I_C$ 1x: $P1 = V_A \times I_A$ $P2 = -I_B \times V_A$ $P3 = V_C \times I_C$
RESERVED	12–15	—	—	—	—	—	—
SCAN_0	16	模拟扫描配置 (时隙0)	R/W	0x0301	15:12	—	这些位保留, 应该置为0
					11:8	MUX	模拟复用设置: 0000: V0P–VN 0001: V1P–VN 0010: V2P–VN 0011: I0P–I0N 0100: I1P–I1N 0101: I2P–I2N 0110: INP–VN 其它: 保留
					7	NOCONV	置位时禁止该时隙的ADC转换
					6:4	PGA	PGA设置: 000: x1 001: x2 010: x4 011: x8 100: x16 101: x32

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
SCAN_0	16	模拟扫描配置 (时隙0)	R/W	0x0301	3:1	EXCON	外部连接: 000: IA 001: VA 010: IC 011: VC 100: IB 101: VB 110: IN
					0	—	保留
SCAN_1	18 0x012	模拟扫描配置 (时隙1)	R/W	0x0003	与SCAN_0相同		
SCAN_2	20 0x014	模拟扫描配置 (时隙2)	R/W	0x0505	与SCAN_0相同		
SCAN_3	22 0x016	模拟扫描配置 (时隙3)	R/W	0x0207	与SCAN_0相同		
SCAN_4	24 0x018	模拟扫描配置 (时隙4)	R/W	0x0409	与SCAN_0相同		
SCAN_5	26 0x01A	模拟扫描配置 (时隙5)	R/W	0x010B	与SCAN_0相同		
SCAN_6	28 0x01C	模拟扫描配置 (时隙6)	R/W	0x068D	与SCAN_0相同		
SCAN_7	30 0x01E	模拟扫描配置 (时隙7)	R/W	0x08AF	保留, 不要修改这些位		
TIME_FS	32 0x020	时间校准	R/W	0x07D0	15:0	1个扫描帧的(R_ADCRATE + 1 个系统时钟)的持续时间, 以0.1 μ s为单位	
VOLT_FS	34 0x022	电压校准	R/W	0x81F0	15:0	电压转换系数: 电压读数 = VOLT_FS x $V_{RMS}/2^{16}$	
AMP_FS	36 0x024	电流校准	R/W	0x17D8	15:0	电流转换系数: 电流读数 = AMP_FS x $I_{RMS}/2^{16}$	

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PWR_FS	38 0x026	功率校准	R/W	0x3539	15:0		功率转换系数: 功率读数 = $PWR_FS \times I_{RMS} \times V_{RMS}/2^{26}$
KWHT	40 0x028	kWh门限	R/W	0x0084 1C2F	31:0		定义电能累加器的LSB (默认值为0.0001kWh)
KAHT	44 0x02C	kAh门限	R/W	0x1194 0000	31:0		定义Ah累加器的LSB (默认值为0.0001kAh)
CYCNT	48 0x030	周期计数	R/W	0x0001	15:0		定义计算电能之前需要累计 多少个电网周期
PLSCFG	50 0x032	脉冲输出配置	R/W	0x1707	15:11	PLS2SEL	选择脉冲2输出
					10:8	PLS2TRM	单独为脉冲2选择E1、E2、E3
					7:3	PLS1SEL	选择脉冲1输出
					2:0	PLS1TRM	单独为脉冲1选择E1、E2、E3
THR1	52 0x34	脉冲1门限	R/W	0x019C D813	31:0		脉冲1持续时间定时器 (1 LSB = 64SCLK)
THR2	56 0x38	脉冲2门限	R/W	0x019C D813	31:0		脉冲2持续时间定时器 (1 LSB = 64SCLK)
PLS1_WD	60 0x3C	脉冲1宽度	R/W	0x186A	15:0		脉冲1持续时间内向下计数器加载 数值(默认值50ms)
PLS2_WD	62 0x3E	脉冲2宽度	R/W	0x186A	15:0		脉冲2持续时间内向下计数器加载 数值(默认值50ms)
RESERVED	64–83	系统	—	—	—	—	—
AVC0	84 0x054	全通滤波器系数	R/W	0x3000	15:0		—
AVC1	86 0x056	全通滤波器系数	R/W	0x5000	15:0		—
LPF_B0FZC	88 0x058	用于过零检测的 LPF系数	R/W	0x1000	15:0		—

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
LPF_B0FNS	90 0x05A	用于计算NS的 LPF系数	R/W	0x0800	15:0	—	—
LPF_B0FSM	92 0x05C	用于采样计算的 LPF系数	R/W	0x1000	15:0	—	—
HPF_B0F	94 0x05E	HPF系数	R/W	0x0200	15:0	—	—
BPF_B0F	96 0x060	BPF和BSF系数	R/W	0x1000	15:0	—	—
BPF_A1F	98 0x062	BPF和BSF系数	R/W	0x301A	15:0	—	—
RESERVED	100–107	系统	—	—	—	—	—
PKCYC	108 0x06C	用于峰值检测的 电网周期数	R/W	0x0032	15:0	—	—
SAGCYC	110 0x06E	用于电压跌落检测 的电网周期数	R/W	0x0005	15:0	—	—
OCLVL	112 0x070	过流中断门限	R/W	0x7FFF	15:0	—	—
OVLVL	114 0x072	过压中断门限	R/W	0x7FFF	15:0	—	—
SAGLVL	116 0x074	电压跌落中 断门限	R/W	0x0000	15:0	—	—
IUBLVL	118 0x076	电流不平衡 中断门限	R/W	0xFFFF	15:0	—	—
VUBLVL	120 0x078	电压不平衡 中断门限	R/W	0xFFFF	15:0	—	—
NZC_TIMO	122 0x07A	过零超时	R/W	0x0640	15:0	—	无过零检测的帧数

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
REV_TIMO	124 0x07C	反相脉冲方向 检测超时	R/W	0x000B	15:0		检测反相脉冲方向的电网周期数
ACC_TIMO	126 0x07E	电能累计 延迟超时	R/W	0x0032	15:0		开启电能累计之前的电网周期数
COM_TIMO	128 0x080	通信超时	R/W	0x03E8	15:0		复位通信通道的帧数
R_ACFG	130 0x082	模拟控制映射	R/W	0x0007	15:8	—	保留, 应该置为0
					7	ADCBY	自动关断禁止
					6	ADCRY	采样就绪(系统)
					5:4	ADCCD [1:0]	ADC分频器 00: ADC = SYSCLK 01: ADC = SYSCLK/2 10: ADC = SYSCLK/4 11: 保留
					3	ADCBY	ADC忙(系统)
					2	ADCIE	ADC中断使能(系统)
					1	ARBE	内部V _{REF} 使能
					0	ADCE	ADC使能
R_ADCRATE	132 0x084	模拟控制映射	R/W	0x00C7	15:9	—	保留, 应该置为0
					8:0	R_ADCRATE [8:0]	两次连续的ADC转换之间的 SYSCLK时钟数减1
R_ADCACQ	134 0x086	模拟控制映射	R/W	0x002F	15:7	—	保留, 应该置为0
					6:0	R_ADCACQ [6:0]	转换之前, 放大器采集输入信号所 需的SYSCLK时钟数减1
R_SPICF	136 0x088	SPI控制映射	R/W	0x0080	15:8, 5:3	—	保留, 应该置为0
					7	ESPII	SPI中断使能(系统)
					6	SAS	SSEL有效电平选择 0: SSEL低电平有效 1: SSEL高电平有效
					5:3	—	这些位保留, 应该置为0
					2	CHR	SPI字符长度 0: 8位 1: 16位
					1	CKPHA	SPI时钟相位选择
					0	CKPOL	SPI时钟极性选择

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
NOLOAD	138 0x08A	空载门限	R/W	0x00F0	15:0		空载门限, 默认值设置在0.5W
NS	140 0x08C	原始电网周期	R/W	0x00640000	31:0		每电网周期的扫描帧数, $LSB = 2^{(-16)}$
RAW_TEMP	144 0x090	温度采样	RO	—	15:4	RAW_TEMP [15:4]	原始ADC输出, 与管芯温度 成正比
					3:0	—	保留
RESERVED	146–223	—	—	—	—	—	—
PHASE_A_ KWHAP	224 0x0E0	有功电能(正)	RO	—	15:0		正有功电能累计值, 单位由KWHT 设置
PHASE_A_ KWHAN	226 0x0E2	有功电能(负)	RO	—	15:0		负有功电能累计值, 单位由KWHT 设置
PHASE_A_ KWHR1	228 0x0E4	Q1无功电能	RO	—	15:0		第1象限无功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_A_ KWHR2	230 0x0E6	Q2无功电能	RO	—	15:0		第2象限无功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_A_ KWHR3	232 0x0E8	Q3无功电能	RO	—	15:0		第3象限无功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_A_ KWHR4	234 0x0EA	Q4无功电能	RO	—	15:0		第4象限无功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_A_ KWHAP	236 0x0EC	视在电能	RO	—	15:0		视在电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_A_ KWHIH	238 0x0EE	安培-小时	RO	—	15:0		安时数累计值, 单位由KAHT设置
PHASE_A_I _GAIN	240 0x0F0	电流增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 I_{RMS} : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_A_V _GAIN	242 0x0F2	电压增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 V_{RMS} : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_A_E _GAIN_HI	244 0x0F4	功率和电能 增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 pwr : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_A_EOFF_HI	246 0x0F6	线性系数: 宽范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正电能: $Y = X - Eoff_hi$
PHASE_A_E_GAIN_LO	248 0x0F8	线性系数: 小范围电能增益	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正pwr: $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_A_EOFF_LO	250 0x0FA	线性系数: 小范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正pwr: $Y = X - Eoff_lo$
PHASE_A_PA_0	252 0x0FC	相角系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码 $Y = PA_0 + (PA_1 \times X) + (PA_2 \times X^2) + (PA_3 \times X^3)$
PHASE_A_PA_1	254 0x0FE	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_A_PA_2	256 0x100	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_A_PA_3	258 0x102	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_A_FLAGS	260 0x104	中断标志	R/W	0x0000	15:13, 7:5	—	保留, 应该置为0
					12:8	4:0	分别对应于4:0的屏蔽(使能)位
					4	MISVF	电压丢失标志
					3	NOZCF	无过零标志
					2	VSAGF	电压跌落标志
					1	OVF	过压标志
					0	OCF	过流标志
PHASE_A_EOVFL	262 0x106	电能溢出标志	R/W	0x0000	7	IHOF	KWHIH溢出
					6	APOF	KWHAP溢出
					5	R4OF	KWHR4溢出
					4	R3OF	KWHR3溢出
					3	R2OF	KWHR2溢出
					2	R1OF	KWHR1溢出
					1	ANOF	KWHAN溢出
					0	APOF	KWHAP溢出

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_A_ IPK	264 0x108	电流峰值	RO	—	15:0	—	—
PHASE_A_ VPK	266 0x10A	电压峰值	RO	—	15:0	—	—
RESERVED	268–401	—	—	—	—	—	—
PHASE_A_ IRMS	402 0x192	原始RMS电流	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_A_ VRMS	406 0x196	原始RMS电压	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_A_ IH	410 0x19A	原始安时数	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = $2^{14} \times \text{NS}$
PHASE_A_ ACT	414 0x19E	原始有功电能	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_A_ REA	418 0x1A2	原始无功电能	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_A_ APP	422 0x1A6	原始视在电能	RO	—	31:0	—	每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
RESERVED	426–463	—	—	—	—	—	—
PHASE_B_ KWHAP	464 0x1D0	有功电能(正)	RO	—	15:0	—	正有功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_B_ KWHAN	466 0x1D2	有功电能(负)	RO	—	15:0	—	负有功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_B_ KWHR1	468 0x1D4	Q1无功电能	RO	—	15:0	—	第1象限无功电能累计值, 单位由KWHT设置
PHASE_B_ KWHR2	470 0x1D6	Q2无功电能	RO	—	15:0	—	第2象限无功电能累计值, 单位由KWHT设置
PHASE_B_ KWHR3	472 0x1D8	Q3无功电能	RO	—	15:0	—	第3象限无功电能累计值, 单位由KWHT设置
PHASE_B_ KWHR4	474 0x1DA	Q4无功电能	RO	—	15:0	—	第4象限无功电能累计值, 单位由KWHT设置
PHASE_B_ KWHAP	476 0x1DC	视在电能	RO	—	15:0	—	视在电能累计值, 单位由 KWHT设置

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_B_ KWHIH	478 0x1DE	安培-小时	RO	—	15:0		安时数累计值, 单位由KAHT设置
PHASE_B_ I_GAIN	480 0x1E0	电流增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 I_{RMS} : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_B_ V_GAIN	482 0x1E2	电压增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 V_{RMS} : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_B_ E_GAIN_HI	484 0x1E4	功率和电能 增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 pwr : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_B_ EOFF_HI	486 0x1E6	线性系数: 宽范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正电能: $Y = X - Eoff_hi$
PHASE_B_ E_GAIN_LO	488 0x1E8	线性系数: 小范围电能增益	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 pwr : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_B_ EOFF_LO	490 0x1EA	线性系数: 小范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码, 用于修正 pwr : $Y = X - Eoff_lo$
PHASE_B_ PA_0	492	相角系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码 $Y = PA_0 + (PA_1 \times X) +$ $(PA_2 \times X^2) + (PA_3 \times X^3)$
PHASE_B_ PA_1	494	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_B_ PA_2	496	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_B_ PA_3	498	相角系数	R/W	0x0000	15:0		

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_B_ FLAGS	500	中断标志	R/W	0x0000	15:13, 7:5	—	保留
					12:8	4:0	分别对应于4:0的屏蔽(使能)位
					4	MISVF	电压丢失标志
					3	NOZCF	无过零标志
					2	VSAGF	电压跌落标志
					1	OVF	过压标志
					0	OCF	过流标志
PHASE_B_ EOVFL	502	电能溢出标志	R/W	0x0000	7	IHOF	KWHIH溢出
					6	APOF	KWHAP溢出
					5	R4OF	KWHR4溢出
					4	R3OF	KWHR3溢出
					3	R2OF	KWHR2溢出
					2	R1OF	KWHR1溢出
					1	ANOF	KWHAN溢出
					0	APOF	KWHAP溢出
PHASE_B_ IPK	504	电流峰值	RO	—	15:0		—
PHASE_B_ VPK	506	电压峰值	RO	—	15:0		—
RESERVED	508–641	—	—	—	—	—	—
PHASE_B_ IRMS	642	原始RMS电流	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_B_ VRMS	646	原始RMS电压	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_B_ IH	650	原始安时数	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{14} \times \text{NS}$
PHASE_B_ ACT	654	原始有功电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_B_ REA	658	原始无功电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_B_ APP	662	原始视在电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
RESERVED	666–703	—	—	—	—	—	—
PHASE_C_ KWHAP	704	有功电能(正)	RO	—	15:0		正有功电能累计值, 单位由 KWHT设置
PHASE_C_ KWHAN	706	有功电能(负)	RO	—	15:0		负有功电能累计值, 单位由 KWHT设置

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_C_ KWHR1	708	Q1无功电能	RO	—	15:0		第1象限无功电能累计值， 单位由KWHT设置
PHASE_C_ KWHR2	710	Q2无功电能	RO	—	15:0		第2象限无功电能累计值， 单位由KWHT设置
PHASE_C_ KWHR3	712	Q3无功电能	RO	—	15:0		第3象限无功电能累计值， 单位由KWHT设置
PHASE_C_ KWHR4	714	Q4无功电能	RO	—	15:0		第4象限无功电能累计值， 单位由KWHT设置
PHASE_C_ KWHAP	716	视在电能	RO	—	15:0		视在电能累计值，单位由 KWHT设置
PHASE_C_ KWHIH	718	安培-小时	RO	—	15:0		安时数累计值，单位由 KAHT设置
PHASE_C_ I_GAIN	720	电流增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正 I_{RMS} ： $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_C_ V_GAIN	722	电压增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正 V_{RMS} ： $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_C_ E_GAIN_HI	724	功率和电能 增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正pwr： $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_C_ EOFF_HI	726	线性系数： 宽范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正电能： $Y = X - \text{Eoff_hi}$
PHASE_C_ E_GAIN_LO	728	线性系数： 小范围电能增益	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正pwr： $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
PHASE_C_ EOFF_LO	730	线性系数： 小范围电能失调	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码， 用于修正pwr： $Y = X - \text{Eoff_lo}$

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_C_PA_0	732	相角系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码 $Y = PA_0 + (PA_1 \times X) + (PA_2 \times X^2) + (PA_3 \times X^3)$
PHASE_C_PA_1	734	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_C_PA_2	736	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_C_PA_3	738	相角系数	R/W	0x0000	15:0		
PHASE_C_FLAGS	740	中断标志	R/W	0x0000	15:13, 7:5	—	保留
					12:8		分别对应于4:0的屏蔽(使能)位
					4	MISVF	电压丢失标志
					3	NOZCF	无过零标志
					2	VSAGF	电压跌落标志
					1	OVF	过压标志
					0	OCF	过流标志
PHASE_C_EOVFL	742	电能溢出标志	R/W	0x0000	7	IHOF	KWHIH溢出
					6	APOF	KWHAP溢出
					5	R4OF	KWHR4溢出
					4	R3OF	KWHR3溢出
					3	R2OF	KWHR2溢出
					2	R1OF	KWHR1溢出
					1	ANOF	KWHAN溢出
					0	APOF	KWHAP溢出
PHASE_C_IPK	744	电流峰值	RO	—	15:0		—
PHASE_C_VPK	746	电压峰值	RO	—	15:0		—
RESERVED	748–881	—	—	—	—	—	—
PHASE_C_IRMS	882	原始RMS电流	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_C_VRMS	886	原始RMS电压	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
PHASE_C_IH	890	原始安时数	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{14} \times \text{NS}$

低功耗、多功能、多相AFE

表4. RAM寄存器总结(续)

名称	地址 (字节)	说明	R/W	默认值 (十六进制)	位	名称	说明
PHASE_C_ ACT	894	原始有功电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_C_ REA	898	原始无功电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
PHASE_C_ APP	902	原始视在电能	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{18} \times \text{NS}$
保留	906–943	—	—	—	—	—	—
NEUTRAL_ KWHIH	944	安培-小时	RO	—	15:0		安时数累计值，单位由KAHT设置
NEUTRAL_I _GAIN	946	电流增益系数	R/W	0x0000	15:0		带符号的二进制补码，用于修正 I_{RMS} : $Y = X \times (1 + \text{增益}/2^{16})$
NEUTRAL_ EOVFL	948	电能溢出标志	R/W	0x0000	0	IHOF	KWHIH溢出
保留	950–995	—	—	—	—	—	—
NEUTRAL_ IRMS	996	原始RMS电流	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = 2^{30}
NEUTRAL_ IH	1000	原始安时数	RO	—	31:0		每个最近的电网周期 满量程 = $2^{14} \times \text{NS}$
保留	1004–1023	—	—	—	—	—	—

虚拟寄存器

有些寄存器值并没有存储在RAM中，而是在需要时根据主机的请求计算得出。这些寄存器含有功率(kW)、电压

(V)和电流(A)值，由主机通过表5列出的虚拟寄存器来进行读取。所有虚拟寄存器地址的最高有效位(第11位)都置为1。所有虚拟寄存器为只读。

表5. 虚拟寄存器

名称	地址	说明	数据长度 (字节)
PWRP.A	0x801	A相有功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRP.B	0x802	B相有功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRP.C	0x804	C相有功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRP.T	0x807	A + B + C相总有功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRQ.A	0x811	A相无功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRQ.B	0x812	B相无功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRQ.C	0x814	C相无功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRQ.T	0x817	A + B + C相总无功功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRS.A	0x821	A相视在功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRS.B	0x822	B相视在功率，单位定义由PWR_FS设置。	4

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表5. 虚拟寄存器(续)

名称	地址	说明	数据长度 (字节)
PWRS.C	0x824	C相视在功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
PWRS.T	0x827	A + B + C相总视在功率，单位定义由PWR_FS设置。	4
V.A	0x831	A相RMS电压，单位定义由VOLT_FS设置。	4
V.B	0x832	B相RMS电压，单位定义由VOLT_FS设置。	4
V.C	0x834	C相RMS电压，单位定义由VOLT_FS设置。	4
I.A	0x841	A相RMS电流，单位定义由AMP_FS设置。	4
I.B	0x842	B相RMS电流，单位定义由AMP_FS设置。	4
I.C	0x844	C相RMS电流，单位定义由AMP_FS设置。	4
LINEFREQ	0x851	电网频率；LSB = 0.001Hz。	4
VBPH	0x852	B相电压相对于A相电压的延时；LSB = 0.01°。	4
VCPH	0x854	C相电压相对于A相电压的延时；LSB = 0.01°。	4
PF.A	0x861	A相功率因数；二进制补码，LSB = 0.00001。	4
PF.B	0x862	B相功率因数；二进制补码，LSB = 0.00001。	4
PF.C	0x864	C相功率因数；二进制补码，LSB = 0.00001。	4
PF.T	0x867	A + B + C相功率因数；二进制补码，LSB = 0.00001。	4

表6. 含特殊命令的虚拟寄存器

名称	地址	说明	数据长度 (字节)
UPD_SFR	0x900	将镜像寄存器(R_ADCF、R_ADCRATE、R_ADCACQ、R_SPICF)的内容复制到硬件SFR寄存器，读取假数据。	1
UPD_MIR	0xA00	将硬件SFR寄存器的内容复制到镜像寄存器(R_ADCF、R_ADCRATE、R_ADCACQ、R_SPICF)，读取假数据。	1

特殊命令

有些虚拟寄存器被主机读取时触发特殊命令(表6)。对这些寄存器进行写操作无效。读取这些寄存器时返回假数据。

模拟前端处理

当MAXQ3180处于有效工作模式之一(运行模式或者LPMM模式)时，模拟前端连续工作，根据所选的前端配置来扫描8个扫描时隙。在已使能的每一模拟扫描时隙中，测量8个差分输入对之一。

SCAN_0至SCAN_7寄存器含有每一时隙的设置，包括该时隙是否被使能，扫描时隙期间要测量的差分输入对，

以及该时隙的逻辑映射等。一个典型的配置可以是：

- 时隙0—A相电流(IA)
- 时隙1—A相电压(VA)
- 时隙2—C相电流(IC)
- 时隙3—C相电压(VC)
- 时隙4—B相电流(IB)
- 时隙5—B相电压(VB)
- 时隙6—零线电流(IN)—默认为禁止
- 时隙7—温度测量—一般情况下禁止，当TMPC0或者TMPC1置位时被使能

低功耗、多功能、多相AFE

表7. 模拟扫描时隙时间选择

ADCCD1	ADCCD0	ADC时钟分频比	模拟扫描时隙(tc)
0	0	除1 (默认值)	$1/f_{CLK} \times (R_ADCRATE[8:0] + 1)$
0	1	除2	$2/f_{CLK} \times (R_ADCRATE[8:0] + 1)$
1	0	除4	$4/f_{CLK} \times (R_ADCRATE[8:0] + 1)$

注意，模拟扫描时隙7被保留为温度测量。不需要明确地使能这一测量时隙，因为当主机置位TMPC0 (单温度测量命令)或者TMPC1 (双温度测量命令)位时，它会自动使能。每一模拟扫描时隙测量所需要的时间(tc)由MAXQ3180系统时钟频率、R_ACFG硬件寄存器中的ADC时钟分频位(ADCCD0和ADCCD1)设置以及R_ADCRATE硬件寄存器的设置决定，如表7所示。

使用默认的寄存器设置(ADCCD[1:0] = 00b和ADCRATE = C7h = 199d)，当MAXQ3180运行在8MHz时，每一模拟时隙测量时间(tc)为25µs。由于在测量帧中有8个模拟扫描时隙，总测量时间(tf)为tc x 8。MAXQ3180运行在8MHz时，利用默认设置，整个测量过程需要200µs才能完成，例如，在A相一次电流测量和下一次电流测量之间会有200µs的时间。

即使通过设置时隙SCAN_x寄存器的NOCONV位为1，跳过某些模拟测量时隙(例如零线电流或者温度测量)，在帧中仍然保留该时隙的时间周期，不论哪个时隙被使能或者禁止，都保证帧的总时间为tc x 8。

数字处理

采集了电压和电流采样后，MAXQ3180进行相应的数字滤波、累加和处理计算，得到测量读数(例如电网频率、RMS电压和电流、有功和无功功率等)，然后由主机读取这些数值。MAXQ3180计算并探测的数值和状态有：

- 过零检测
- 电网频率和周期计算
- RMS电压(A相、B相、C相)
- RMS电流(A相、B相、C相、零线电流)

- 每一相位的功率(有功、无功和视在功率)
- 能量累加(包括能量脉冲输出功能)
- 峰值电压(A相、B相、C相)
- 峰值电流(A相、B相、C相)
- 电压跌落状态
- 篡改状态探测

电压过零检测

MAXQ3180监视三路电压输入信号的每一路(来自A相、B相和C相)，分别探测每一路的过零事件。利用探测到的过零顺序以及间隔来计算其他数据。

在进行过零检测之前，三路电压输入的每一路(VA、VB和VC)首先通过一个一阶低通滤波器(LPF)，以减小可能误触发过零事件的谐波，该滤波器的截止频率约为50Hz。主机通过配置寄存器LPF_B0FZC来设置这一LPF。过零LPF公式如下(对于所有的三路电压相位输入)：

$$Y_n = Y_p + (X_n - Y_p) \times LPF_B0FZC/2^{16}$$

虽然滤波后的波形输出并不是完美的正弦波，但是LPF保证了输出中每一电网周期不会超过一个上穿过零。在LPF滤波器处理级之后，MAXQ3180扫描电压信号，探测每一电压相位的上穿过零事件。

电网频率和周期测量

对于每一A、B和C相，MAXQ3180计数两个连续过零之间的扫描帧数量(NS)。NS是全局量，适用于所有三个相位，它位于地址0x08C的RAM中。每一A、B和C相过零事件都对原始NS计数有影响，这些计数可作为LPF输入。

低功耗、多功能、多相AFE

$$Y_n = Y_{n-1} + (\text{lpf_b0fns}/65,536) \times (X_n - Y_{n-1})$$

滤波器系数(lpf_b0fns)是有符号16位数值，由主机对其进行配置。在上面的公式中，Y表示全局NS值，X表示在A、B或者C相电压通道上探测到的过零事件所产生的每一NS测量值。注意，如果所有三路相电压都出现，上面的滤波器在每一电网周期会接收三路输入。全局NS值被用于产生电网周期触发的DSP处理。注意，如果所有三路电压信号都丢失，没有探测到过零，那么由主机来配置NS值。NS和扫描时隙周期 t_C (存储在时序校准寄存器TIME_FS中)相乘来计算电网周期。该值取倒数为电网频率，读取虚拟寄存器LINEFREQ，可以得到以1 LSB = 0.001Hz定值点值表示的该值。

无过零检测

MAXQ3180监视每一相电压信号的过零事件。如果在一定数量的模拟扫描帧周期中没有探测到上穿过零，MAXQ3180置位NOZC (STATUS1.11)标志，提醒主机出现这一状态。如果中断使能位INT_MASK.11被置为1，当NOZC=1时，MAXQ3180将中断信号 $\overline{\text{IRQ}}$ 驱动为低电平。主机可以将NOZC清回零，去掉中断状态。

相序错误

当所有三个相上都出现过零，但是并没有按照预期的顺序出现时，则发生相序错误。一般情况下，过零事件应发生在A相电压信号上，然后是B相、C相，再回到A相。如果A相过零之后马上为C相过零(而不是预期的B相)，那么，MAXQ3180将其记录为一次相序错误。

当相序错误出现时，MAXQ3180将相序错误标志SEQERR (STATUS1.15)置为1。如果相应的中断使能位(INT_MASK.15)也被置为1，SEQERR = 1时，MAXQ3180将中断信号 $\overline{\text{IRQ}}$ 驱动为低电平。主机可以将SEQERR清回零，去掉中断状态。

RMS电压、RMS电流和能量计算

对于三相中的每一个，MAXQ3180利用基于电网周期的积分处理来计算RMS电压和RMS电流值，确定有功和无功能量。

功率计算(有功、无功、视在)

功率、能量和RMS计算过程包括两个任务：每一CYCNT电网周期触发的连续累加和后处理。累加任务累加在CYCNT电网周期中AFE获得的原始数据。MAXQ3180在后台连续执行该任务。当完成一个CYCNT电网周期累加阶段(由专用帧计数器决定，超过CYCNT x NS时完成一个累加阶段)时，存储原始积分累加器数值，以便进行后处理和清除，开始下一周期的累加任务。然后，触发DSP后处理，处理保存的积分值，计算能量和功率等数值。注意，在进行后台累加任务的同时也在进行前台后处理，共享CPU时间来同时执行两个任务。DSP后处理计算应在下一DSP触发之前完成，以避免丢失累加数据。主机通过调整R_ADCRATE寄存器来实现足够的处理时间。默认设置为两个任务提供了足够的CPU时间。

MAXQ3180分别针对每一电压电流对来累加原始和，计算电网周期积分。每一功率累加器为：

- $P1 = (V_A \times I_A)$
- $P2 = (V_B \times I_B)$ 或者 $-I_B \times (V_A + V_C)$ 或者 $-I_B \times V_A$
- $P3 = (V_C \times I_C)$

P1和P3累加器总是工作在单一模式：P1累加器为($V_A \times I_A$)，P3累加器为($V_C \times I_C$)。而P2累加器的工作模式通过设置CONNCT寄存器中的第0位和第1位来定义，如表8所示。

表8. P2功率累加器模式

CONNCT[1:0]	P2工作模式	线配置
00b	($V_B \times I_B$)	5S/13S 3线Δ连接 9S/16S 4线Y连接
01b	$-I_B \times (V_A + V_C)$	6S/14S 4线Y连接
10b, 11b	$-I_B \times V_A$	8S/15S 4线Δ连接

如果CONNCT位被设置为01b，那么采用全通滤波器来计算P2 (B相)输入电压采样，如下所示：

$$(V_A + V_C)_n = (AVCO/2^{16})(V_{Cn} + V_{An-1}) + (AVC1/2^{16})(V_{Cn-1} + V_{An})$$

低功耗、多功能、多相AFE

高通滤波器(HPF)

采用了简单的一阶高通滤波器(HPF)。滤波器公式为：

$$Y_n = (1 - \text{hpf_b0f}/2^{16}) \times (Y_{n-1} + X_n - X_{n-1})$$

滤波器系数(hpf_b0f)是有符号16位值，由主机进行配置。

积分器

通过设置CONNCT寄存器中的INTGA、INTGB、INTGC和INTGN配置位，每一相电流(IA、IB、IC)和零线电流(IN)可分别使用数字积分器模块。使能后，数字积分器模块计算输入电流信号的积分(即，采样信号的和)，然后，将积分值送入到处理通道，替代电流采样。这一求和数值会产生直流失调，必须由另外的HPF级才能消除。下面的公式是HPF和积分器共同作用的结果：

$$Y_n = (1 - \text{hpf_b0f}/2^{16}) \times (Y_{n-1} + X_n)$$

其中，hpf_b0f与单独HPF级使用同一系数。积分器将累加幅度提高了大约(NS/2 π)，其中，NS是每一电网周期的采样数(50Hz信号和200 μ s采样率的因子大约为16)。MAXQ3180积分器输出按比例缩小，比例因子为16。

HPF采用了数字积分器之后，在电流通道中引入了相移。为补偿这一相移，当使能了电流积分器时，电压处理通道自动采用第二个HPF级。

基波和谐波模式

功率计算引擎采用以下三种模式之一进行工作：全波、基波和谐波模式。由HRM配置位选择工作模式。

- HRM = 00b——全波模式。既不采用带通也不采用带阻滤波器。
- HRM = 01b——基波模式。电压通道信号通过带通滤波器(BPF)。BPF中心为基频，因此，只测量基波功率。
- HRM = 10b——谐波模式。电压通道信号通过带阻滤波器(BSF)。BSF中心为基频，因此，去掉了基波功率，只测量谐波功率。

BPF和BSF两个滤波器都是二阶滤波器，使用同一组系数。滤波器公式为：

BPF:

$$Y_n = 2Y_{n-1} - Y_{n-2} + (\text{bpf_b0f}/2^{20}) \times (2Y_{n-2} + X_n - X_{n-2}) - (\text{bpf_a1f}/2^{20}) \times Y_{n-1}$$

BSF:

$$Y_n = 2Y_{n-1} - Y_{n-2} + X_n - 2X_{n-1} - X_{n-2} + (\text{bpf_b0f}/2^{20}) \times (2Y_{n-2} - X_n - X_{n-2}) + (\text{bpf_a1f}/2^{20}) \times (X_{n-1} - Y_{n-1})$$

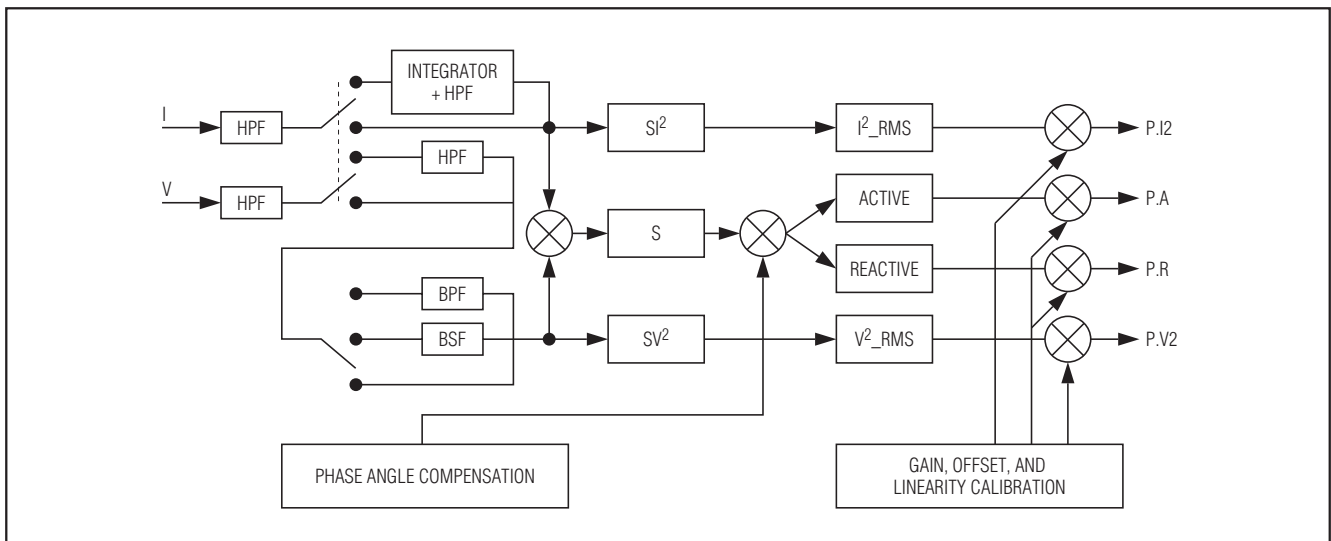


图8. DSP流程

低功耗、多功能、多相AFE

线性校正

MAXQ3180根据输入电流信号电平处于高电平还是低电平范围内，对有功、无功和视在能量进行线性补偿。如果模拟输入引脚上的电压大于48mV_{P-P}，则认为信号在高电平范围内；否则，认为信号在低电平范围内。对于高电平范围，对视在功率值进行失调校正：

$$Pwr_S_corr = Pwr_S - Eoff_hi \times K$$

对于低电平范围，对视在功率值进行失调和增益校正：

$$Pwr_S_corr = (1 + Gain_lo/2^{16}) \times (Pwr_S - Eoff_lo \times K)$$

因子K用于计算可能的电压和电网频率变化：

$$K = [NS/2^{16}] \times [VRMS/2^{16}]/2^{16}$$

每一相分别采用了不同的线性补偿系数(Eoff_hi、Eoff_lo、Gain_lo)。默认初始化时，装入这些系数的初始值；如果需要，主机可以覆写系数。

一旦视在功率计算正确，MAXQ3180对有功和无功功率进行相应的校准，对所有的功率采样应用同样的功率增益：

$$Pwr_A_corr = (1 + E_gain/2^{16}) \times Pwr_A \times Pwr_S_corr/Pwr_S,$$

$$Pwr_R_corr = (1 + E_gain/2^{16}) \times Pwr_R \times Pwr_S_corr/Pwr_S,$$

$$Pwr_S_corr = (1 + E_gain/2^{16}) \times Pwr_S_corr$$

MAXQ3180的典型校准过程一节对校准过程进行了讨论。

能量累加启动延时

在累加正确的能量读数之前，所有滤波器都有一定的建立时间。为避免滤波器在建立期间出现无效数据累加，在ACC_TIMO寄存器中设置能量累加超时周期。结合累加使能(ACC_EN)位，这样可以控制预累加延时。复位后，ACC_EN = 0，没有能量累加。在ACC_TIMO扫描间隙之后，MAXQ3180设置ACC_EN = 1，开始能量累加。

空载特性

为避免电表潜动，当计算的视在功率小于某一门限时，不应进行能量累加。可以设置NOLOAD寄存器，使能并配置这一特性。如果某一相(A、B或者C)测得的E_{VA}值

滤波器系数(bpf_b0f和bpf_alf)是带符号16位数值，由主机进行配置。默认情况下，在所有其他参数被设置为默认值时，它们调谐到50Hz频率。主机应周期性地更新滤波器系数，以跟踪实际的电网频率，电网频率有可能偏离预设值。通常只更新一个系数(bpf_alf)就足以略微改变滤波器的峰值频率。

BPF的相同的机制可以用于测量每一次谐波。设置BPF系数值，使电压通道只通过N次谐波。然后，V_{RMS}输出产生N次谐波电压，功率输出产生N次谐波功率。主机计算电流I_{RMS}，I_{RMS} = 功率/V_{RMS}。

相角补偿

相角补偿需要两个系数——相角PA的正弦和余弦。使用3阶曲线拟合，根据原始RMS电流对数值来计算相位补偿角PA：

$$PA \times 2^{16} = PA_0 + (PA_1 \times X) + (PA_2 \times X^2) + (PA_3 \times X^3)$$

其中，

$$X = \frac{([(2^{12}) \times \ln(I_{RMS}/2^{16})] - \ln_off)}{2^{16}}$$

方括号[]表示取整，ln_off由硬件设置为6100h。

一般在校准过程中获得曲线拟合系数，初始化时将其装入到RAM寄存器。一旦计算了相角PA，MAXQ3180计算SIN(PA)和COS(PA)，进行有功和无功能量的相位补偿。默认情况下，所有曲线拟合系数为零：PA₀ = PA₁ = PA₂ = PA₃ = 0。MAXQ3180的典型校准过程一节对校准过程进行了讨论。

视在功率

然后计算视在功率。利用APPSEL (OPMODE.3)位可以选择所使用的方法。如果APPSEL = 0 (默认模式)，那么

$$Pwr_S = \sqrt{Pwr_A^2 + Pwr_R^2}$$

如果APPSEL = 1，那么

$$Pwr_S = VRMS \times IRMS \times NS,$$

通过移位来比例缩放，以产生和平方根方法相同的幅度(APPSEL = 0)。

低功耗、多功能、多相AFE

低于NOLOAD门限，不递增该相的能量累加器。设置NOLOAD = 0，禁止该特性。

能量脉冲输出

两个脉冲输出引脚CFP和CFQ有相应的累加器PLS1、PLS2和可配置门限THR1、THR2。当脉冲累加器超过门限电平(即，PLS1 > THR1)时，MAXQ3180在输出引脚上送出一个脉冲，然后，从PLS1 = PLS1 - THR1开始继续进行累加。

可以配置每一脉冲输出累加器，以包括作为独立项的能量累加器E1、E2或者E3 (一般对应于A、B、C相)，设置PLSCFG寄存器以输出不同的数量：

$$PLSCFG = (qqqqqmmm\ pppppnnn)_{\text{二进制}}$$

[2:0] (nnn)位和[10:8] (mmm)位指定脉冲输出中含有哪些相。
[7:3] (ppppp)位指定脉冲1输出数量；[15:11] (qqqqq)位指定脉冲2输出数量。

PLS1和PLS2累加器都只累加所选数量的绝对值。如果所选的脉冲输出数量符号变化了，PLS1或者PLS2累加器被清除，开始重新累加。

如果PLS1输入在REV_TIMO连续电网周期中保持负值，在STATUS2寄存器中置位REV_P(逆功率)位；REV_TIMO连续电网周期中PLS1输入保持正值时，该位被清除。此外，当方向位REV_P改变其状态时，方向变化DCH_P状态位被置位。DCH_P位在使能后(未被屏蔽)，会导致向主机发起中断请求。

同样的，如果PLS2输入在REV_TIMO连续电网周期中保持负值，在STATUS2寄存器中置位REV_Q位；REV_TIMO连续电网周期中PLS2输入保持正值时，该位被清除。此外，当方向位REV_Q改变其状态时，DCH_Q状态位被置位。DCH_Q位在使能后(未被屏蔽)，会导致向主机发起中断请求。

表9. 脉冲输出配置

nnn位	包含PLS1	mmm位	包含PLS2
000	0	000	0
001	E1	001	E1
010	E2	010	E2
011	E1 + E2	011	E1 + E2
100	E3	100	E3
101	E1 + E3	101	E1 + E3
110	E2 + E3	110	E2 + E3
111	E1 + E2 + E3	111	E1 + E2 + E3

表10. 脉冲输出数量选择

ppppp或qqqqq	累加值	说明
00000	AP - AN	实际有功电能(可能为负值)
00001	AP + AN	有功电能绝对值
00010	R1 + R2 - R3 - R4	实际无功电能(可能为负值)
00011	R1 + R2 + R3 + R4	无功电能绝对值
00100	VA	视在电能
00101	IH	安培-小时
00110	IRMS	IRMS (用于校准)
00111	VRMS	VRMS (用于校准)
01000	AP	有功电能(正)
01001	AN	有功电能(负)

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表 10. 脉冲输出数量选择(续)

ppppp或qqqqq	累加值	说明
01010	R1	第1象限无功电能
01011	R2	第2象限无功电能
01100	R3	第3象限无功电能
01101	R4	第4象限无功电能
01110	R1 + R3	感性电能绝对值
01111	R2 + R4	容性电能绝对值
其它	保留	—

峰值电压和电流检测

MAXQ3180记录A相、B相和C相的峰值电流和电压电平，过程如下。对于每一相，在固定数量累加周期内的电流和电压RMS峰值被存储在IPK和VPK寄存器中。IPK和VPK中存储的数值只代表原始RMS寄存器中的16个最高有效位，即，31:16位。PKCYC寄存器指定了累加周期数量。图9所示为峰值电流探测的时序；峰值电压探测采用了相同的工作方式。

过压和过流检测

MAXQ3180检测过压和过流事件，当这些事件出现时，向主机发出中断请求信号。过压电平可以设置到OVLVL寄存器中，而过流电平由OCLVL寄存器确定。OVLVL和OCLVL寄存器都表示VRMS或者IRMS寄存器的16个最高有效位。MAXQ3180一旦探测到RMS值超过了门限，OV或者OC中断标志被置位。被使能后，这些中断标志都可以发出中断请求。所有中断标志都是“粘性”位——MAXQ3180

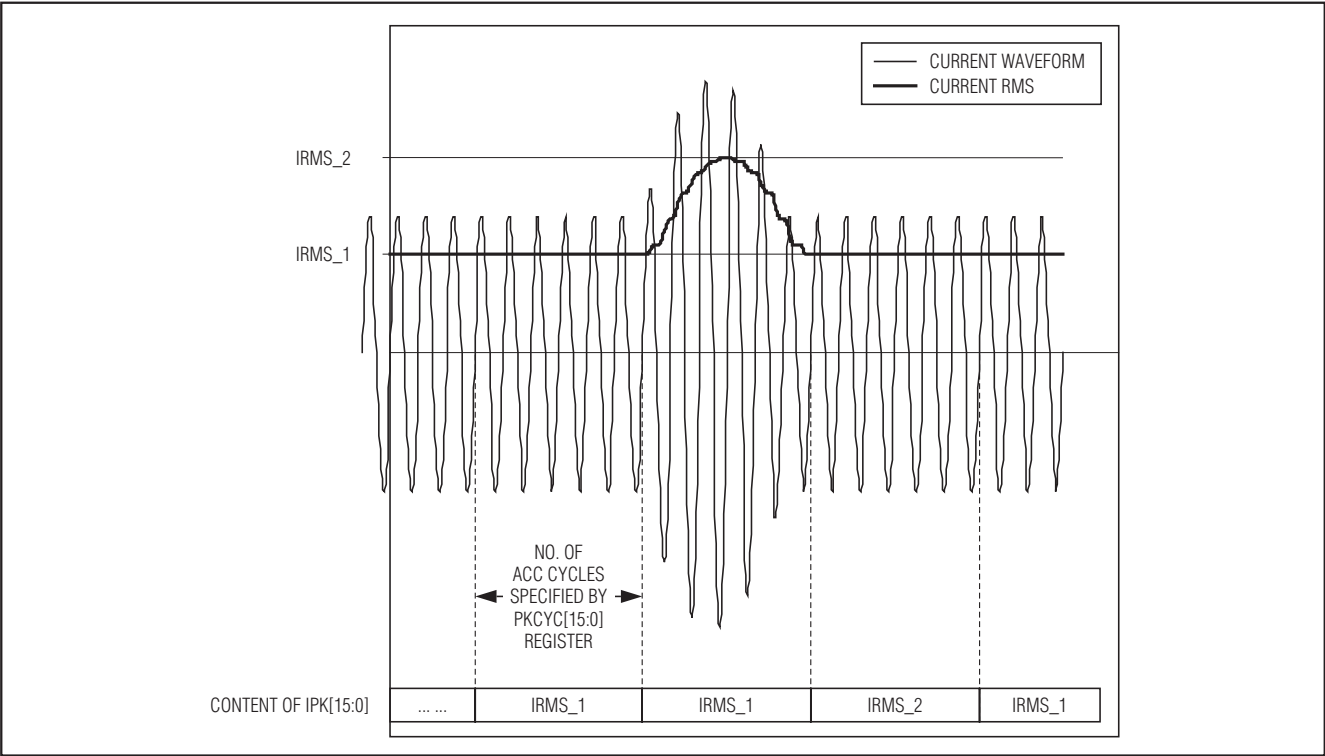


图9. 峰值电流探测时序

低功耗、多功能、多相AFE

无法清除它们，除非进行复位。主机写入相应的寄存器来清除中断标志。

配置位OVEN和OCEN可单独使能或者禁止监视每一相的过压和过流事件。

电压跌落检测

MAXQ3180检测电压跌落事件，当这些事件发生时，向主机发出中断请求信号。通过设置SAGLVL寄存器来确定跌落电平门限。SAGLVL寄存器代表了原始VRMS寄存器的16个最高有效位。如果RMS电压值在SAGCYC寄存器指定的电网周期数内一直低于SAGLVL门限，则检测到电压跌落事件。在A、B或者C相上分别检测到电压跌落时，标志SAGA、SAGB和SAGC被置位。在使能后，被置为1时，这些标志都可以发出中断请求。

篡改状态检测

MAXQ3180能够检测并报告以下篡改状态：

- **相线丢失。**如果相电压波形的幅度低于满幅的10%或者没有过零，即，整个波形高于或者低于零，则MAXQ3180探测到可能丢失状态。对于A、B或者C相，FLAGS状态寄存器中的MISVF位被置位，报告相线丢失状态。

同样的，STATUS1寄存器中的MISV标志位被置位，并且使能后，将导致出现中断请求信号。

- **电压不平衡。**如果所有三相电压信号之和(即，VA + VB + VC)大于VUBLVL/2，则MAXQ3180探测到电压不平衡状态。VUBLVL寄存器代表原始VRMS寄存器的16个最高有效位。STATUS1寄存器中的VUNBF标志被置位，报告出现电压不平衡。使能后，这将导致出现中断请求信号。
- **电流不平衡。**如果电流信号之和IA + IB + IC大于IUBLVL/2，则MAXQ3180探测到电流不平衡状态。IUBLVL寄存器代表原始IRMS寄存器的16个最高有效位。STATUS1寄存器IUNBF标志被置位，报告出现电流不平衡。

计量单位到实际单位的转换

包括各种门限检查在内的所有能量计算都是在内部以计量单位按照固定的格式来进行。因此，用户也应该以计量单位来提供门限。这一节说明怎样将实际单位(V、A、kWh等)转换为计量单位及其逆转换。

转换因子基于由用户设计所定义的表11的设置。

根据表11的基本参数来定义计量单位，如表12所示。

表11. 计量到实际单位的转换

名称	说明	默认值
tFR	模拟扫描帧定时，该参数由R_ADCRATE设置和系统时钟频率fSYS决定： $t_{FR} = (R_ADCRATE + 1) \times 8/f_{SYS}$ 默认条件下，R_ADCRATE = 199，fSYS = 8MHz。	200μs/帧
NS	每电网周期的帧数，该参数由电网频率标称值fLINE和帧定时tFR决定： $NS = 1/(t_{FR} \times f_{LINE})$ 默认条件下，tFR = 200μs，fLINE = 50Hz。	100帧/电网周期
VFS	满量程电压，它是产生满量程ADC输出2048 LSB (正)或-2048 LSB (负)对应的输入电压，12位分辨率。该参数由硬件电压传感器转换比VTR和ADC满量程输入电压VFSADC决定： $VFS = V_{FSADC} \times V_{TR}$ 默认条件下，VFSADC = 1V，VTR = 545V/V (用于参考计量设计)。	545V
IFS	满量程电流，它是产生满量程ADC输出2048 LSB (正)或-2048 LSB (负)对应的输入电流，12位分辨率。该参数由硬件电流传感器转换比ITR和ADC满量程输入电压VFSADC决定： $IFS = V_{FSADC} \times I_{TR}$ 默认条件下，VFSADC = 1V，ITR = 100A/V (用于参考计量设计)。	100A

低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

表12. 计量单位定义

寄存器或累加器	RAM地址 (字节)	字长和格式	计量单位 (1 LSB)	默认计量单位 (1 LSB)	默认最大电平或 累加器容量
原始IRMS采样值	402, 642, 882, 996	32位无符号	$IFS/2^{30}$	93.13nA	400A
原始VRMS采样值	406, 646, 886	32位无符号	$VFS/2^{30}$	0.5076μV	2180V
原始IH采样值	410, 650, 890, 1000	32位无符号	$IFS \times t_{FR}/2^{14}$	0.3391nAh	1.456Ah
原始有功、无功、视在电能采样值	414, 418, 422, 654, 658, 662, 894, 898, 902	32位有符号 (有功、无功), 无符号(视在)	$IFS \times VFS \times t_{FR}/2^{18}$	11.55nWh	49.61Wh无符号 24.80Wh有符号
原始有功、无功、视在功率采样值	414, 418, 422, 654, 658, 662, 894, 898, 902	32位有符号 (有功、无功), 无符号(视在)	$IFS \times VFS/(NS \times 2^{18})$	2.079mW	8.929MW无符号 4.465MW有符号
隐藏电能累加器	系统	32位无符号	$IFS \times VFS \times t_{FR}/2^{18}$	11.55nWh	49.61Wh
隐藏Ah累加器	系统	32位无符号	$IFS \times t_{FR}/2^{14}$	0.3391nAh	1.456Ah
KWHT	40	32位无符号	$IFS \times VFS \times t_{FR}/2^{18}$	11.55nWh	49.61Wh
KAHT	44	32位无符号	$IFS \times t_{FR}/2^{14}$	0.3391nAh	1.456Ah
THR1、THR2 (脉冲输出电能时)	52, 56	32位无符号	$IFS \times VFS \times t_{FR}/2^{18}$	11.55nWh	49.61Wh
THR1、THR2 (脉冲输出Ah时)	52, 56	32位无符号	$IFS \times t_{FR}/2^{14}$	0.3391nAh	1.456Ah
THR1、THR2 (脉冲输出I _{RMS} 时)	52, 56	32位无符号	$IFS/2^{30}$	93.13nA	400A
THR1、THR2 (脉冲输出V _{RMS} 时)	52, 56	32位无符号	$VFS/2^{30}$	0.5076μV	2180V
IPK	264, 504, 744	16位无符号	$IFS/2^{14}$	6.104mA	400A
VPK	266, 506, 746	16位无符号	$VFS/2^{14}$	33.26mV	2180V
OCLVL	112	16位无符号	$IFS/2^{14}$	6.104mA	400A
OVLVL	114	16位无符号	$VFS/2^{14}$	33.26mV	2180V
SAGLVL	116	16位无符号	$VFS/2^{14}$	33.26mV	2180V
IUBLVL	118	16位无符号	$IFS/2^{14}$	6.104mA	400A
VUBLVL	120	16位无符号	$VFS/2^{14}$	33.26mV	2180V
NZC_TIMO	122	16位无符号	t_{FR}	200μs	13.12s
REV_TIMO	124	16位无符号	$t_{FR} \times NS$	0.02s	21.85分钟
ACC_TIMO	126	16位无符号	$t_{FR} \times NS$	0.02s	21.85分钟
COM_TIMO	128	16位无符号	t_{FR}	200μs	13.12s
NOLOAD	138	16位有符号	每电网周期 $IFS \times VFS \times t_{FR}/2^{18}$ 或 $IFS \times VFS/(NS \times 2^{18})$	每电网周期11.55nWh 或2.079mW	每电网周期0.3785mWh 或136.25W

低功耗、多功能、多相AFE

表 13. 虚拟寄存器系数

虚拟寄存器	输入分辨率 (以计量单位表示, 1 LSB)	输出分辨率 (1 LSB), 由用户定义	系数	默认输出分辨率 (1 LSB)	默认系数
功率 0x 801-827	$E_{res} = IFS \times VFS/2^{18}$	P_{res}	$PWR_FS = 2^{16} \times E_{res}/P_{res}$	1W	$PWR_FS = 0x3539$
电压 0x 831-834	$V_{rms_res} = VFS/2^{30}$	V_{res}	$VOLT_FS = 2^{16} \times V_{res}/V_{rms_res}$	1μV	$VOLT_FS = 0x81F0$
电流 0x 831-834	$I_{rms_res} = IFS/2^{30}$	I_{res}	$AMP_FS = 2^{16} \times I_{res}/I_{rms_res}$	1μA	$AMP_FS = 0x17D8$

读取虚拟寄存器时，MAXQ3180使用可配置系数TIME_FS、VOLT_FS、AMP_FS和PWR_FS来返回有意义的数。然而，用户必须首先配置这些系数。表13说明了怎样设置这些系数。

温度测量

只有在主机发出命令后，MAXQ3180才测量管芯温度。要启动温度测量，主机必须写入OPMODE寄存器的TMPC[1:0]位。当TMPC0被置为1时，MAXQ3180使偏置电流1μA和16μA流过一个二极管堆，进行一次温度转换，将结果放到RAW_TEMP寄存器中，自动将TMPC0位清为0。当TMPC1被写入1时，MAXQ3180进行两次连续的温度转换。第一次转换和前面描述的相同，采用了1μA和16μA偏置电流，第二次转换使用16μA和1μA偏置电流。两次测量的均值放在RAW_TEMP寄存器中，然后，清除两个TMPC位。两次测量消除了一次测量可能存在的偶然偏差，从而提高了精度。RAW_TEMP寄存器返回和绝对温度成正比的原始ADC采样值。主机应根据需要转换为实用的单位(F、°C或者K)。完成后，MAXQ3180置位STATUS1寄存器中的温度准备好标志TMRD。使能后，该标志向主机发出中断请求信号。然后，主机读取TEMP寄存器，清除TMRD状态标志。

MAXQ3180的典型校准过程

MAXQ3180应该在用户的工厂中进行校准，由微控制器主机将校准常数存储在非易失存储器中。复位或者断电时，微控制器主机必须将校准常数重新装入到MAXQ3180中。

校准程序包括三个过程，A、B和C相各一个。每一过程对一相采用相同的校准程序，包括以下项目：

- 电流增益校准
- 电压增益校准
- 功率增益校准
- 功率线性度校准
- 相位角度校准

对于每一个项目，电表的输入都需要一个或者多个信号，然后是待测的输出。然后，计算并验证校准系数，装入到MAXQ3180的RAM寄存器中。可以采用任意顺序来进行功率线性度校准和相位角度校准。

电流增益校准

在进行电流增益校准时，应采用220V的三相电压。只在要校准的相上加上最大幅度的电流信号(I_{MAX})。从MAXQ3180

低功耗、多功能、多相AFE

功率增益校准

进行功率增益校准时，必须采用220V的三相电压。只在校准的相上加上最大幅度的电流信号(I_{MAX})。电流正弦波应该和相应的电压正弦波同相，即功率因数为1。其他电流输入应为零。

- 1) 将要校准的 E_{gain} 系数清为0x0000。
- 2) 测量电表的功率输出。有两种方式来实现这一点：
 - (a) 从MAXQ3180读取原始RAM寄存器，或者，(b) 测量脉冲输出误差。以下过程取决于测量功率输出所采用的方式。
 - a) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始视在能量。
 - b) 一般通过测试设备来测量脉冲输出误差。在测量脉冲输出误差之前，必须正确配置MAXQ3180中的脉冲输出参数。

PLSCFG寄存器应设置为输出被校准相位的视在能量。该设置为：

如果测量CFP引脚上的脉冲1输出：

A相，PLSCFG = 0x0021

B相，PLSCFG = 0x0022

C相，PLSCFG = 0x0024

或者

如果测量CFQ引脚上的脉冲2输出：

A相，PLSCFG = 0x2100

B相，PLSCFG = 0x2200

C相，PLSCFG = 0x2400

- c) 然后，应对应的脉冲门限寄存器设置到合适的数值；即，如果测量CFP引脚上的脉冲1输出，为THR1寄存器，或者测量CFQ引脚上的脉冲2输出，为THR2寄存器。门限寄存器的数值定义了脉冲输出比，应该和校表设备预期比相匹配。校表设备一般将脉冲输出比表达为电表常数(MC)，表明每kWh有多少脉冲。正确的门限计算如下：

$$(THR1 \text{ 或者 } THR2) = 2^{18} \times 10^3 / (MC \times IFS \times VFS \times t_{FR})$$

的引脚来看，其他电流输入应接地，或者连在一起，得到零电流。**注意：**所有中间计算都应该采用双精度，最后结果向最近整数取整。

- 1) 将要校准的 I_{gain} 系数清为0x0000。
- 2) 通过几次读取RAM寄存器来测量原始IRMS均值。
- 3) 按照以下比例来计算预期的原始RMS值：

Full_scale_current: 产生FS_raw_rms = 2^{30}

$I_{input_current}$: 产生Expected_raw_rms

这里，Full_scale_current是在输入引脚转换到1V_{RMS}中的输入电流。Full_scale_current取决于电表设计中所选择的传感器。例如，如果电流传感器将10A转换为5mA，负载电阻为20Ω，由于它被转换为50mA x 20Ω = 1V，那么，Full_scale_current = 100A。

- 4) 计算 I_{gain} 系数：

$$I_{gain} = [Expected_raw_rms / Measured_raw_rms] \times 2^{16}$$

电压增益校准

进行电压增益校准时，应采用220V的三相电压。电流输入应为零。**注意：**所有中间计算都应该采用双精度，最后结果向最近整数取整。

- 1) 将要校准的 V_{gain} 系数清为0x0000。
- 2) 通过几次读取RAM寄存器来测量原始VRMS均值。
- 3) 按照以下比例来计算预期的原始RMS值：

Full_scale_voltage: 产生FS_raw_rms = 2^{30}

$V_{input_voltage}$: 产生Expected_raw_rms

这里，Full_scale_voltage是在输入引脚转换到1V_{RMS}中的输入电压。Full_scale_voltage取决于电表设计中所选择的传感器。例如，如果电压传感器是电阻比为544:1的分压器，由于它被转换为1V，那么，Full_scale_voltage = 545V。

- 4) 计算 V_{gain} 系数：

$$V_{gain} = [(Expected_raw_rms / Measured_raw_rms) - 1] \times 2^{16}$$

低功耗、多功能、多相AFE

在这一公式中，IFS是电流增益校准一节中介绍的Full_scale_current，VFS是电压增益校准一节中介绍的Full_scale_voltage， t_{FR} 是采样时间，它取决于MAXQ3180系统时钟频率和采样率寄存器设置(ADCRATE)：

$$t_{FR} = (\text{ADCRATE} + 1) \times 8 / f_{SYS}$$

例如，在默认条件下，ADCRATE = 199， f_{SYS} = 8MHz，那么， t_{FR} = 200 μ s = 55.55ns。使用典型实例值IFS = 100A和VFS = 545V，门限转换公式为：

$$\text{典型值}(\text{THR1 或者 THR2}) = 86,579,669,725/\text{MC}$$

注意：门限是一个32位寄存器，它对最小电表常数进行了限制，以避免溢出。

当PLSCFG和THR1 (或者THR2)寄存器置位时，电表设备可以测量脉冲输出误差。误差一般表示为预期功率的百分比。

- 3) 如果选择了2a (读取RAM寄存器获得视在能量)，那么进行第3步。使用下面的比例来计算预期的原始能量：

Full_scale_voltage x Full_scale_current:

产生FS_raw_pwr = $2^{18}/(f_{LINE} \times t_{FR})$

V_input_voltage x I_input_current:

产生Expected_raw_pwr

这里，Full_scale_voltage、Full_scale_current和 t_{FR} 和上面说明的相同， f_{LINE} 是输入电压的电网频率，典型值为50Hz或者60Hz。

- 4) 计算E_gain系数：

- a) 如果通过读取RAM寄存器来测量输出：

$$E_{\text{gain}} = [(\text{Expected_raw_pwr} / \text{Measured_raw_pwr}) - 1] \times 2^{16}$$

- b) 如果通过脉冲输出误差来测量输出：

$$E_{\text{gain}} = (2^{16}) \times (-\text{Measured_Error\%}) / (100\% + \text{Measured_Error\%})$$

注意：所有中间计算都应该采用双精度，最后结果向最近整数取整。

功率线性度校准

该校准过程补偿一定范围的非线性，至少需要在不同的负载上进行4次功率测量。为进行功率线性补偿，必须施加所有三相电压220V。只在要校准的相位上加上一路电流信号。电流正弦波应该和相应的电压正弦波同相，即功率因数为1。其他电流输入应为零。

- 1) 将要校准的Eoff_hi、Gain_lo和Eoff_lo系数清为0x0000。
- 2) 进行功率测量。
 - a) 第一次功率测量。RMS值电流输入信号应接近待校准相的IFS/2^{1.5}。例如，典型目标是100/2^{1.5} = 35.36A，那么合理的输入电流是30A或者40A。通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始视在能量。为便于以后参考，施加的电流标为I1，测得的功率标为P1。
 - b) 第二次功率测量。RMS值电流输入信号应接近待校准相的IFS/2^{4.5}。例如，典型目标是100/2^{4.5} = 4.42A，那么合理的输入电流是4A或者5A。通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始视在能量。为便于以后参考，施加的电流标为I2，测得的功率标为P2。
 - c) 第三次功率测量。RMS值电流输入信号应接近待校准相的IFS/2^{6.5}。例如，典型目标是100/2^{6.5} = 1.10A，那么合理的输入电流是1A。通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始视在能量。为便于以后参考，施加的电流标为I3，测得的功率标为P3。
 - d) 第四次功率测量。RMS值电流输入信号应接近待校准相的IFS/2^{9.5}。例如，典型目标是100/2^{9.5} = 0.14A，那么合理的输入电流是0.1A或者0.2A。通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始视在能量。为便于以后参考，施加的电流标为I4，测得的功率标为P4。
- 3) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始VRMS。
- 4) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均NS。
- 5) 计算系数K = [NS/2¹⁶] x [VRMS/2¹⁶]/2¹⁶。

低功耗、多功能、多相AFE

6) 计算Eoff_hi系数:

$$\text{Eoff_hi} = [(P2 \times I1 - P1 \times I2)/(I1 - I2)]/K$$

7) 计算Eoff_lo系数:

$$\text{Eoff_lo} = [(P4 \times I3 - P3 \times I4)/(I3 - I4)]/K$$

8) 计算Gain_lo系数(使用上面计算的Eoff_hi、Eoff_lo和K):

$$\text{Gain_lo} = ((I3/I1) \times (P1 + K \times \text{Eoff_hi}) / (P3 + K \times \text{Eoff_lo}) - 1) \times 2^{16}$$

注意: 所有中间计算都应该采用双精度, 最后结果向最近整数取整。Eoff_hi、Gain_lo和Eoff_lo是16位有符号系数。如果计算值超过16位, 该部分无法校准。在这种情况下, 分配最大的值, 即, 正溢出为0x7FFF, 负溢出为0x8000。

相位角度校准

该校准用于补偿输入负载范围的相位角度误差。MAXQ3180使用四个PA_n系数来计算补偿相位角度, 采用3阶多项式:

$$\text{compensation_phase_angle} = \text{PA}_0 + (\text{PA}_1 \times X) + (\text{PA}_2 \times X^2) + (\text{PA}_3 \times X^3)$$

其中, X和原始IRMS的对数成正比。对所有四个系数进行全校准至少需要对量程内的相角进行四次测量。然而, 在大多数情况下, 只需要一个系数PA_0, 至少需要一次相角测量。

对于输入信号, 应采用标称220V的三相电压。对需要校准的相位输入只施加一路电流信号。其他电流输入应为零。

相位角度误差测量

该校准过程需要测量给定电流输入电平I_in量表输出的相角误差。这可以通过两种方式进行: (I)读取原始RAM寄存器, 或者, (II)测量不同功率因数的脉冲输出误差。

测量方法I: 通过读取RAM寄存器来测量输出相角误差

- 1) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始有功功率。
- 2) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始无功功率。

3) 计算输出相角:

$$\text{output_PA} = \text{atan}(\text{Reactive_raw_pwr} / \text{Active_raw_pwr})$$

4) 计算输出相角误差:

$$\text{output_PA_error} = \text{output_PA} - \text{input_PA}$$

测量方法II: 使用脉冲输出来测量输出相角

在测量脉冲输出之前, 必须正确设置脉冲配置寄存器PLSCFG和THR1 (或者THR2)。脉冲输出应设置为有功功率。关于怎样设置这些寄存器的详细信息, 请参考功率增益校准一节。

- 1) 在量表输入施加功率因数1的输入信号(输入相位角度0°)。测量有功功率的脉冲输出误差, 以百分比表示。为便于以后参考, 表示为Err00。
- 2) 在量表输入施加功率因数0.5L的输入信号(输入相位角度60°)。测量有功功率的脉冲输出误差, 以百分比表示。为便于以后参考, 表示为Err60。
- 3) 计算输出相角误差:

$$\text{output_PA_error} = \text{atan}[(1/\sqrt{3}) \times (\text{Err00} - \text{Err60}) / (100\% + \text{Err00})]$$

相角校准过程

- 1) 将要校准的PA_0、PA_1、PA_2、PA_3系数清为0x0000。
- 2) 相角误差测量。
 - a) RMS值电流输入信号应接近待校准相的IFS/2^{1.5}。例如, 典型目标值是100/2^{1.5} = 35.36A, 那么合理的输入电流是30A或者40A。按照上面说明的来测量输出相角。为便于以后参考, 施加的电流标为I1, 测得的相角误差以弧度表示为PAerr1。
 - b) 通过几次读取RAM寄存器来测量平均原始IRMS。为便于以后参考, 将其表示为I1_raw。
 - c) 计算坐标对(x1,y1):

$$\begin{aligned} x1 &= (\ln(I1_raw/2^{16}) - 6.0625)/16 \\ y1 &= (-\text{PAerr1}) \times 2^{16} \end{aligned}$$

低功耗、多功能、多相AFE

- 3) 重复进行测量范围内的相角误差测量。

使用测量范围内的其他输入电流，重复步骤2a至2c。建议在对数标度上均匀地分布输入电流点，得到一组坐标点：

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots (x_N, y_N)$$

点N的数量不受限制。

- 4) 计算最佳拟合多项式曲线的系数(PA_n)。

计算的关键取决于多项式的阶次。

- a) 对于零阶曲线(至少需要一个点)：

$$\begin{aligned} PA_0 &= \text{average}(y_1, y_2, \dots y_N) \\ PA_1 &= PA_2 = PA_3 = 0 \end{aligned}$$

- b) 对于一阶曲线(至少需要两个点)：

$$\begin{aligned} PA_1 &= \{ \sum (x_i - x_{avg})(y_i - y_{avg}) / \{ \sum (x_i - x_{avg})^2 \} \\ PA_0 &= y_{avg} - PA_1 \times x_{avg} \\ PA_2 &= PA_3 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{其中, } x_{avg} &= \text{average}(x_1, x_2, \dots x_N), \\ y_{avg} &= \text{average}(y_1, y_2, \dots y_N) \end{aligned}$$

这两个例子涵盖了大部分实际情况。对于高阶曲线，公式会更加复杂，可以使用Microsoft Excel®或者The MathWorks, Inc.的MATLAB®内置功能来进行计算。

注意：所有中间计算都应该采用双精度，最后结果向最近整数取整。还需要注意，PA_n是16位符号系数。如果计算值超过16位，无法校准相角。在这种情况下，分配最大的值，即，正溢出为0x7FFF，负溢出为0x8000。

应用信息

接地和旁路

仔细的PCB布板能够显著降低模拟输入噪声，使得数字I/O噪声减小，这些噪声会导致误操作。需要多层电路板，以便采用专用电源层。数字元件下面的区域应尽可能是连

续地平面。缩短旁路电容引脚，以最大限度地抑制噪声，将电容尽可能靠近器件引脚放置。

MAXQ3180的模拟(AGND)和数字(DGND)部分必须有单独的地，在单点将其连接起来。

所有半导体的CMOS设计指南要求不能有引脚电平在DVDD之上或者在DGND之下。违反这一指南会导致硬件失效(对器件内的芯片造成损害)或者软件失效(对存储器内容无意的改动)。高于或者低于器件绝对最大额定值的电压尖峰有可能导致破坏性的IC闭锁。

微控制器一般会在电源引脚或者通用I/O引脚上出现负电压尖峰。电源引脚的负电压尖峰问题尤其重要，因为它会直接耦合到内部电源总线上。键盘等设备会直接对微控制器进行静电放电，造成器件严重损害。系统设计人员必须保护元件不受这些瞬时现象的损害，避免损害系统存储器。

基于MAXQ3180系统的特殊设计考虑

为减小耦合到微控制器中的噪声，系统在设计上应采用金属壳晶体或者振荡器，并将外壳连接至数字地平面。这样，减小了快速瞬变噪声对设计的影响。

由于MAXQ3180设计用于电压较高的系统，应仔细对所有信号通路进行布线，包括模拟和数字信号，信号通路应尽可能避开高电压元件。

可以使用多个MAXQ3180来开发测量精度更高的设计。要实现这种设计，应使用一条SPI总线连接所有的MAXQ3180器件，但是要使用不同的从机片选线来分别选择每一MAXQ3180。

其他文档

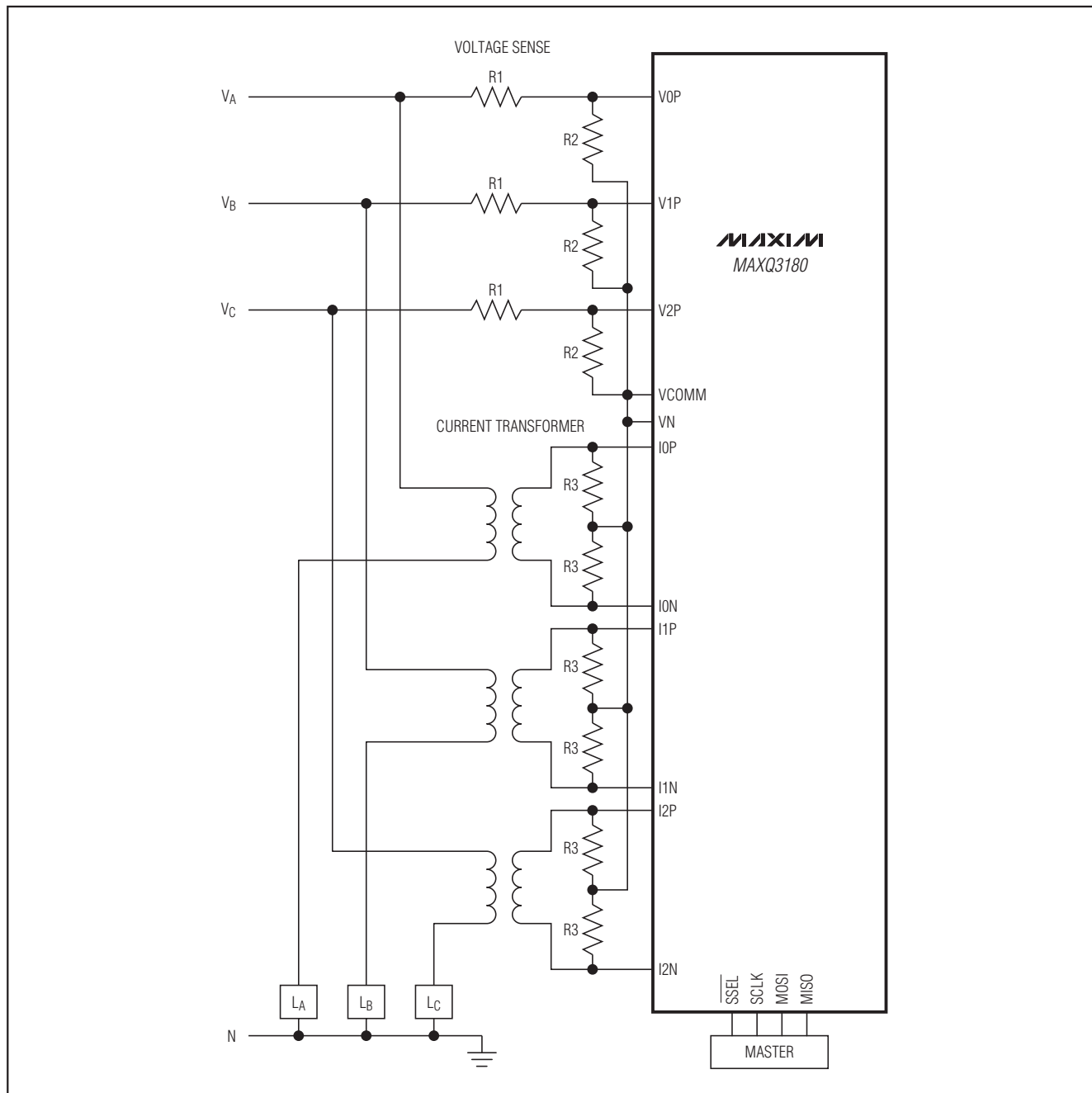
设计人员应拥有最新的MAXQ3180勘误文档。勘误资料和公开的规范有差别。www.maxim-ic.com.cn/errata上有MAXQ3180所有器件型号的勘误表。

Microsoft Excel是Microsoft Corp.的注册商标。
MATLAB是The MathWorks, Inc.的注册商标。

低功耗、多功能、多相AFE

典型应用电路

MAXQ3180

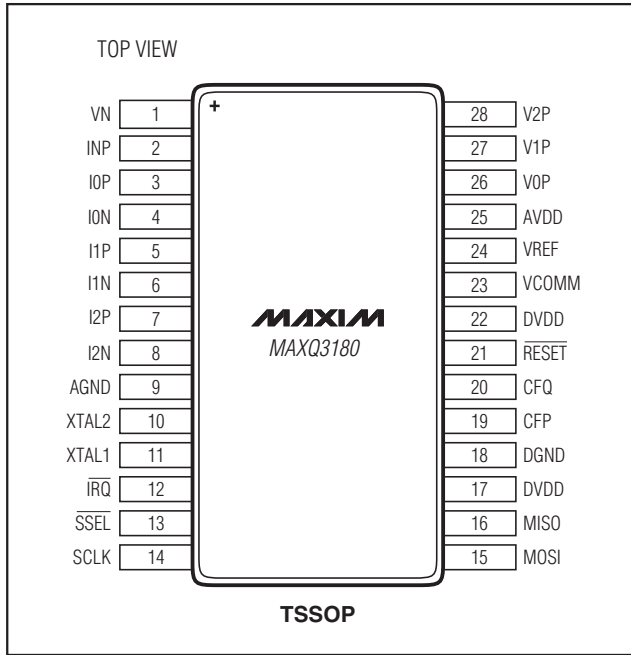


低功耗、多功能、多相AFE

MAXQ3180

引脚配置

封装信息



(如需最近的封装外形信息, 请查询
www.maxim-ic.com.cn/packages.)

封装类型	封装编码	文档编号
28 TSSOP	U28+2	21-0066

Maxim北京办事处

北京 8328信箱 邮政编码 100083

免费电话: 800 810 0310

电话: 010-6211 5199

传真: 010-6211 5299

Maxim不对Maxim产品以外的任何电路使用负责, 也不提供其专利许可。Maxim保留在任何时间、没有任何通报的前提下修改产品资料和规格的权利。

48 **Maxim Integrated Products, 120 San Gabriel Drive, Sunnyvale, CA 94086 408-737-7600**

© 2008 Maxim Integrated Products

MAXIM 是 Maxim Integrated Products, Inc. 的注册商标。

项目开发 芯片解密 零件配单 TEL:15013652265 QQ:38537442