MCP39F511

带计算和电能累积功能的功率监视IC

特性

- 功率监视精度能够在4000:1的动态范围内实现0.1%的误差
- 快速16位处理内核上内置计算功能
  - 有功功率、无功功率和视在功率
  - 真实RMS电流和RMS电压
  - 工频和功率因数
- 64位宽输入和输出有功电能累积寄存器
- 64位四象限无功电能累积寄存器
- 有符号有功和无功功率输出
- 延时小于100 µs的专用过零检测（Zero Crossing Detection，ZCD）引脚输出
- 频率和占空比可编程的专用PWM输出引脚
- 通过延时小于5 ms的快速电压浪涌检测实现自动事件引脚控制
- 采用双线通用异步收发器（Universal Asynchronous Receiver/Transmitter，UART），与上一版本115.2k波特率双线串行协议相比，速度快24倍
- 用于跟踪最小输出量和最大输出量的8个独立寄存器
- 快速校准程序和简化命令协议
- 512字节用户可访问EEPROM（通过页读/写命令实现）
- 低漂移内部参考电压，10 ppm/°C（典型值）
- 28引脚5x5 QFN封装
- 扩展级温度范围：-40°C至+125°C

应用

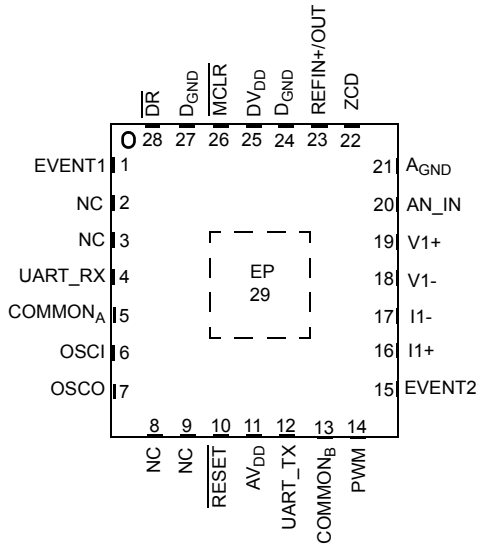
- 家庭自动化功率监视
- 工业照明功率监视
- 实时测量交流/直流电源的输入功率
- 智能配电单元

说明

MCP39F511是一款高度集成的完整单相功率监视IC，用于实时测量交流/直流电源、配电单元、消费类和工业应用的输入功率。它包括双通道Δ-Σ ADC、16位计算引擎、EEPROM和灵活的双线接口。借助集成低漂移参考电压低至10 ppm/°C的温漂，加上各测量通道上94.5 dB的SINAD性能，此器件能够在4000:1的动态范围内实现精度优于0.1%的设计。

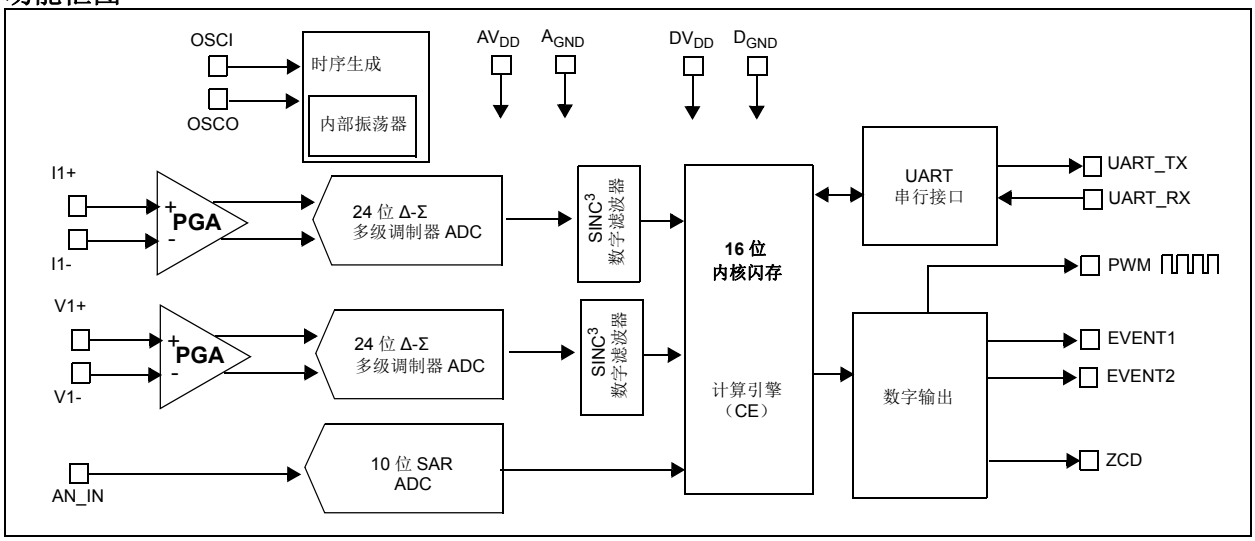
封装类型

MCP39F511
5x5 QFN*



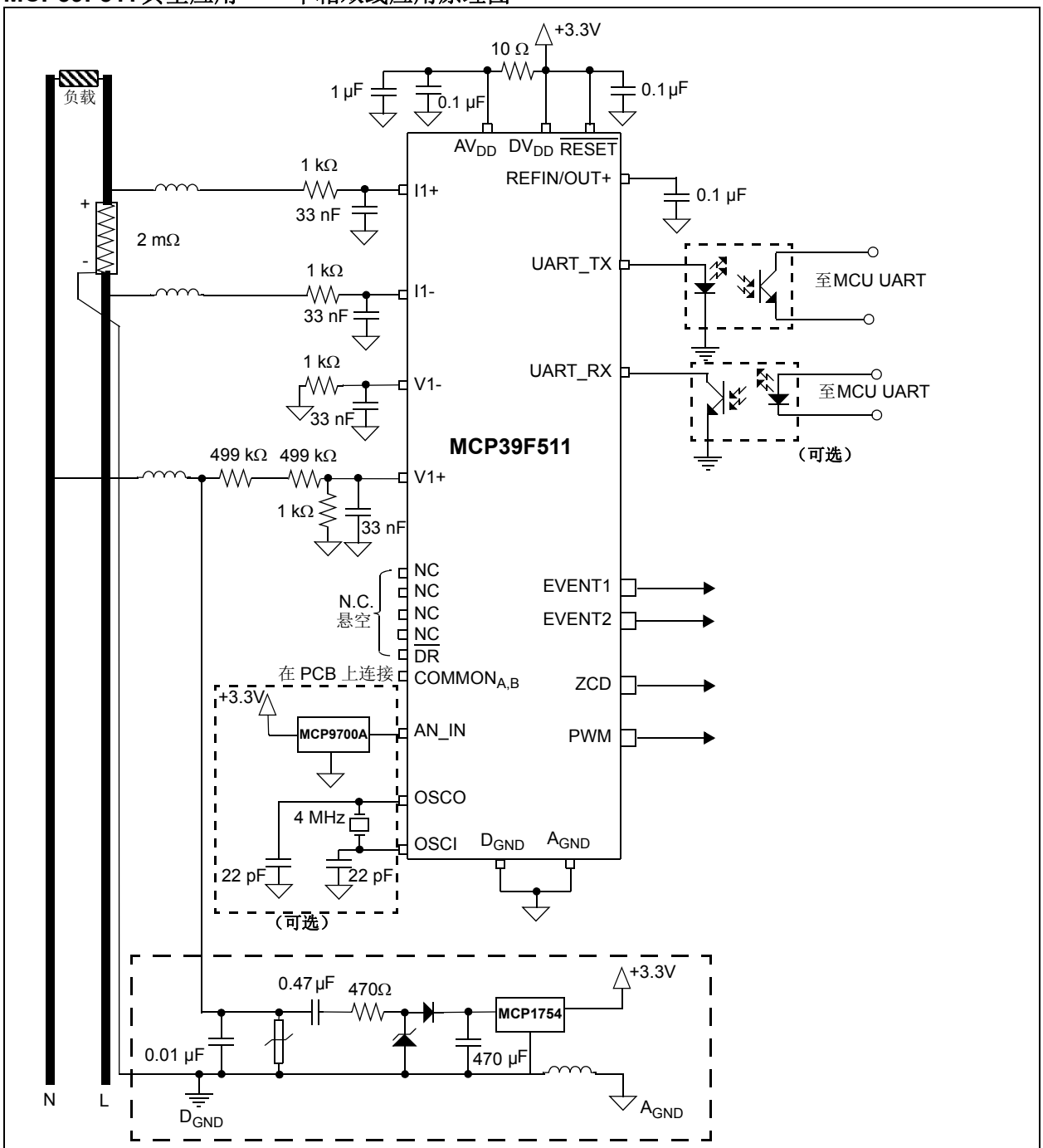
*包括裸露的散热焊盘（EP）；（见表3-1）。

功能框图



© 2015 Microchip Technology Inc.

MCP39F511 典型应用——单相双线应用原理图



注： MCP39F511 演示板使用一个开关电源，但低成本的电容式电源（如图所示）足以满足许多应用的要求。

注： 为匹配第6.0节定义的校准寄存器的默认值，对于图中所示的外部检测元件，专门选择了一个2 mΩ分流电阻、2个499 kΩ电阻和1 kΩ电阻来实现1000:1的分压器。通过选择这些值的低容差元件（如1%容差），可通过零点校准实现2-3%范围内的测量精度。更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

1.0 电气特性

绝对最大值†

DV_{DD} .....-0.3V至4.5V
AV_{DD} .....-0.3V至4.0V
数字输入和输出相对于A_{GND}的电压.....-0.3V至4.0V
模拟输入（I+、I-、V+和V-）相对于A_{GND}的电压 .....-2V至+2V
V_{REF}输入相对于A_{GND}的电压 ....-0.6V至AV_{DD} + 0.6V
流出D_{GND}引脚的最大电流 .....300 mA
流入DV_{DD}引脚的最大电流 .....250 mA
数字I/O的最大输出灌电流.....25 mA
数字I/O的最大拉电流 .....25 mA
存储温度..... -65°C至+150°C
环境温度（施加电源时）..... -40°C至+125°C
引脚焊接温度（10秒）.....+300°C
模拟输入的ESD（HBM和MM）.....4.0 kV，200V
所有其他引脚的ESD（HBM和MM）.....4.0 kV，200V

†注：如果器件的工作条件超过上述“最大值”，可能对器件造成永久性损坏。上述数值仅是工作条件最大值，我们建议不要使器件工作在最大值甚至超过最大值的条件下。器件长时间工作在最大值条件下，其可靠性可能受到影响。

1.1 规范

表1-1： 电气特性

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V，T_A = -40°C至+125°C，MCLK = 4 MHz，PGA增益 = 1。

特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
功率测量						
有功功率（注2）	P	—	±0.1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1（注1）
无功功率（注2）	Q	—	±0.1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1（注1）
视在功率（注2）	S	—	±0.1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1（注1）
电流RMS（注2）	I_{RMS}	—	±0.1	—	%	电流通道上的动态范围为4000:1（注1）
电压RMS（注2）	V_{RMS}	—	±0.1	—	%	电压通道上的动态范围为4000:1（注1）
功率因数（注2）	Φ	—	±0.1	—	%	
工频（注2）	LF	—	±0.1	—	%	

注 1： 规范由设计和特性确保；未经生产测试。
2： 根据通过累积间隔为4个线路周期的无平均、单计算周期读取的寄存器值计算。
3： 当频率为50/60 Hz时，V_{IN} = 1V_{PP} = 353 mV_{RMS}。
4： 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。
5： 变化仅适用于内部时钟和UART。所有计算的输出量均按照各自规范中列出的性能进行温度补偿。
6： 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能，请参见**第2.0节“典型性能曲线”**。
7： N = 累积间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为2，即50 Hz线路的T_{CAL} = 80 ms。

© 2015 Microchip Technology Inc.

表1-1： 电气特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V，T_A = -40°C至+125°C，MCLK = 4 MHz，PGA增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
校准、计算和事件检测时间						
自动校准时间	t_{CAL}	—	2^N x ($1/f_{LINE}$)	—	ms	注7
电压跌落/浪涌检测的最短时间	t_{AC_SASU}	—	请参见第7.0节	—	ms	注4
24位Δ-Σ ADC性能						
模拟输入绝对电压	V_{IN}	-1	—	+1	V	
模拟输入泄漏电流	A_{IN}	—	1	—	nA	
差分输入电压范围	(I1+ – I1-)，(V1+ – V1-)	-600/增益	—	+600/增益	mV	V_{REF} = 1.2V，与V_{REF}成比例
失调误差	V_{OS}	-1	—	+1	mV	
失调误差漂移		—	0.5	—	μV/°C	
增益误差	GE	-4	—	+4	%	注6
增益误差漂移		—	1	—	ppm/°C	
差分输入阻抗	Z_{IN}	232	—	—	kΩ	G = 1
		142	—	—	kΩ	G = 2
		72	—	—	kΩ	G = 4
		38	—	—	kΩ	G = 8
		36	—	—	kΩ	G = 16
		33	—	—	kΩ	G = 32
信噪比和失真比	SINAD	92	94.5	—	dB	注3
总谐波失真	THD	—	-106.5	-103	dBc	注3
信噪比	SNR	92	95	—	dB	注3
无杂散动态范围	SFDR	—	111	—	dB	注3
串扰	CTALK	—	-122	—	dB	
交流电源抑制比	AC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD}和DV_{DD} = 3.3V + 0.6V_{PP}，100 Hz，120 Hz，1 kHz
直流电源抑制比	DC PSRR	—	-73	—	dB	AV_{DD}和DV_{DD} = 3.0V至3.6V
直流共模抑制比	DC CMRR	—	-105	—	dB	V_{CM}从-1V变为+1V

注 1： 规范由设计和特性确保；未经生产测试。
2： 根据通过累积间隔为4个线路周期的无平均、单计算周期读取的寄存器值计算。
3： 当频率为50/60 Hz时，V_{IN} = 1V_{PP} = 353 mV_{RMS}。
4： 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。
5： 变化仅适用于内部时钟和UART。所有计算的输出量均按照各自规范中列出的性能进行温度补偿。
6： 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能，请参见第2.0节“典型性能曲线”。
7： N = 累积间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为2，即50 Hz线路的T_{CAL} = 80 ms。

表1-1： 电气特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V，T_A = -40°C至+125°C，MCLK = 4 MHz，PGA增益 = 1。						
特性	**符号**	**最小值**	**典型值**	**最大值**	**单位**	**测试条件**
10位SAR ADC的温度测量性能						
分辨率	N_R	—	10	—	位	
绝对输入电压	V_{IN}	D_{GND} - 0.3	—	D_{GND} + 0.3	V	
模拟电压源的推荐阻抗	R_{IN}	—	—	2.5	kΩ	
积分非线性	I_{NL}	—	±1	±2	LSb	
微分非线性	D_{NL}	—	±1	±1.5	LSb	
增益误差	G_{ERR}	—	±1	±3	LSb	
失调误差	E_{OFF}	—	±1	±2	LSb	
温度测量速率		—	$f_{LINE}/2^N$	—	sps	注7
时钟和时序						
UART波特率	UDB	—	115.2	—	kbps	有关协议的详细信息，请参见第3.2节。
主时钟和晶振频率	f_{MCLK}	-2%	4	+2%	MHz	
OSCO引脚上的容性负载	COSC2	—	—	15	pF	使用外部时钟驱动器件时
内部振荡器容差	f_{INT_OSC}	—	2	—	%	仅-40°C至+85°C（注5）
内部参考电压						
内部参考电压容差	V_{REF}	-2%	1.2	+2%	V	
温度系数	TCV_{REF}	—	10	—	ppm/°C	T_A = -40°C至+85°C，V_{REFEXT} = 0
输出阻抗	$ZOUTV_{REF}$	—	2	—	kΩ	
电流，V_{REF+}	$AI_{DD}V_{REF}$	—	40	—	μA	
参考电压输入						
输入电容		—	—	10	pF	
V_{REF+}引脚上的绝对电压	V_{REF+}	A_{GND} + 1.1V	—	A_{GND} + 1.1V	V	
电源规范						
工作电压	AV_{DD}和DV_{DD}	2.7	—	3.6	V	
确保内部上电复位信号的DV_{DD}启动电压	V_{POR}	D_{GND}	—	0.7	V	

注 1： 规范由设计和特性确保；未经生产测试。
2： 根据通过累积间隔为4个线路周期的无平均、单计算周期读取的寄存器值计算。
3： 当频率为50/60 Hz时，V_{IN} = 1V_{PP} = 353 mV_{RMS}。
4： 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。
5： 变化仅适用于内部时钟和UART。所有计算的输出量均按照各自规范中列出的性能进行温度补偿。
6： 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能，请参见第2.0节“典型性能曲线”。
7： N = 累积间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为2，即50 Hz线路的T_{CAL} = 80 ms。

© 2015 Microchip Technology Inc.

表1-1： 电气特性（续）

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V，T_A = -40°C至+125°C，MCLK = 4 MHz，PGA增益 = 1。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
确保内部上电复位信号的DV_{DD}上升率	SDV_{DD}	0.05	—	—	V/ms	0.1s内为0 – 3.3V， 60 ms内为0 – 2.5V
确保内部上电复位信号的AV_{DD}上升电压	V_{POR}	A_{GND}	—	2.1	V	
确保内部上电复位信号的AV_{DD}上升率	SAV_{DD}	0.042	—	—	V/ms	50 ms内为0 – 2.4V
工作电流	I_{DD}	—	13	—	mA	
数据EEPROM存储器						
单元可擦写次数	EPS	100,000	—	—	E/W	
自定时写周期时间	T_{IWD}	—	4	—	ms	
刷新前的总擦/写次数	R_{REF}	—	10,000,000	—	E/W	
特性保持时间	T_{RETDD}	40	—	—	年	假设没有违反其他规范
编程期间的电源电流	I_{DDPD}	—	7	—	mA	

注 1： 规范由设计和特性确保；未经生产测试。
2： 根据通过累积间隔为4个线路周期的无平均、单计算周期读取的寄存器值计算。
3： 当频率为50/60 Hz时，V_{IN} = 1V_{PP} = 353 mV_{RMS}。
4： 仅适用于电压跌落和电压浪涌事件。
5： 变化仅适用于内部时钟和UART。所有计算的输出量均按照各自规范中列出的性能进行温度补偿。
6： 适用于所有增益。失调误差和增益误差取决于PGA增益设置。有关典型性能，请参见**第2.0节“典型性能曲线”**。
7： N = 累积间隔参数寄存器中的值。此寄存器的默认值为2，即50 Hz线路的T_{CAL} = 80 ms。

表1-2： 串行直流特性

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V，T_A = -40°C至+125°C，MCLK = 4 MHz。						
特性	符号	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件
高电平输入电压	V_{IH}	0.8 DV_{DD}	—	DV_{DD}	V	
低电平输入电压	V_{IL}	0	—	0.2 DV_{DD}	V	
高电平输出电压	V_{OH}	3	—	—	V	I_{OH} = -3.0 mA，V_{DD} = 3.6V
低电平输出电压	V_{OL}	—	—	0.4	V	I_{OL} = 4.0 mA，V_{DD} = 3.6V
输入泄漏电流	I_{LI}	—	—	1	μA	
		—	0.050	0.100	μA	仅数字输出引脚（ZCD、PWM、EVENT1和EVENT2）

表1-3： 温度规范

电气规范：除非另外说明，否则所有参数的适用条件均为AV_{DD}和DV_{DD} = 2.7V至3.6V。						
参数	符号	最小值	典型值	最大值	单位	条件
温度范围						
工作温度范围	T_A	-40	—	+125	°C	
存储温度范围	T_A	-65	—	+150	°C	
封装热阻						
热阻，28引脚5x5 QFN	θ_{JA}	—	36.9	—	°C/W	

© 2015 Microchip Technology Inc.

2.0 典型性能曲线

注：	以下图表为基于有限数量样本的统计结果，仅供参考。所列出的性能特性未经测试，我们不做保证。在一些图表中，所列数据可能超出规定的工作范围（如，超出规定的电源电压范围），因而不在担保范围内。

注：除非另外说明，否则AV_{DD} = 3.3V，DV_{DD} = 3.3V，T_A = +25°C，增益 = 1，V_{IN} = -0.5 dBFS（60 Hz时）。

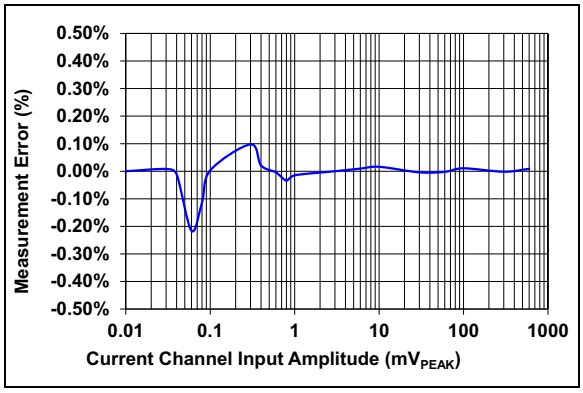


图2-1：　有功功率，增益 = 1

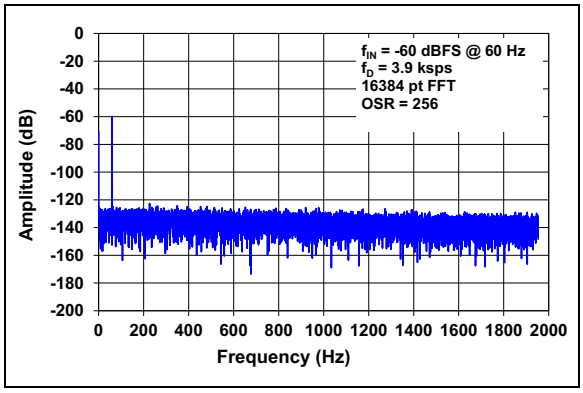


图2-4：　频谱响应

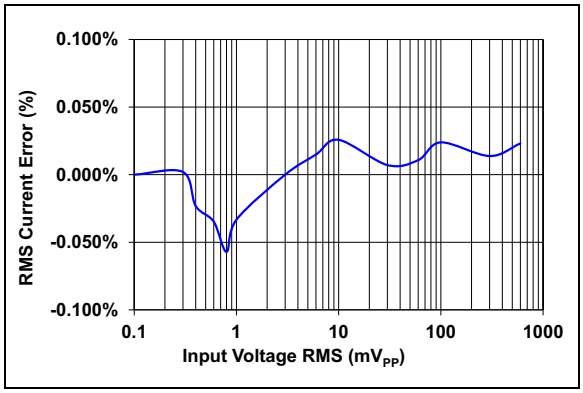


图2-2：　RMS 电流，增益 = 1

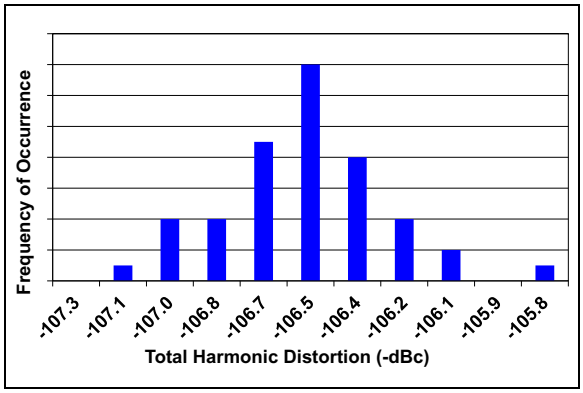


图2-5：　THD 直方图

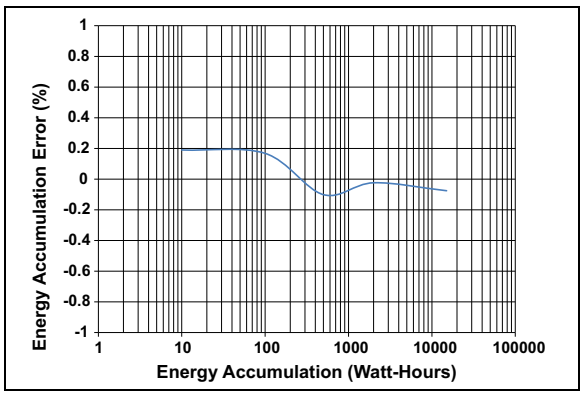


图2-3：　电能，增益 = 8

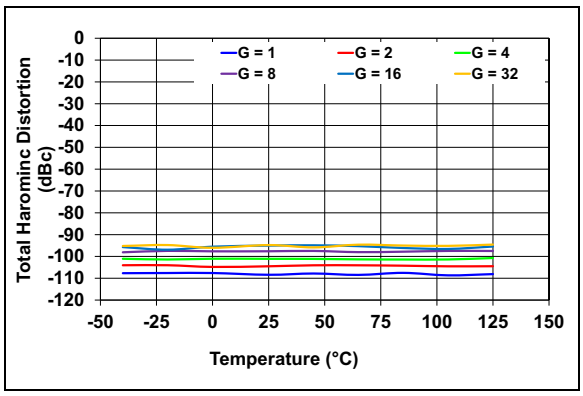


图2-6：　THD—温度曲线

注：除非另外说明，否则AV_{DD} = 3.3V，DV_{DD} = 3.3V，T_A = +25°C，增益 = 1，V_{IN} = -0.5 dBFS（60 Hz时）。

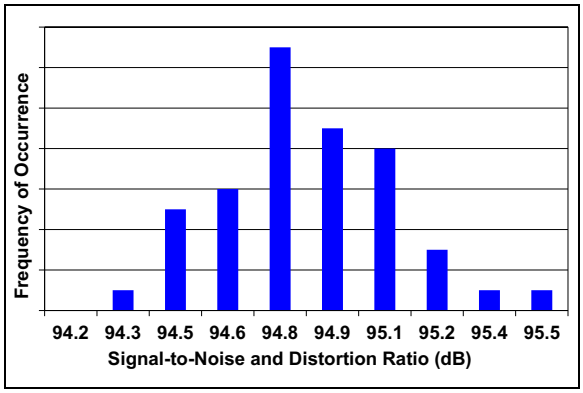


图2-7：　SNR直方图

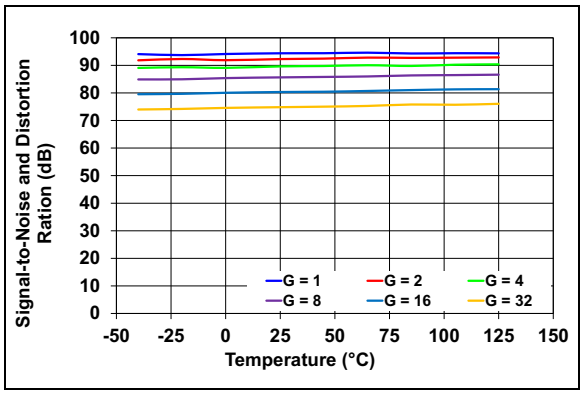


图2-8：　SINAD—温度曲线

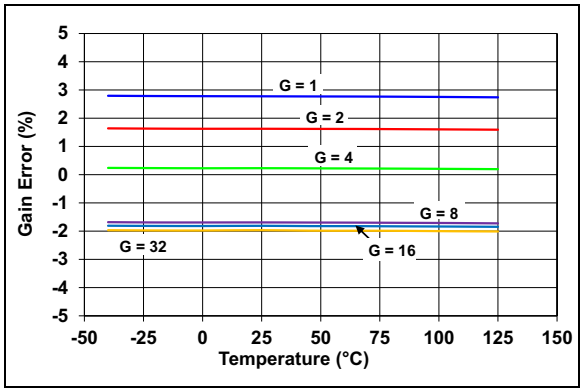


图2-9：　增益误差—温度曲线

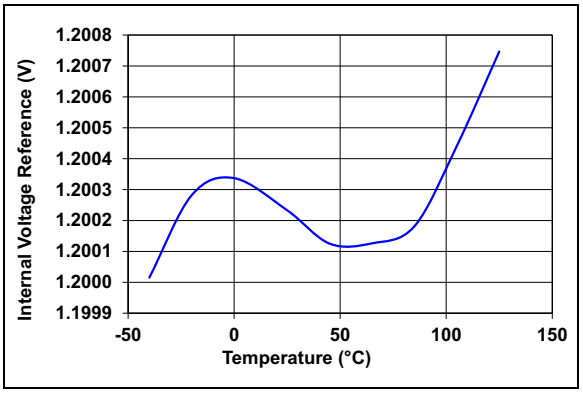


图2-10：　内部参考电压—温度曲线

© 2015 Microchip Technology Inc.

3.0 引脚说明

表3-1列出了引脚说明。

表3-1： 引脚功能表

MCP39F511 5x5 QFN	符号	功能
1	EVENT1	事件1输出引脚
2	NC	无连接（必须悬空）
3	NC	无连接（必须悬空）
4	UART_RX	UART通信RX引脚
5	$COMMON_A$	共用引脚A，将连接到$COMMON_B$
6	OSCI	晶振连接引脚或外部时钟输入引脚
7	OSCO	晶振连接引脚
8	NC	无连接（必须悬空）
9	NC	无连接（必须悬空）
10	$\overline{RESET}$	Δ-Σ ADC的复位引脚
11	AV_{DD}	模拟电源引脚
12	UART_TX	UART通信TX引脚
13	$COMMON_B$	共用引脚B，将连接到$COMMON_A$
14	PWM	脉宽调制（Pulse-Width Modulation，PWM）输出引脚
15	EVENT2	事件2输出引脚
16	I1+	24位Δ-Σ ADC的同相电流通道输入
17	I1-	24位Δ-Σ ADC的反相电流通道输入
18	V1-	24位Δ-Σ ADC的反相电压通道输入
19	V1+	24位Δ-Σ ADC的同相电压通道输入
20	AN_IN	SAR ADC的模拟输入
21	A_{GND}	模拟地引脚，内部模拟电路的返回路径
22	ZCD	过零检测输出
23	REFIN+/OUT	同相参考电压输入和内部参考输出引脚
24	$D_{\overline{GND}}$	数字地引脚，内部数字电路的返回路径
25	DV_{DD}	数字电源引脚
26	$\overline{MCLR}$	器件主复位
27	$D_{\overline{GND}}$	数字地引脚，内部数字电路的返回路径
28	$\overline{DR}$	数据就绪（必须悬空）
29	EP	外露散热焊盘（将连接到D_{GND}）

3.1 事件输出引脚（EVENTn）

这些数字输出引脚经配置后可用作基于各种内部上升条件的输出标志。控制通过事件配置寄存器进行修改。

3.2 UART通信引脚（UART_RX和UART_TX）

MCP39F511器件包含一个异步全双工UART。UART通信采用8位加起始位和停止位的形式。更多信息，请参见第4.3节“UART设置”。

3.3 共用引脚（COMMON A和COMMON B）

$COMMON_A$和$COMMON_B$引脚是MCP39F511的内部连接。在应用中，这两个引脚应连在一起。

3.4 振荡器引脚（OSCI/OSCO）

OSCI和OSCO为器件提供主时钟。要正常工作，应在这些引脚上连接合适的负载电容。可将可选的4 MHz晶振连接到这些引脚。如果未检测到外部时钟源的晶振，则将由内部4 MHz振荡器为器件提供时钟。

3.5 复位引脚（$\overline{RESET}$）

此引脚为低电平有效，拉低时会将Δ-Σ ADC、PGA、内部V_{REF}以及与模拟前端相关的其他模块置于复位状态。此输入为施密特触发输入。

3.6 模拟电源引脚（AV_{DD}）

AV_{DD}是MCP39F511内的模拟电路的电源引脚。

此引脚需要合适的旁路电容，并应保持在2.7V到3.6V之间以确保器件正常工作。建议使用0.1 µF陶瓷电容。

3.7 脉宽调制器（PWM）

该数字输出是通过PWM频率和PWM占空比寄存器进行控制的专用PWM输出。更多信息，请参见第8.0节“脉宽调制（PWM）”。

3.8 24位Δ-Σ ADC差分电流通道输入引脚（I1+/I1-）

I1-和I1+是Δ-Σ ADC的两个全差分电流通道输入。

通道的线性区和规定区取决于PGA增益。此区域对应的差分电压范围为±600 mV_{PEAK}/增益（V_{REF} = 1.2V）。

每个In+/-输入引脚相对于A_{GND}的最大绝对电压为±1V（无失真）和±6V（无击穿的连续电压）。

3.9 24位Δ-Σ ADC差分电压通道输入（V1-/V1+）

V1-和V1+是Δ-Σ ADC的两个全差分电压通道输入。

通道的线性区和规定区取决于PGA增益。此区域对应的差分电压范围为±600 mV_{PEAK}/增益（V_{REF} = 1.2V）。

每个V_N+/-输入引脚相对于A_{GND}的最大绝对电压为±1V（无失真）和±2V（无击穿的连续电压）。

3.10 模拟输入（AN_IN）

这是用于温度测量和补偿的模数转换器输入。如果应用中需要温度补偿，建议将低功耗有源热敏电阻IC™ MCP9700A连接到此引脚。如果无需温度补偿，该输入可用作通用模数转换器输入。

3.11 模拟地引脚（A_{GND}）

A_{GND}是内部模拟电路（ADC、PGA、电压参考和POR）的接地引脚。如果PCB上存在模拟地层，建议将此引脚连接到该层。

3.12 过零检测（ZCD）

该数字输出引脚是IC过零检测电路的输出。此处的输出为边沿在电压通道输入的每个过零点发生跳变的逻辑输出。更多信息，请参见第5.13节“过零检测（ZCD）”。

© 2015 Microchip Technology Inc.

3.13 同相参考输入/内部参考输出引脚（REFIN+/OUT）

此引脚是Δ-Σ ADC的差分参考电压同相输入端或内部参考电压输出。

为达到最优性能，即使使用内部参考电压时，也应始终在此引脚与A_{GND}之间连接旁路电容。不过，这些电容并不是保证正常工作所必需的。

3.14 数字接地引脚（D_{GND}）

D_{GND}是内部数字电路（SINC过滤器、振荡器和串行接口）的接地引脚。如果提供数字接地层，建议将此引脚连接到PCB的数字接地层。此接地层也应是系统中所有其他数字电路的参考地。

3.15 数字电源引脚（DV_{DD}）

DV_{DD}是MCP39F511内的数字电路的电源引脚。此引脚需要合适的旁路电容，并应保持在2.7V到3.6V之间以确保器件正常工作。建议使用0.1 μF陶瓷电容。

3.16 数据就绪引脚（$\overline{DR}$）

数据就绪引脚指示新的Δ-Σ A/D转换结果是否已做好处理准备。此引脚仅用于指示，应悬空。每次转换完成后，数据就绪引脚上将出现低电平脉冲以指示转换结果就绪，同时计算引擎（Calculation Engine，CE）中产生中断。该脉冲与工频同步，用于确保每个线路周期的采样数为整数。

注：	此引脚内部连接到计算引擎的IRQ，应悬空。

3.17 裸露的散热焊盘（EP）

此引脚为外露散热焊盘，必须连接到D_{GND}。

4.0 通信协议

MCP39F511器件的通信协议基于简单传感器接口（Simple Sensor Interface，SSI）协议。此协议用于实现从单主机MCU到单从机MCP39F511的点对点通信。此协议支持将多个器件置于一条总线上，但一次只能与一个器件通信。

器件的所有通信都以帧的形式进行。每个帧包含一个头字节、帧中的字节数、一个或多个命令包以及校验和。需要注意的是，接收帧或发送帧的最大字节数为35。

> **注：** 如果需要自定义通信协议，请联系Microchip销售办事处。

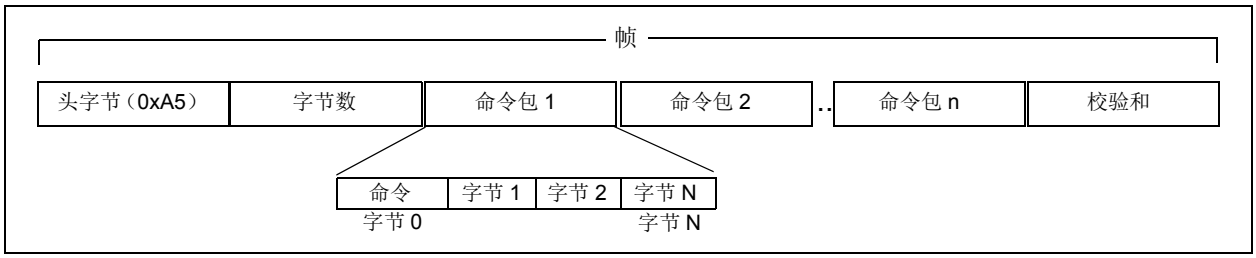


图4-1： MCP39F511通信帧

此方法可通过单个或多个命令实现从主机处理器到MCP39F511的单一安全传输。直到整个帧完整且验证完字节数的校验和后，才会处理帧中的命令。

单个*命令包*中的字节数取决于具体命令。例如，要设置指令指针，命令包中需要三个字节：命令字节和要针对指针设置的两个地址字节。命令包的第一个字节始终是命令字节。

此协议还可用于设置MCP39F511在特定寄存器上的传输。此协议为单线接口定义了预定单线传输帧。可通过将系统配置寄存器中的SINGLE_WIRE位置1来启动自动传输模式，从而在应用中实现单线通信。有关此通信的更多信息，请参见第4.8节“单线传输模式”。

4.1 器件响应

在接收通信帧后，MCP39F511存在三种可能的响应，返回时有无数据取决于接收的帧。下面列出了这几种响应：

- 应答（ACK，0x06）：成功接收帧，理解命令并成功执行命令。
- 否定应答（NAK，0x15）：成功接收帧，但无法成功执行命令、无法理解命令或者命令字节存在某些其他错误。
- 校验和失败（CSFAIL，0x51）：成功接收帧，但是帧的校验和与帧中的字节不匹配。

4.2 校验和

校验和的生成方法为：简单的字节相加、求模，然后将整个帧的和除以256，得到余数。此运算完成后会获得8位校验和。帧的所有字节（包括头字节和字节数）均包含在校验和中。如果一个帧包含多个命令包，则在帧校验和失败时，将不会发出任何命令。在此示例中，MCP39F511将通过CSFAIL响应0x51进行响应。

对于请求从MCP39F511返回数据的命令，帧与校验和的创建方式相同，其中头字节变为应答（0x06）。第4.5节“通信帧和MCP39F511响应示例”给出了通信示例。

4.3 UART设置

波特率固定为115.2 kbps。UART工作在8位模式下，加上一个起始位和一个停止位，每字节共10位，如图4-1所示。

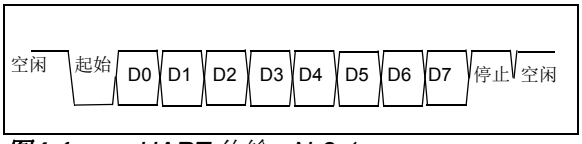


图4-1： UART传输，N-8-1

© 2015 Microchip Technology Inc.

4.4 命令列表

下表列出了MCP39F511接受的所有命令字节。
MCP39F511可接受**10**种命令。

表4-1： MCP39F511指令集

命令编号	命令	命令ID	指令参数	字节数	成功响应 UART_TX
1	Register Read, N bytes	0x4E	字节数	2	ACK、数据和校验和
2	Register Write, N bytes	0x4D	字节数	1+N	ACK
3	Set Address Pointer	0x41	地址	3	ACK
4	Save Registers To Flash	0x53	---------	2	ACK
5	Page Read EEPROM	0x42	页	2	ACK、数据和校验和
6	Page Write EEPROM	0x50	页	18	ACK
7	Bulk Erase EEPROM	0x4F	---------	2	ACK
8	Auto-Calibrate Gain	0x5A	---------	注1	
9	Auto-Calibrate Reactive Gain	0x7A	---------	注1	
10	Auto-Calibrate Frequency	0x76	---------	注1	

注 1： 有关校准的更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

4.5 通信帧和MCP39F511响应示例

表4-2到表4-11显示了精确的十六进制通信帧，它们应从系统MCU发送到MCP39F511。此处的值可作为编写代码以与MCP39F511通信的直接示例。

表4-2： REGISTER READ, N BYTES命令

字节编号	值	说明	F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x08	帧中的字节数	
3	0x41	命令（Set Address Pointer）	
4	0x00	地址高字节	
5	0x02	地址低字节	
6	0x4E	命令（Read N Bytes）	
7	0x20	要读取的字节数（32）	
8	0x5E	校验和	ACK + 字节数（35） + 32字节 + 校验和

注 1： 此处所述的示例“读取 N 字节帧”可用于轮询从顶部（地址 0x02）开始的输出数据的子集，并在帧中总共回读32个数据字节或读取35个字节。

表4-3： REGISTER WRITE, N BYTES命令

字节编号	值	说明	F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x25	帧中的字节数	
3	0x41	命令（Set Address Pointer）	
4	0x00	地址高字节	
5	0x48	地址低字节	
6	0x4D	命令（Write N Bytes）	
7	0x1C	要写入的字节数（28）	
8-36	*数据*	数据字节（总共28个数据字节）	
37	校验和	校验和	ACK

注 1： 此处所述的“写入 N 帧”可用于写入从顶部（地址 0x7A）开始的校准目标数据的整个数据集，随后将继续写入28个字节，直到该寄存器集结束（寄存器0x94）。请注意，需要在发出自动校准目标命令之前写入校准目标而不是写入校准寄存器。更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

表4-4： SET ADDRESS POINTER

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x06	帧中的字节数	
3	0x41	命令（Set Address Pointer）	
4	0x00	地址高字节	
5	0x02	地址低字节	
6	0xF8	校验和	ACK

注： 如表4-2和表4-3所示，设置地址指针命令通常位于包含读取或写入命令的帧中。该命令通常不必拥有自己的帧，此处仅用于举例说明。

表4-5： SAVE TO FLASH

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x53	命令（Save to Flash）	
4	0xFC	校验和	ACK

表4-6： PAGE READ EEPROM

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x05	帧中的字节数	
3	0x42	命令（Page Read EEPROM）	
4	0x01	页码（如1）	
5	0xF8	校验和	ACK + EEPROM页数据 + 校验和

© 2015 Microchip Technology Inc.

表4-7： PAGE WRITE EEPROM

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x15	帧中的字节数	
3	0x50	命令（Page Write EEPROM）	
4	0x01	页码（如1）	
5-20	*数据*	EEPROM数据（16字节/页）	
21	校验和	校验和	ACK

表4-8： BULK ERASE EEPROM

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x4F	命令（Bulk Erase EEPROM）	
4	0xF8	校验和	ACK

表4-9： AUTO-CALIBRATE GAIN

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x5A	命令（Auto-Calibrate Gain）	
4	0x03	校验和	ACK（无法校准时为NAK）；更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

表4-10： AUTO-CALIBRATE REACTIVE GAIN

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x7A	命令（Auto-Calibrate Reactive Gain）	
4	0x23	校验和	ACK（无法校准时为NAK）；更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

表4-11： AUTO-CALIBRATE FREQUENCY

字节编号	值	说明	MCP39F511的响应
1	0xA5	头字节	
2	0x04	帧中的字节数	
3	0x76	命令（Auto-Calibrate Frequency）	
4	0x1F	校验和	ACK（无法校准时为NAK）；更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

© 2015 Microchip Technology Inc.

4.6 命令说明

4.6.1 REGISTER READ, N BYTES（0x4E）

无论当前地址指针的设置如何，Register Read, N bytes命令均返回其后的N个字节。该命令通常应紧跟Set Address Pointer命令，可与其他读取命令结合使用。对此命令的响应为应答、数据和校验和。使用此命令能够读取的最大字节数为32。如果一个帧内存在其他读命令，则能够读取的最大字节数等于32减去帧中正在读取的字节数。使用此命令时，最先返回数据的LSB。

4.6.2 REGISTER WRITE, N BYTES（0x4D）

无论当前地址指针的设置如何，Register Write, N bytes命令均后跟待写入的N个字节。该命令通常应紧跟Set Address Pointer命令，可与其他写入命令结合使用。对此命令的响应为应答。使用此命令时能够写入的最大字节数为32。如果一个帧内存在其他写命令，则能够写入的最大字节数等于32减去帧中正在写入的字节数。使用此命令时，最先写入数据的LSB。

4.6.3 SET ADDRESS POINTER（0x41）

此命令用于为所有读写命令设置地址指针。该命令将地址指针视作后续两个字节中的命令参数，地址高字节后面跟有地址低字节。地址指针的长度为两个字节。如果地址指针在可接受的器件地址范围内，则返回一个应答信号。

4.6.4 SAVE REGISTERS TO FLASH（0x53）

Save Registers To Flash命令用于将所有校准和配置寄存器的内容复制到闪存中。其中包括寄存器集中的所有读/写寄存器。对此命令的响应为应答。

4.6.5 PAGE READ EEPROM（0x42）

Read Page EEPROM命令用于返回MCP39F511上的单个页中存储的16字节数据。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明，请参见**第10.0节“EEPROM”**。此命令将EEPROM页视作命令参数，即后续字节。对此命令的响应为应答、16字节数据和CRC校验和。

4.6.6 PAGE WRITE EEPROM（0x50）

Write Page EEPROM命令认为命令参数中有17个附加字节，即EEPROM页加16字节数据。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明，请参见**第10.0节“EEPROM”**。对此命令的响应为应答。

4.6.7 BULK ERASE EEPROM（0x4F）

Bulk Erase EEPROM命令将擦除整个EEPROM阵列并将阵列中的每个EEPROM存储单元恢复到0xFFFF状态。有关EEPROM的存储器构成的更多完整说明，请参见**第10.0节“EEPROM”**。对此命令的响应为应答。

4.6.8 AUTO-CALIBRATE GAIN（0x5A）

Auto-Calibration Gain命令用于启动单点校准，这通常是系统所需的全部操作。此命令根据写入相应寄存器中的目标值来校准RMS电流、RMS电压和有功功率。有关器件校准的更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。对此命令的响应为应答。

4.6.9 AUTO-CALIBRATE REACTIVE POWER GAIN（0x7A）

Auto-Calibrate Reactive Gain命令用于启动单点校准，以将测量的无功功率与目标无功功率相匹配。通常在PF = 0.5时完成。有关器件校准的更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

4.6.10 AUTO-CALIBRATE FREQUENCY（0x76）

如果应用未使用外部晶振并且运行的MCP39F511的内部振荡器关闭，则需要对工频指示值进行增益校准。增益工频（0x00AE）寄存器按照频率指示值与工频参考（0x0094）寄存器中设置的值相匹配的原则进行设置。有关器件校准的更多信息，请参见**第9.0节“MCP39F511校准”**。

© 2015 Microchip Technology Inc.

4.7 寄存器类型的符号

采用以下符号来说明MCP39F511中使用的各个寄存器：

表4-12： 寄存器类型的速记符号

符号	说明
u64	64位无符号寄存器
u32	32位无符号寄存器
s32	32位有符号寄存器
u16	16位无符号寄存器
s16	16位有符号寄存器
b32	包含离散布尔位设置的32位寄存器

4.8 单线传输模式

在单线传输模式下，器件会在每个计算周期结束时自动发送功率数据帧。这可在配置器件后实现单线通信。

单线传输帧包含20个字节：3个头字节、1个校验和以及16字节的功率数据（包括RMS电流、RMS电压、有功功率、无功功率和工频）。

表4-13： 单线传输帧

#	字节
1	头字节（0xAB）
2	头字节2（0xCD）
3	头字节3（0xEF）
4	电流RMS——字节0
5	电流RMS——字节1
6	电流RMS——字节2
7	电流RMS——字节3
8	电压RMS——字节0
9	电压RMS——字节1
10	有功功率——字节0
11	有功功率——字节1
12	有功功率——字节2
13	有功功率——字节3
14	无功功率——字节0
15	无功功率——字节1
16	无功功率——字节2
17	无功功率——字节3
18	工频——字节0
19	工频——字节1
20	校验和

注 1： 如需定制单线传输数据包，请联系Microchip销售办事处。

5.0 计算引擎（CE）说明

5.1 计算周期概述

MCP39F511 使用相干采样算法将采样速率锁相为每个线路周期具有整数个采样的工频，并报告 2^N 个线路周期时的所有功率输出量。此过程定义为计算周期，它取决于工频，因此工频的任何变化都会改变输出功率量的更新速率。

5.2 累积间隔参数

累积间隔定义为 2^N 个线路周期，其中 N 为累积间隔参数寄存器中的值。

5.3 原始电压和电流信号调理

图5-1显示了MCP39F511内部进行的第一次信号调理。此图中设置的所有条件会影响所有输出寄存器（RMS 电流、RMS 电压、有功功率、无功功率和视在功率等）。PGA 的增益以及 24 位 ADC 的关断和复位状态均通过系统配置寄存器控制。

对于直流应用，可通过直流电流失调寄存器来消除失调。要补偿电流通道和电压通道间的任何外部相位误差，可使用相位补偿寄存器。

有关器件校准的更多信息，请参见**第 9.0 节“MCP39F511 校准”**。

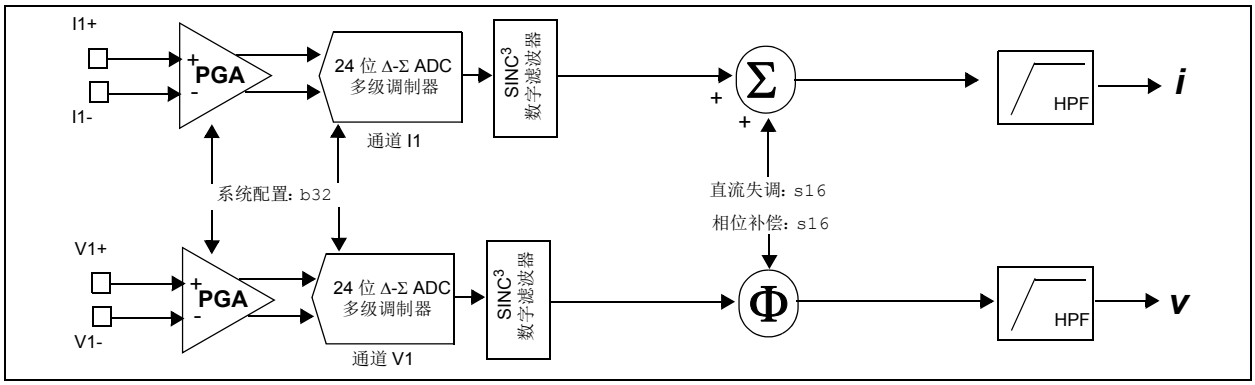


图5-1： 通道I1 和V1 信号流

5.4 RMS 电流和 RMS 电压

MCP39F511 器件提供真实的 RMS 测量值。MCP39F511 器件有两个用于电流和电压测量的同步采样 24 位 A/D 转换器。均方根的计算针对 2^N 个电流和电压采样执行，其中 N 由累积间隔参数寄存器定义。

公式 5-1： RMS 电流和电压

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{2^N-1} (i_n)^2}{2^N}} \qquad V_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{2^N-1} (v_n)^2}{2^N}}$$

© 2015 Microchip Technology Inc.

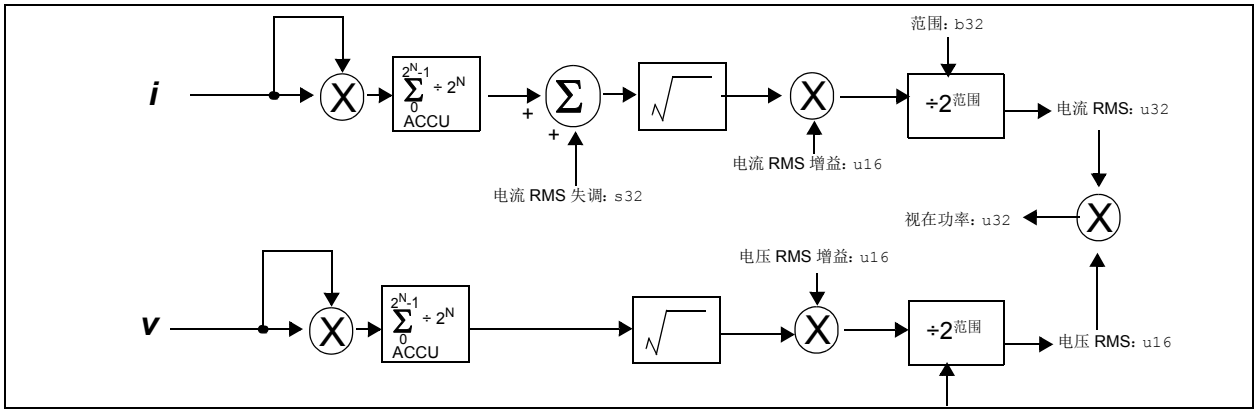


图5-2：　RMS 电流和电压计算信号流

5.5　功率和电能

MCP39F511 提供有功功率和无功功率的有符号功率数、有功电能的输入和输出寄存器以及四象限无功功率测量。对于该器件，将输入功率或电能视为正（负载消耗的功率或电能），将输出功率或电能视为负（负载产生的功率或电能）。下图表示MCP39F511 获得的测量结果。

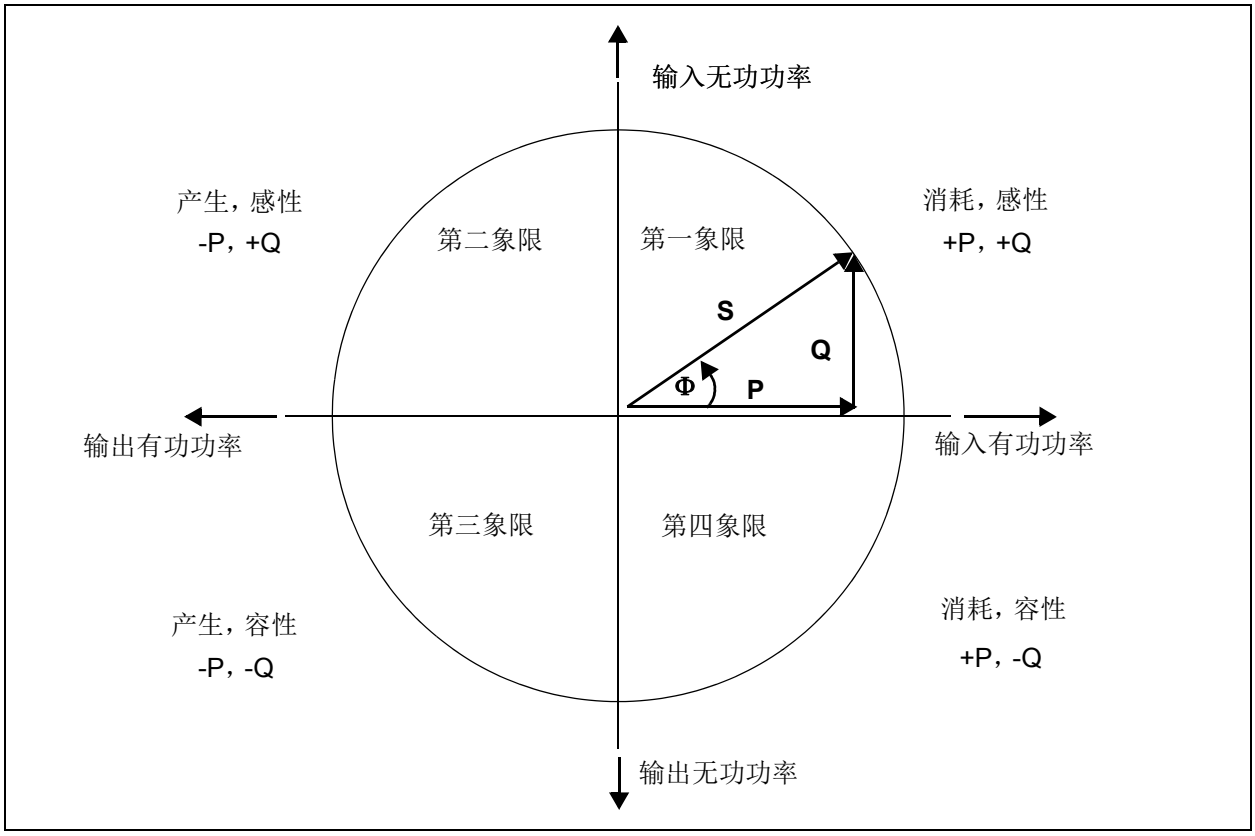


图5-3：　功率圆和功率三角形（S = 视在功率，P = 有功功率，Q = 无功功率）。

5.6 电能累积

如果已使能电能累积功能，则在每个计算周期结束时进行全部四个电能寄存器（输入/输出，有功/无功）的能量累积。有关电能控制寄存器的信息，请参见**第6.3节“系统状态寄存器”**。执行空载阈值测试的目的是确保测量的电能不低于空载阈值。如果超出该阈值，所有电能寄存器将进行默认能量分辨率为1 mWs的累积。

5.6.1 空载阈值

通过修改空载阈值寄存器的值设置空载阈值。该寄存器的单位是功率，默认分辨率为0.01W。默认值为100W或1.00W。低于1W的功率无法累积到任何电能寄存器。

5.7 视在功率（S）

此32位寄存器是用于指示最终视在功率的输出寄存器。视在功率是RMS电流与RMS电压的乘积，如公式5-2所示。

公式5-2： 视在功率（S）

$$S = I_{RMS} \times V_{RMS}$$

为换算视在功率指示值，计算引擎使用视在功率因子寄存器。下面的寄存器运算中说明了这一点，如公式5-3所示。

公式5-3： 视在功率（S）

$$S = \frac{电流RMS \times 电压RMS}{10^{视在功率因子}}$$

5.8 有功功率（P）

MCP39F511有两个同步采样A/D转换器。对于有功功率计算，瞬时电流和瞬时电压相乘得到瞬时功率。随后通过求平均值或计算直流分量的方式将瞬时功率转换为有功功率。

公式5-4用于控制更新有功功率输出寄存器前此累积中使用的采样数。

请注意，尽管该寄存器无符号，但有功功率的方向（输入或输出）可通过系统状态寄存器中的有功功率符号位确定。

公式5-4： 有功功率

$$P = \frac{1}{2^N} \sum_{k=0}^{k=2^N-1} V_k \times I_k$$

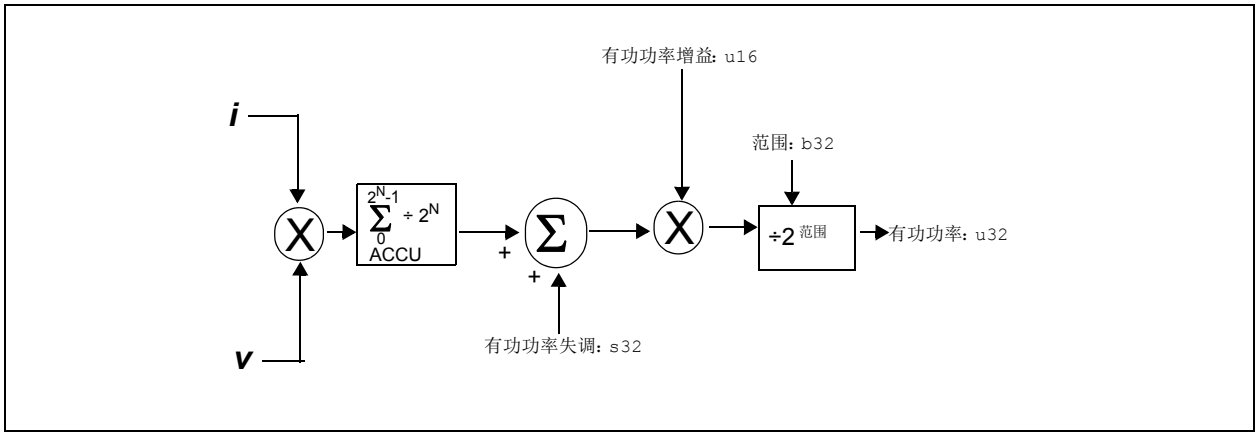


图5-4： 有功功率计算信号流

5.9 功率因数（PF）

功率因数通过P与S的比率来计算，即有功功率除以视在功率。

公式5-5： 功率因数

$$PF = \frac{P}{S}$$

功率因数读数存储在16位有符号寄存器（功率因数）中。此寄存器为有符号二进制补码寄存器，其中MSB表示功率因数的极性。正表示感性负载，负表示容性负载。每个LSB的权重等效于2^{-15}。最大寄存器值0x7FFF对应于功率因数1，最小寄存器值0x8000对应于功率因数-1。

© 2015 Microchip Technology Inc.

5.10 无功功率（Q）

在MCP39F511中，利用电压通道中的90度相移计算无功功率。同样的累积原理还适用于有功功率，其中ACCU用作累加器。任何轻载或剩余功率均可通过无功功率失调寄存器来消除。增益通过无功功率增益寄存器修正。最终输出为32位无符号值，该值位于无功功率寄存器中。

请注意，尽管该寄存器无符号，但功率的方向可通过系统状态寄存器中的无功功率符号位确定。

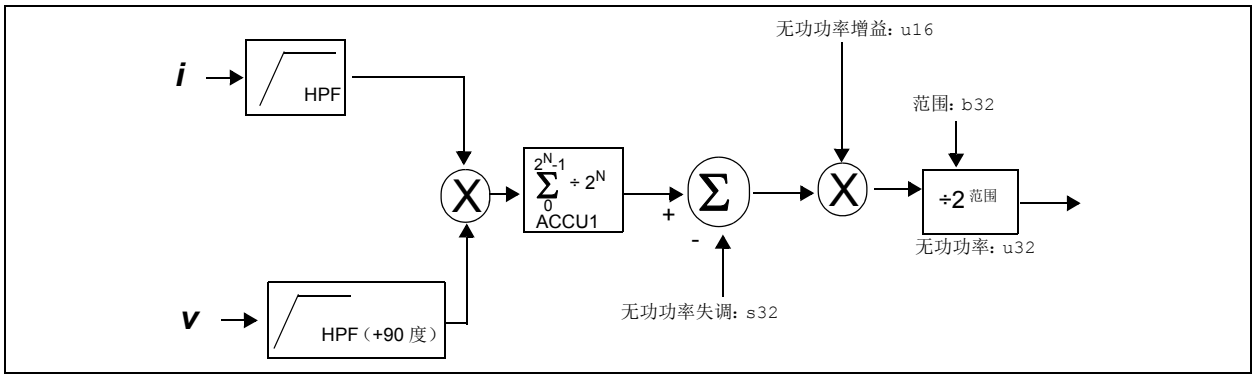


图5-5：　无功功率计算信号流

5.11 10位模拟输入

16位模拟输入寄存器的低10位包含10位ADC的输出。模拟输入的转换速率为每个计算周期一次。

热敏电阻电压可用于对计算引擎进行温度补偿。更多信息，请参见**第9.7节“温度补偿”**。

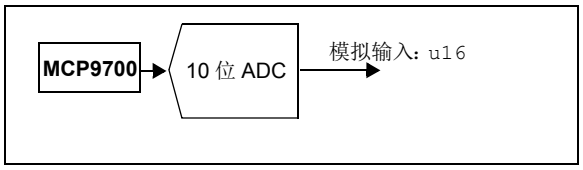


图5-6：　使用模拟输出温度传感器进行自动温度补偿

5.12 最小值和最大值记录

MCP39F511能够记录最小输出和最大输出，并根据位于下面列出的四个寄存器中的地址指针值将它们保存到总共8个寄存器中（4个最小值和4个最大值）。

在每个计算间隔后执行最小值和最大值测试。如果指针所指向值的电流测量值小于或大于最小值或最大值寄存器中的值，则相应更新该记录。

下面列出了这些寄存器：

- 最小值最大值指针1 → 最小值记录1，最大值记录1
- 最小值最大值指针2 → 最小值记录2，最大值记录2
- 最小值最大值指针3 → 最小值记录3，最大值记录3
- 最小值最大值指针4 → 最小值记录4，最大值记录4

仅输出量寄存器地址可以通过最小值/最大值指针进行跟踪。输出量寄存器定义为从RMS电压到视在功率（地址0x0006到0x001A）的寄存器。计算引擎将忽略其他所有地址。

请注意，无法通过最小值和最大值记录寄存器跟踪64位电能寄存器。

5.13 过零检测（ZCD）

过零检测模块在ZCD引脚上生成与电压输入引脚（V1+和V1-）上交流输入信号的过零点相干的逻辑脉冲输出。ZCD引脚可通过系统配置寄存器中的相应位使能和禁止。当使能时，将产生频率等于电压输入上的交流信号两倍的方波。图5-7表示在该模式下ZCD引脚上的信号与电压输入上的交流信号叠加。

如图5-8所示，第二种模式在每个过零点产生一个100 µs的脉冲。通过将系统配置寄存器中的相应位置1来切换模式。此外，该引脚的翻转或脉冲可以反相。ZCD反相位也位于系统配置寄存器中。

系统配置寄存器中存在两个可用于修改过零点的位。可通过将反相位置1来反相过零输出，也可通过将脉冲位置1以在每个过零点产生100 µs的脉冲。

请注意，信号路径中包含一个低通滤波器，允许过零检测电路滤除基波频率。然后，利用内部补偿电路重新获得由低通滤波器引入的相位延时，从而使延时小于100 µs。

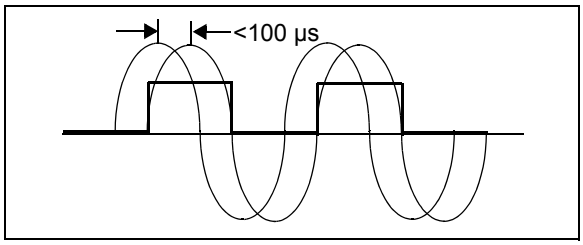


图5-7： *过零检测操作（同相，非脉冲）*

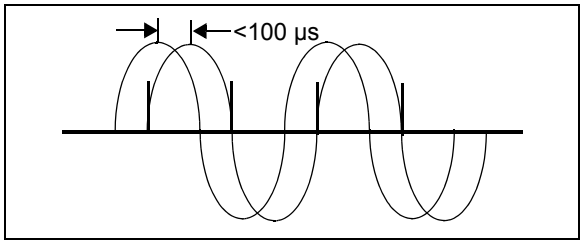


图5-8： *过零检测操作（同相，脉冲）*

© 2015 Microchip Technology Inc.

6.0 寄存器说明

6.1 完整的寄存器映射

下表介绍了MCP39F511器件的各个寄存器。

表6-1： MCP39F511寄存器映射

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
输出寄存器					
0x0000	指令指针	6.2	R	u16	读写命令的地址指针
0x0002	系统状态	6.3	R	b16	系统状态寄存器
0x0004	系统版本	6.3	R	u16	MCP39F511的系统版本日期代码信息，在Microchip工厂设置；格式为YMDD
0x0006	电压RMS	5.4	R	u16	RMS电压输出
0x0008	工频	9.6	R	u16	工频输出
0x000A	模拟输入电压	5.11	R	u16	10位SAR ADC的输出
0x000C	功率因数	5.9	R	s16	功率因数输出
0x000E	电流RMS	5.4	R	u32	RMS电流输出
0x0012	有功功率（注2）	5.8	R	u32	有功功率输出
0x0016	无功功率（注2）	5.10	R	u32	无功功率输出
0x001A	视在功率	5.7	R	u32	视在功率输出
0x001E	输入有功电能计数器	5.6	R	u64	有功电能的累加器，输入
0x0026	输出有功电能计数器	5.6	R	u64	有功电能的累加器，输出
0x002E	输入无功电能计数器	5.6	R	u64	无功电能的累加器，输入
0x0036	输出无功电能计数器	5.6	R	u64	无功电能的累加器，输出
0x003E	最小值记录1	5.12	R	u32	最小值/最大值指针1寄存器中输出量地址的最小值
0x0042	最小值记录2	5.12	R	u32	最小值/最大值指针2寄存器中输出量地址的最小值
0x0046	最小值记录3	5.12	R	u32	最小值/最大值指针3寄存器中输出量地址的最小值
0x004A	最小值记录4	5.12	R	u32	最小值/最大值指针4寄存器中输出量地址的最小值
0x004E	最大值记录1	5.12	R	u32	最小值/最大值指针1寄存器中输出量地址的最大值
0x0052	最大值记录2	5.12	R	u32	最小值/最大值指针2寄存器中输出量地址的最大值
0x0056	最大值记录3	5.12	R	u32	最小值/最大值指针3寄存器中输出量地址的最大值
0x005A	最大值记录4	5.12	R	u32	最小值/最大值指针4寄存器中输出量地址的最大值

注 1： 这些寄存器保留供EMI滤波器补偿使用，必要时可用于电源监视。可能需要根据PSU参数对这些寄存器进行特殊调整，请联系当地Microchip办事处获得更多支持。

2： 这些寄存器无符号，但它们的符号在系统状态寄存器中保存为独立位。

表6-1： MCP39F511 寄存器映射（续）

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
校准寄存器					
0x005E	校准寄存器分隔符	9.8	R/W	u16	可用于在启动时加载默认校准系数
0x0060	RMS电流增益	9.3	R/W	u16	RMS电流的增益校准因数
0x0062	RMS电压增益	9.3	R/W	u16	RMS电压的增益校准因数
0x0064	有功功率增益	9.3	R/W	u16	有功功率的增益校准因数
0x0066	无功功率增益	9.3	R/W	u16	有功功率的增益校准因数
0x0068	RMS电流失调	9.5.1	R/W	s32	RMS电流的失调校准因数
0x006C	有功功率失调	9.5.1	R/W	s32	有功功率的失调校准因数
0x0070	无功功率失调	9.5.1	R/W	s32	有功功率的失调校准因数
0x0074	直流电流失调	9.5.2	R/W	s16	直流电流的失调校准因数
0x0076	相位补偿	9.5	R/W	s16	相位补偿
0x0078	视在功率因子	5.7	R/W	u16	与I_{RMS}和V_{RMS}分辨率匹配的视在功率因子的位数
设计配置寄存器					
0x007A	系统配置	6.5	R/W	b32	器件配置（包括ADC配置）的控制
0x007E	事件配置	7.0	R/W	b16	包括继电器控制的事件引脚设置
0x0082	范围	6.6	R/W	b32	输出的换算因数
0x0086	校准电流	9.3.1	R/W	u32	将在单点校准期间使用的目标电流
0x008A	校准电压	9.3.1	R/W	u16	将在单点校准期间使用的目标电压
0x008C	校准有功功率	9.3.1	R/W	u32	将在单点校准期间使用的目标有功功率
0x0090	校准无功功率	9.3.1	R/W	u32	将在单点校准期间使用的目标无功功率
0x0094	工频参考	9.6.1	R/W	u16	标称工频的参考值
0x0096	保留	—	—	u32	保留
0x009A	保留	—	—	u32	保留
0x009E	累积间隔参数	5.10	R/W	u16	将在一个计算周期内使用的2^N个线路周期中的N
0x00A0	电压跌落限制	7.0	R/W	u16	RMS电压阈值，达到此值时记录事件标志
0x00A2	电压浪涌限制	7.0	R/W	u16	RMS电压阈值，达到此值时记录事件标志
0x00A4	过流限制	7.0	R/W	u32	RMS电流阈值，达到此值时记录事件标志
0x00A8	过功率限制	7.0	R/W	u32	有功功率限值，达到此值时记录事件标志

注 1： 这些寄存器保留供EMI滤波器补偿使用，必要时可用于电源监视。可能需要根据PSU参数对这些寄存器进行特殊调整，请联系当地Microchip办事处获得更多支持。

2： 这些寄存器无符号，但它们的符号在系统状态寄存器中保存为独立位。

© 2015 Microchip Technology Inc.

表6-1： MCP39F511 寄存器映射（续）

地址	寄存器名称	章节编号	读/写	数据类型	说明
EMI滤波器补偿寄存器（注1）					
0x00AC	保留	—	R	u16	保留
0x00AE	保留	—	R	u16	保留
0x00B0	保留	—	R	u16	保留
0x00B2	保留	—	R	u16	保留
0x00B4	保留	—	R	u16	保留
0x00B6	保留	—	R	u16	保留
0x00B8	保留	—	R	u16	保留
0x00BA	保留	—	R	u16	保留
0x00BC	保留	—	R	u16	保留
0x00BE	保留	—	R	u16	保留
0x00C0	保留	—	R	u16	保留
0x00C2	保留	—	R	u16	保留
0x00C4	保留	—	R	u16	保留
温度补偿寄存器					
0x00C6	频率的温度补偿	9.7	R/W	u16	用于随温度补偿工频指示值的校正因数
0x00C8	电流的温度补偿	9.7	R/W	u16	用于随温度补偿电流RMS指示值的校正因数
0x00CA	功率的温度补偿	9.7	R/W	u16	用于随温度补偿有功功率指示值的校正因数
0x00CC	环境温度参考电压	9.7	R/W	u16	用于存储校准期间的参考温度的寄存器
外设的控制寄存器					
0x00CE	PWM周期	8.2	R/W	u16	输入寄存器控制PWM周期
0x00D0	PWM占空比	8.3	R/W	u16	输入寄存器控制PWM占空比
0x00D2	保留	—	—	u16	保留
0x00D4	最小值最大值指针1	5.12	R/W	u16	最小值/最大值1输出的地址指针
0x00D6	最小值最大值指针2	5.12	R/W	u16	最小值/最大值2输出的地址指针
0x00D8	最小值最大值指针3	5.12	R/W	u16	最小值/最大值3输出的地址指针
0x00DA	最小值最大值指针4	5.12	R/W	u16	最小值/最大值4输出的地址指针
0x00DC	电能控制	5.6	R/W	u16	复位/启动电能累积的输入寄存器
0x00DE	PWM控制	8.1	R/W	u16	PWM开/关及其他PWM控制的输入寄存器
0x00E0	空载阈值	5.6.1	R/W	u16	电能计数的空载阈值

注 1： 这些寄存器保留供EMI滤波器补偿使用，必要时可用于电源监视。可能需要根据PSU参数对这些寄存器进行特殊调整，请联系当地Microchip办事处获得更多支持。

2： 这些寄存器无符号，但它们的符号在系统状态寄存器中保存为独立位。

6.2 地址指针寄存器

此16位无符号寄存器包含所有读写指令指向的地址。此寄存器仅通过Set Address Pointer命令执行写操作，否则将超出寄存器地址的可写范围。

6.3 系统状态寄存器

系统状态寄存器是一个只读寄存器，可用于检测引脚电平的不同状态，定义如下所示。

6.4 系统版本寄存器

系统版本寄存器由Microchip硬编码，包含计算引擎的日期代码信息。系统版本寄存器是一个采用YMDD格式的日期代码，其中年和月采用十六进制，日采用十进制（例如，0xF316 = 2015年2月16日）。

寄存器6-1： 系统状态寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	R-x	R-x	U-0	U-0
—	—	—	—	EVENT2	EVENT1	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	R-x	R-x	R-x	R-x	R-x	R-x
—	—	SIGN_PR	SIGN_PA	OVERPOW	OVERCUR	VSURGE	VSAG
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 15-12 **未实现：**读为0

bit 11 **EVENT2：**事件2检测算法的状态。该位锁存并且必须清零。
1 = 发生了事件2
0 = 未发生事件2

bit 10 **EVENT1：**事件1检测算法的状态。该位锁存并且必须清零。
1 = 发生了事件1
0 = 未发生事件1

bit 9-8 **未实现：**读为0

bit 7-6 **未实现：**读为0

bit 5 **SIGN_PR：**无功功率的符号
1 = 无功功率为正、呈感性且位于第1和第2象限
0 = 无功功率为负、呈容性且位于第3和第4象限

bit 4 **SIGN_PA：**有功功率的符号（输入/输出有功功率的符号）
1 = 有功功率为正（输入）且位于第1和第4象限
0 = 有功功率为负（输出）且位于第2和第3象限

bit 3 **OVERPOW：**过功率检测算法的状态
1 = 已超出过功率阈值
0 = 未超出过功率阈值

bit 2 **OVERCUR：**过流检测算法的状态
1 = 已超出过流阈值
0 = 未超出过流阈值

bit 1 **VSURGE：**电压浪涌检测算法的状态。该位锁存并且必须清零。
1 = 已超出浪涌阈值
0 = 未超出浪涌阈值

bit 0 **VSAG：**电压跌落检测算法的状态。该位锁存并且必须清零。
1 = 已超出跌落阈值
0 = 未超出跌落阈值

© 2015 Microchip Technology Inc.

6.5 系统配置

系统配置寄存器包含用于实现以下控制的位：

- PGA设置
- ADC复位状态
- ADC关断状态
- 参考电压微调
- 单线自动传输

下面几节将介绍这些选项。

6.5.1 可编程增益放大器（PGA）

每个24位Δ-Σ ADC的前端有两个可编程增益放大器（Programmable Gain Amplifier，PGA）。这两个放大器具备以下功能：

- 将输入的共模电压从A_{GND}转换为介于A_{GND}和A_{VDD}之间的内部电平。
- 放大输入差分信号

共模转换不会改变差分信号而是进入共模模式，以便正确地放大输入信号。

PGA模块可用于放大极弱的信号，但不得超出Δ-Σ调制器的差分输入范围。PGA由寄存器6-2系统配置寄存器中的PGA_CHn<2:0>位控制。表6-2给出了PGA的增益设置。

表6-2： PGA配置设置（注1）

增益 PGA_CHn<2:0>			增益（V/V）	增益（dB）	V_{IN}范围（V）
0	0	0	1	0	±0.5
0	0	1	2	6	±0.25
0	1	0	4	12	±0.125
0	1	1	8	18	±0.0625
1	0	0	16	24	±0.03125
1	0	1	32	30	±0.015625

注 1： 两个未定义设置（110和111）为G = 1。

6.5.2 24位ADC复位模式（软复位模式）

只能通过将系统配置寄存器中的RESET<1:0>位置为高电平来进入24位ADC复位（也称软复位）模式。此模式定义为转换器有效但其输出被强制为0的状态。

6.5.3 ADC关断模式

ADC关断模式定义为转换器及其偏置关闭，从而仅消耗泄漏电流的状态。当关断位复位为0时，将使能模拟偏置、时钟和数字电路。

每个转换器均可单独设置为关断模式。只能通过编程系统配置寄存器中的SHUTDOWN<1:0>位使用此模式。

6.5.4 V_{REF}温度补偿

如果需要，用户可通过校准温度漂移来实现超低V_{REF}漂移。

内部参考电压构成了专用的电路和算法，用于补偿一阶和二阶温度系数。此补偿能够在-40°C到+125°C的整个温度范围内实现超低温度系数（典型值为10 ppm/°C）。此温度系数随部件的不同而不同。

可通过系统配置寄存器（0x0042）调整各器件的温度系数。此寄存器的默认值设置为0x42。图6-1给出了内部参考电压的温度系数相对于VREFCAL寄存器代码的典型变化曲线。

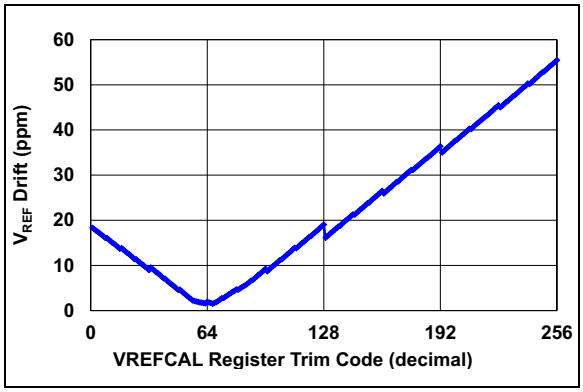


图6-1： V_{REF}温度系数—— VREFCAL微调代码曲线图

寄存器6-2：　　系统配置寄存器

U-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1
—	—	PGA_CH1<2:0>			PGA_CH0<2:0>		
bit 31							bit 24

R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0
VREFCAL<7:0>							
bit 23							bit 16

U-0	U-0	U-0	R/W	R/W	R/W	U-0	R/W-0
—	—	—	ZCD_INV	ZCD_PULS	ZCD_OUTPUT_DIS	—	SINGLE_WIRE
bit 15							bit 8

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	U-0
TEMPCOMP	RESET<1:0>		SHUTDOWN<1:0>		VREFEXT	—	—
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 31-30　**未实现：**读为0

bit 29-27　**PGA_CH1 <2:0>：**通道1的PGA设置
111 = 保留（增益 = 1）
110 = 保留（增益 = 1）
101 = 增益为32
100 = 增益为16
011 = 增益为8
010 = 增益为4
001 = 增益为2
000 = 增益为1（**默认值**）

bit 26-24　**PGA_CH0<2:0>：**通道0的PGA设置
111 = 保留（增益 = 1）
110 = 保留（增益 = 1）
101 = 增益为32
100 = 增益为16
011 = 增益为8（默认值）
010 = 增益为4
001 = 增益为2
000 = 增益为1（**默认值**）

bit 23-16　**VREFCAL<n>：**内部参考电压温度系数寄存器值（有关完整说明，见**第6.5.4节“V_{REF}温度补偿”**）

bit 15-13　**未实现：**读为0

bit 12　**ZCD_INV：**过零检测输出反相
1 = ZCD反相
0 = ZCD不反相（**默认值**）

bit 11　**ZCD_PULS：**过零检测脉冲模式
1 = ZCD输出在过零点产生100 μs脉冲
0 = ZCD输出在过零点改变逻辑状态（**默认值**）

bit 10　**ZCD_OUTPUT_DIS：**禁止过零点输出引脚
1 = 禁止ZCD输出
0 = 使能ZCD输出（默认值）

© 2015 Microchip Technology Inc.

寄存器6-2：　系统配置寄存器（续）

bit 9　未实现：读为0

bit 8　**SINGLE_WIRE**：单线使能位
1 = 使能单线传输
0 = 禁止单线传输（默认值）

bit 7　**TEMPCOMP**：温度补偿使能位
1 = 使能温度补偿
0 = 禁止温度补偿（默认值）

bit 6-5　**RESET<1:0>**：ADC的复位模式设置
11 = I1和V1均处于复位模式
10 = V1 ADC处于复位模式
01 = I1 ADC处于复位模式
00 = 两个ADC均不处于复位模式（默认值）

bit 4-3　**SHUTDOWN<1:0>**：ADC的关断模式设置
11 = I1和V1均处于关断模式
10 = V1 ADC处于关断模式
01 = I1 ADC处于关断模式
00 = 两个ADC均不处于关断模式（默认值）

bit 2　**VREFEXT**：内部参考电压关断控制
1 = 禁止内部参考电压
0 = 使能内部参考电压（默认值）

bit 1-0　未实现：读为0

寄存器6-3：　电能累积控制寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	—	ENRG_CNTRL
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 15-1　未实现：读为0

bit 0　**ENRG_CNTRL**：电能累积控制位
1 = 电能开启，所有寄存器正在累积
0 = 电能累计关闭，所有电能累积寄存器均复位为0（默认值）

6.6 范围寄存器

范围寄存器为32位寄存器，其中包含以下输出的位右移位数，下文将其分成多个独立字节进行了定义：

- RMS电流
- RMS电压
- 功率（有功功率、无功功率和视在功率）

请注意，功率范围字节可作用于有功功率寄存器和无功功率寄存器，并为它们设置相同的范围。

该寄存器有两大用途：位右移位数（除以$2^{范围}$）必须足够大以防止输出寄存器溢出，同时又必须足够低以便获得所需的输出分辨率。用户应负责正确设置该寄存器，以确保针对给定电表设计进行适当的输出操作。

更多信息与使用示例，请参见第9.3节“单位功率因数下的单点增益校准”。

寄存器6-4： 范围寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 31							bit 24

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1
POWER<7:0>							
bit 23							bit 16

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-0	R/W-0
CURRENT<7:0>							
bit 15							bit 8

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0
VOLTAGE<7:0>							
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 32-24	**未实现：**读为0
bit 23-16	**POWER<7:0>：**设置有功功率输出寄存器和无功功率输出寄存器的位右移位数
bit 15-8	**CURRENT<7:0>：**设置电流RMS输出寄存器的位右移位数
bit 7-0	**VOLTAGE<7:0>：**设置电压RMS输出寄存器的位右移位数

© 2015 Microchip Technology Inc.

7.0 事件输出引脚/事件配置寄存器

7.1 事件引脚

MCP39F511器件具有2个引脚，共有3种可能的配置。这些配置为：

1. 没有事件映射到该引脚
2. 电压浪涌、电压跌落、过流或过功率事件映射到该引脚。多个事件可映射到同一引脚。
3. 独立手动控制两个引脚

根据测量的功率、电流或电压，这三种配置允许控制外部中断或硬件。下面的事件配置寄存器说明了这些事件和引脚的配置方法。

7.2 电压跌落和电压浪涌检测

电压跌落和电压浪涌事件报警的工作方式与过流和过功率事件的报警有所不同，其他事件报警均为每个计算周期测试一次。而这两种事件报警设计为在出现报警条件时提供更加快速的中断。请注意，由于检测时间小于一个线路周期，因此这两种事件均没有关联的保持寄存器。

计算引擎会持续跟踪后续的输入电压均方值，如下面的公式定义：

公式7-1：

$$V_{SA} = \frac{2 \times f_{LINE}}{f_{SAMPLE}} \times \left[\sum_{n = -\frac{f_{SAMPLE}}{2 \times f_{LINE}} - 1}^{0} V_n^2 \right]$$

因此，每当数据就绪时，都会将V_{SA}的值与电压跌落限制寄存器和电压浪涌限制寄存器中设置的可编程阈值进行比较，以决定是否应将标志置1。如果这两种事件之一被掩码为事件1引脚或事件2引脚，则会在这些引脚上提供逻辑高电平中断。

跌落或浪涌事件可用于快速确定系统中是否发生了电源故障。

寄存器7-1：　事件配置寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 31							bit 24

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
OVERPOW_PIN	OVERCUR_PIN	VSURGE_PIN	VSAG_PIN	OVERPOW_PIN	OVERCUR_PIN	VSURGE_PIN	VSAG_PIN
位23							bit 16
U-0	U-0	U-0	U-0	R/W	R/W	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	OVERCUR_CL	OVERPOW_CL	VSUR_CL	VSAG_CL
位15							bit 8

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
VSUR_LA	VSAG_LA	OVERPOW_LA	OVERCUR_LA	VSUR_TST	VSAG_TST	OVERPOW_TST	OVERCUR_TST
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 31-24　**未实现：**读为0

bit 23　**OVERPOW_PIN：**过功率事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件2引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 22　**OVERCUR_PIN：**过流事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件2引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 21　**VSURGE_PIN：**电压浪涌事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件2引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 20　**VSAG_PIN：**电压跌落事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件2引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 19　**OVERPOW_PIN：**过功率事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件1引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 18　**OVERCUR_PIN：**过流事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件1引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 17　**VSURGE_PIN：**电压浪涌事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件1引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 16　**VSAG_PIN：**电压跌落事件的引脚操作
1 = 事件仅映射到事件1引脚
0 = 事件不映射到引脚（默认值）

bit 15　**EVENT2_MANU：**手动控制事件2引脚
1 = 引脚为逻辑高电平
0 = 引脚为逻辑低电平（默认值）

bit 14　**EVENT1_MANU：**手动控制事件1引脚
1 = 引脚为逻辑高电平
0 = 引脚为逻辑低电平（默认值）

bit 15-12　**未实现：**读为0

© 2015 Microchip Technology Inc.

寄存器7-1：　事件配置寄存器（续）

bit 11　**OVERCUR_CL：**过流事件的复位或清除位
1 = 清除事件
0 = 未清除事件（**默认值**）

bit 10　**OVERPOW_CL：**过功率事件的复位或清除位
1 = 清除事件
0 = 未清除事件（**默认值**）

bit 9　**VSUR_CL：**电压浪涌事件的复位或清除位
1 = 清除事件
0 = 未清除事件（**默认值**）

bit 8　**VSAG_CL：**电压跌落事件的复位或清除位
1 = 清除事件
0 = 未清除事件（**默认值**）

bit 7　**VSUR_LA：**电压浪涌事件的锁存控制
1 = 事件锁存并且需要清除
0 = 事件不锁存

bit 6　**VSAG_LA：**电压跌落事件的锁存控制
1 = 事件锁存并且需要清除
0 = 事件不锁存

bit 5　**OVERPOW_LA：**过功率事件的锁存控制
1 = 事件锁存并且需要清除
0 = 事件不锁存

bit 4　**OVERCUR_LA：**过流事件的锁存控制
1 = 事件锁存并且需要清除
0 = 事件不锁存

bit 3　**VSUR_TST：**电压浪涌事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭

bit 2　**VSAG_TST：**电压跌落事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭

bit 1　**OVERPOW_TST：**过功率事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭

bit 0　**OVERCUR_TST：**过流事件的测试控制
1 = 模拟事件开启
0 = 模拟事件关闭

注：　向清除位写入1以清除真实事件或通过测试位模拟并恢复为状态0的事件。

8.0 脉宽调制（PWM）

8.1 概述

PWM输出引脚可提供分辨率最高为10位的脉宽调制信号。PWM输出由MCP39F511内基频为16 MHz的内部定时器（本节介绍的F_{TIMER}）控制。基准周期定义为P_{TIMER}，大小为1/(16 MHz)。由于采用4 MHz内部振荡器或4 MHz的外部晶振，因此时基固定为16 MHz。

PWM的输出仅在PWM控制寄存器的值为0x0001时激活。PWM输出关闭时，寄存器的值为0x0000。

PWM输出（图8-2）具有一个时基（周期）以及一段输出保持高电平的时间（占空比）。PWM的频率是周期的倒数（1/周期）。

有两个用于控制PWM输出的寄存器，分别为PWM周期寄存器和PWM占空比寄存器。

8位PWM周期由一个包含周期位和预分频比位的16位寄存器控制。PWM周期位是寄存器的8个最高有效位，预分频值由2个最低有效位表示。这两个值共同构成PWM周期；请参见图8-1。

10位PWM占空比由16位寄存器控制，其中8个最高有效位是8个MSB，2个LSB对应10位值的2个LSB。

下面给出了一个寄存器值的示例，其中，PWM频率为255（8位值），占空比为1023（10位值），预分频比设置为16分频（1:1）。

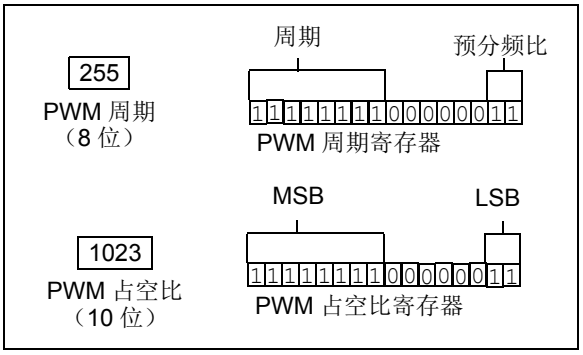


图8-1： PWM周期和占空比寄存器

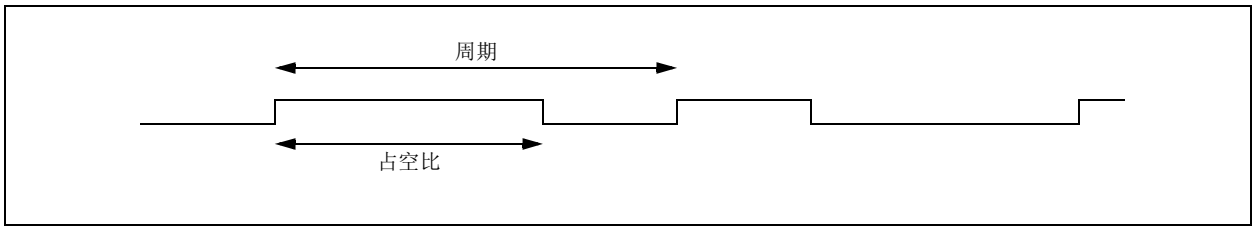


图8-2： PWM输出

8.2 PWM周期

通过写入PWM周期寄存器的PWM周期位可指定PWM周期。PWM周期可由以下公式计算：

公式8-1：

$$PWM\,周期 = [(PWM\,频率) + 1] \times 2 \times P_{TIMER} \times (预分频值)$$

PWM周期定义为1/[PWM周期]。当P_{TIMER}与PWM周期相等时，在下一个递增周期将发生以下3个事件：

- PWM定时器清零
- PWM引脚置1（例外情况：如果PWM占空比 = 0%，PWM引脚将不会置1。）

© 2015 Microchip Technology Inc.

8.3 PWM 占空比

可通过写入PWM占空比寄存器指定PWM占空比。提供最高10位的分辨率。PWM占空比寄存器包含8个MSb和2个LSb。以下公式用于按百分比或时间计算PWM占空比：

公式8-1：

PWM 占空比（%）= (PWM_DUTY_CYCLE)/(4 × PWM_FREQUENCY)

PWM 占空比（以秒为单位的时间）= (PWM_DUTY_CYCLE) × PWM_TIMER_PERIOD/2 × (预分频值)

PWM占空比可随时写入，但在经过一段完整的时间前不会锁存占空比值。

PWM寄存器和一个2位的内部锁存器用于给PWM占空比提供双重缓冲。这种双重缓冲极其重要，可以避免在PWM工作过程中产生毛刺。

公式8-2给出了给定PWM频率的最大PWM分辨率（位）。

公式8-2：　基于PWM频率函数的最大PWM分辨率

$$PWM\ 分辨率（最大值）= \frac{log\left(\frac{2 \cdot F_{TIMER}}{F_{PWM}}\right)}{log(2)}\ 位$$

注： 如果PWM占空比值比PWM周期长，PWM引脚将不会清零。

表8-2：　PWM_TIMER_FREQ = 16 MHz（默认值）时的PWM频率和分辨率示例

PWM频率	1.95 kHz	31 kHz	62 kHz	2.67 MHz	4 MHz	8 MHz
定时器预分频值	16	1	1	1	1	1
PWM频率值	FFh	FFh	7Fh	3Fh	02h	01h
最大分辨率（位）	10	10	9	4	3	2

寄存器8-1： PWM周期寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1	R/W-1
PWM_P<7:0>							
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	PRE<1:0>	
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 15-8 **PWM_P<7:0>**：8位PWM周期值

bit 7-2 未实现：读为0

bit 1-0 **PRE<1:0>**：PWM预分频值
11 = 未使用
10 = 1:16
01 = 1:4
00 = 1:1（默认值）

寄存器8-2： PWM占空比寄存器

R/W-0	R/W-0	R/W-1	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
DUTY<9:2>							
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	DUTY<1:0>	
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 15-8 **DUTY<9:2>**：10位占空比值的高8位

bit 7-2 未实现：读为0

bit 1-0 **DUTY<1:0>**：10位占空比值的低2位

© 2015 Microchip Technology Inc.

寄存器8-3： PWM控制寄存器

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0
—	—	—	—	—	—	—	—
bit 15							bit 8

U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	U-0	R/W-0
—	—	—	—	—	—	—	PWM_CNTRL
bit 7							bit 0

图注：			
R = 可读位	W = 可写位	U = 未实现位，读为0	
-n = POR时的值	1 = 置1	0 = 清零	x = 未知

bit 15-1 **未实现：**读为0

bit 0 **PWM_CNTRL：**PWM控制
1 = PWM开启
0 = PWM关闭（默认值）

9.0 MCP39F511校准

9.1 概述

校准可对系统中的ADC增益误差、元件容差和总体噪声进行补偿。该器件提供了片上校准算法，可快速执行简单的系统校准。MCP39F511上的A/D转换器具有优异的模拟性能，可进行单点校准，并通过一条校准命令实现精确测量。

可使用预定义的自动校准命令进行校准，也可以直接写入校准寄存器进行校准。如果用户需要额外的校准点（交流失调、相位补偿和直流失调），可以使用相应的校准寄存器，本节将分别介绍这些寄存器。

9.2 校准顺序

校准时需遵循正确的步骤。

如果器件连接了外部温度传感器，则应首先进行温度校准，方法是读取热敏电阻电压寄存器的值，然后通过将其写入环境温度参考电压寄存器来复制该值。

如果器件使用内部振荡器工作，那么接下来必须使用`Auto-Calibration Frequency`命令校准工频。

然后应该在单位功率因数下进行单点增益校准。

如果关注的是非单位位移功率因数测量，下一步应当进行相位校准，然后是无功功率增益校准。

校准顺序总结如下：

1. 温度校准（可选）
2. 工频校准（可选）
3. PF = 1时的增益校准
4. PF ≠ 1时的相位校准（可选）
5. PF ≠ 1时的无功功率增益校准（可选）

9.3 单位功率因数下的单点增益校准

如果在交流模式下使用器件时导通高通滤波器，则可以移除大部分失调误差，此时只需要进行单点增益校准。

对相应寄存器执行写操作可以手动将增益寄存器正确设置为产生所需输出。一种替代方法是使用本节介绍的自动校准命令。

9.3.1 使用`Auto-Calibration Gain`命令

应用与目标校准电流、校准电压和校准有功功率寄存器中的值等效的稳定参考电压和电流后，即可向器件发出`Auto-Calibration Gain`命令。

校准成功后（响应 = ACK），可发出`Save Registers to Flash`命令来保存器件计算的校准常量。

发出`Auto-Calibration Gain`命令后，以下寄存器将置1：

- RMS电流增益
- RMS电压增益
- 有功功率增益

该命令发出后，MCP39F511会尝试根据如下公式更改增益寄存器，从而使全部三个输出量的测量值与预期值相匹配：

公式9-1：

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \bullet \frac{预期值}{测量值}$$

此公式同时适用于RMS电压、RMS电流和有功功率。由于全部三个输出量的增益寄存器均为16位数字，因此预期值与测量值（可通过更改范围寄存器进行修改）的比值以及先前增益必须确保公式能够得到一个有效的数字。此处的限制设置范围为25,000到65,535。对于全部三种输出量，如果新增益在此限制范围内，则会返回ACK以指示校准成功，否则命令将返回NAK以指示校准尝试失败。

用户应负责确保范围设置、PGA设置和硬件设计设置均正确无误，以便能够使用该命令成功校准。

9.3.2 有效校准的范围选择示例

在本示例中，用户对未经校准的系统施加1A的校准电流。在系统特定的电流检测电阻值和PGA增益等条件下，RMS电流寄存器的指示值为2300。用户希望在应用1A电流后，RMS电流寄存器中的值为1000，即1.000A（分辨率为1 mA）。其他给定值为：

- RMS电流增益的现有值为33480
- 范围的现有值为12

© 2015 Microchip Technology Inc.

使用公式9-1计算$Gain_{NEW}$，结果如下：

公式9-2：

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{预期值}{测量值} = 33480 \times \frac{1000}{2300} = 14556$$

$$14556 < 25,000$$

当使用Auto-Calibration Gain命令时，结果将为校准失败或者MCP39F511返回NAK，这是因为$Gain_{NEW}$的结果小于20,000。

解决方案是利用范围寄存器使测量值接近预期值，从而使计算出的新增益值在上文指定的限制范围内。

在与RMS电流增益寄存器相乘之后，范围寄存器会指定位右移位数（等效于除以2）。有关范围寄存器的信息，请参见**第5.0节“计算引擎（CE）说明”**。

范围寄存器每增加1个单位，计算中就要右移一位或者除以2。将电流范围从12增大至13时，新测得的RMS电流寄存器值为2300/2 = 1150。现在预期值（1000）与测量值（1150）更为接近，因此预计新增益应在限制范围内：

公式9-3：

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{预期值}{测量值} = 33480 \times \frac{1000}{1150} = 29113$$

$$25,000 < 29113 < 65535$$

新的增益结果在限制范围内，器件成功校准了RMS电流并返回ACK。

可以看出，如果将范围设置为14，新增益结果仍会在限制范围内（$Gain_{NEW}$ = 58226）。不过，由于增益值接近16位增益寄存器的限制，因此不同系统间的差异（元件容差等）可能导致无法成功校准某些单元并出现问题。最好的办法是选择一个范围值，将新增益置于上述增益寄存器范围的中间位置。

在第二个示例中，用户希望在施加1A校准电流后获得1.0000A输出（分辨率为0.1 mA）。该示例的初始值与前一个示例相同：

公式9-4：

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{预期值}{测量值} = 33480 \times \frac{10000}{2300} = 145565$$

$$145565 > 65535$$

$Gain_{NEW}$远大于16位增益寄存器的限制65535，因此必须引入更少的位右移位数才能使测量值更接近预期值。用户需要计算出可以使测量值小于65535的位移位数。该值估算为：

公式9-5：

$$\frac{145565}{65535} = 2.2$$

2.2舍入为最接近的整数值2。范围值变为12 – 2 = 10；位右移减少了2位。

新的测量值将为2300 x 2^2 = 9200。

公式9-6：

$$GAIN_{NEW} = GAIN_{OLD} \times \frac{预期值}{测量值} = 33480 \times \frac{10000}{9200} = 36391$$

$$25,000 < 36391 < 65535$$

新的增益结果在限制范围内，器件成功校准了RMS电流并返回ACK。

9.4 校准相位补偿寄存器

相位补偿用于调整电流与电压路径之间的任意相位延时。此步骤需要正弦电流和电压波形，并且要求二者之间存在明显相移且均具有较大幅值。推荐使用0.5的位移功率因数进行校准。相位补偿寄存器的计算步骤如下：

1. 确定测量功率因数（PF_{MEAS}）对应相角与期望功率因数（PF_{EXP}）对应相角之间的差值，以度为单位。

公式9-7：

$$PF_{MEAS} = \frac{功率因数寄存器的值}{32768}$$

$$ANGLE_{MEAS}(°) = acos(PF_{MEAS}) \times \frac{180}{\Pi}$$

$$ANGLE_{EXP}(°) = acos(PF_{EXP}) \times \frac{180}{\Pi}$$

2. 将所得结果从度数转换为公式9-8提供的分辨率：

公式9-8：

$$\Phi = (ANGLE_{MEAS} - ANGLE_{EXP}) \times 40$$

3. 将该额外相位补偿与当前相位补偿值相加，然后更新寄存器。在公式9-9中，应该以有符号的8位二进制补码值的形式进行计算。所得8位结果将置于16位相位补偿寄存器的最低有效字节中。

公式9-9：

$$相位补偿_{NEW} = 相位补偿_{OLD} + \Phi$$

根据公式9-9可知，最大相角补偿可达到±3.2度。如果需要更大相移，请联系当地Microchip销售办事处。

9.5 失调/空载校准

在失调校准期间，不应向系统中施加线路电压或电流。系统应处于空载状态。

9.5.1 交流失调校准

以下三个寄存器与交流失调校准相关：

- RMS电流失调
- 有功功率失调
- 无功功率失调

计算交流失调值时，应根据图5-2、图5-4和**第5.10节“无功功率（Q）”**中的框图对相应的增益和范围寄存器加以考虑。

失调校准成功后，可发出`Save Registers to Flash`命令来保存器件计算的校准常量。

9.5.2 直流失调校准

在直流应用中，电流和电压通道上的高通滤波器处于关断状态。为消除电流中剩余的直流值，直流失调电流寄存器会在ADC之后，任意其他功能之前立即添加到A/D转换。

9.6 校准工频寄存器

工频寄存器包含16位数字，其值与输入工频相等，因为该值在电压通道上测得。直流模式下会停止计算，寄存器值为零。

只有在45 Hz到65 Hz范围内的工频测量值有效。

9.6.1 使用`Auto-Calibration Frequency`命令

应用稳定参考电压以及恒定工频（此工频值等于工频参考寄存器中的值）后，即可向器件发出`Auto-Calibration Frequency`命令。

校准成功后（响应 = ACK），可发出`Save Registers to Flash`命令来保存器件计算的校准常量。

发出`Auto-Calibration Frequency`命令后，如下寄存器将置1：

- 工频增益

请注意，只有在内部振荡器关闭时才需要使用此命令。公式9-1给出了用于计算新增益值的公式。

© 2015 Microchip Technology Inc.

9.7 温度补偿

MCP39F511测量温度传感器的指示值，并使用该值对电流检测电阻的温度变化和内部RC振荡器的频率进行补偿。

这一公式同样适用于工频、RMS电流、有功功率和无功功率。温度补偿系数取决于相应补偿寄存器的16位有符号整型值。

公式9-10：

$$y = x \times (1 + c \times (T - T_{CAL}))$$

$$c = \frac{\text{温度补偿寄存器}}{2^M}$$

其中：

x = 未经补偿的输出（对应于工频、RMS电流、有功功率和无功功率）

y = 补偿后的输出

c = 温度补偿系数（取决于电流检测电阻的温度系数或内部RC振荡器的温度频率漂移）。三个寄存器分别用于工频补偿、电流补偿和功率补偿（有功功率和无功功率）

T = 热敏电阻电压（10位ADC单元中）

T_{CAL} = 环境温度参考电压。该参考电压应在校准步骤开始时进行设置，方法是读取热敏电阻电压，然后将其值写入环境温度参考电压寄存器。

M = 26（对于工频补偿）

= 27（对于电流、有功功率和无功功率补偿）

校准温度时，补偿系数的作用非常小。如果校准温度与器件温度之间的温差很大，则需要调节系数。建议使用默认值作为起始点。

9.8 恢复出厂默认校准值

完成用户校准并发出`Save to Flash`命令后，即可恢复出厂默认校准值。可通过将0xA5A5写入校准分隔符寄存器，发出`Save to Flash`命令，然后复位器件来完成此操作。该过程将恢复所有出厂校准值并一直保持这种状态，直到再次执行校准并发出`Save to Flash`命令为止。

10.0 EEPROM

数据EEPROM是一个16位宽的存储器。每个字均可直接寻址，并且可在整个V_{DD}范围内进行读写。MCP39F511的EEPROM中具有256个16位字，分为32页，共512字节。

可通过以下三种命令来访问EEPROM阵列。

- EEPROM Page Read（0x42）
- EEPROM Page Write（0x50）
- EEPROM Bulk Erase（0x4F）

表10-1： EEPROM命令和器件响应示例

命令	命令ID字节0	字节1-N	字节数	成功响应
Page Read EEPROM	0x42	页	2	ACK、数据和校验和
Page Write EEPROM	0x50	页 + 16字节数据	18	ACK
Bulk Erase EEPROM	0x4F	---------	1	ACK

表10-2： MCP39F511 EEPROM构成

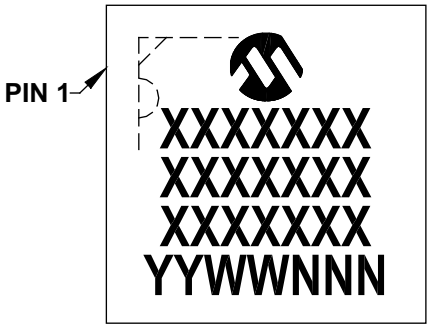
页		00	02	04	06	08	0A	0C	0E
0	0000	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
1	0010	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
2	0020	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
3	0030	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
4	0040	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
5	0050	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
6	0060	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
7	0070	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
8	0080	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
9	0090	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
10	00A0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
11	00B0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
12	00C0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
13	00D0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
14	00E0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
15	00F0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
16	0100	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
17	0110	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
18	0120	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
19	0130	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
20	0140	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
21	0150	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
22	0160	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
23	0170	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
24	0180	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
25	0190	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
26	01A0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
27	01B0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
28	01C0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
29	01D0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
30	01E0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF
31	01F0	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF	FFFF

© 2015 Microchip Technology Inc.

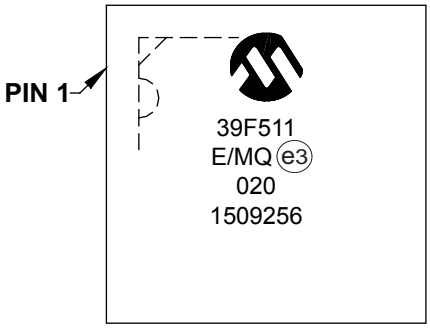
11.0 封装信息

11.1 封装标识信息

28 引脚 QFN（5x5x0.9 mm）



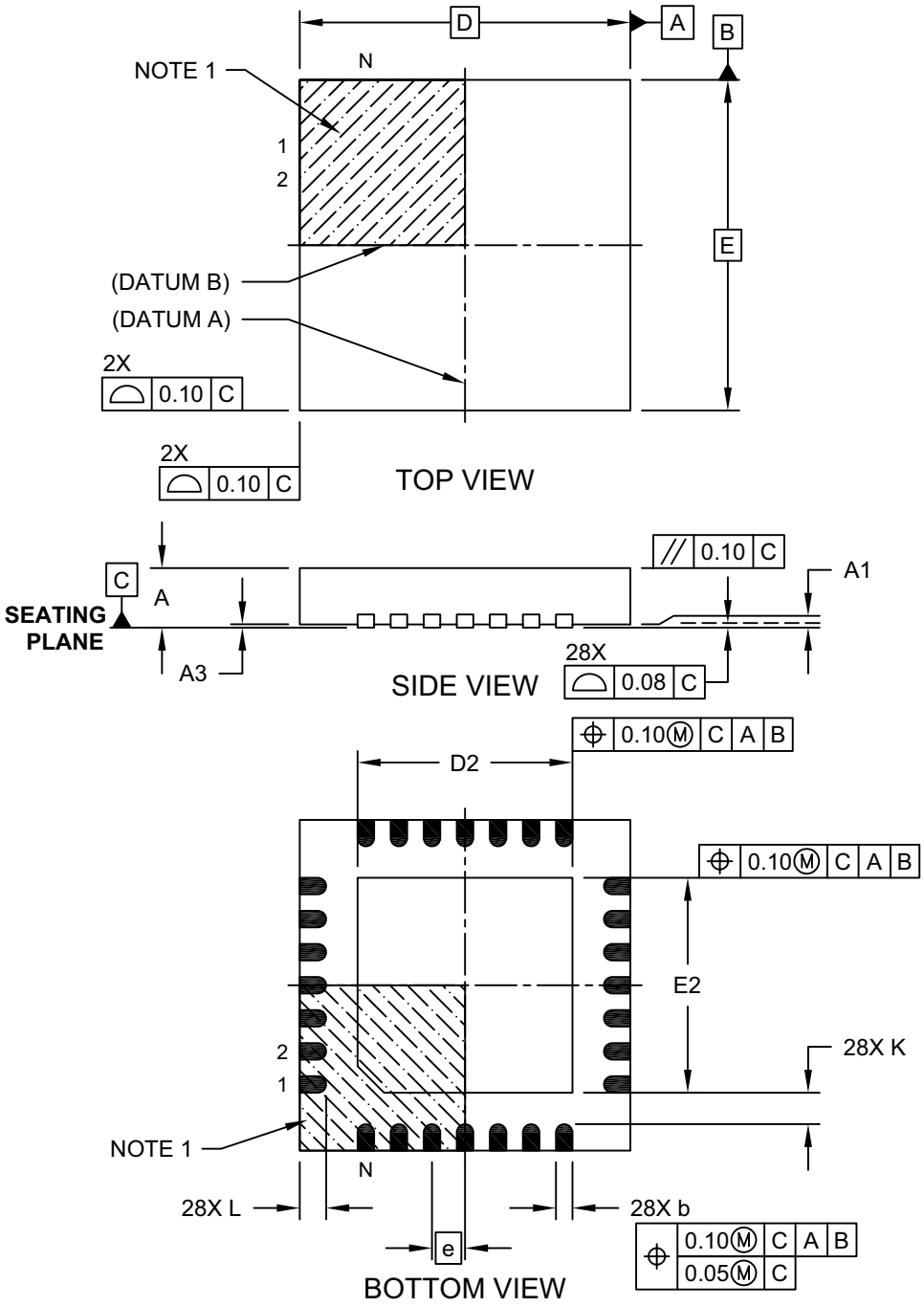
示例



图注：	XX...X	客户指定信息
	Y	年份代码 （日历年的最后一位数字）
	YY	年份代码 （日历年的最后两位数字）
	WW	星期代码 （一月一日的星期代码为 “01”）
	NNN	以字母数字排序的追踪代码
	e3	雾锡 （Matte Tin， Sn）的 JEDEC 无铅标志
	*	表示无铅封装。 JEDEC 无铅标志 （e3）标示于此种封装的外包装上。
注：	Microchip 部件编号如果无法在同一行内完整标注，将换行标出，因此会限制表示客户指定信息的字符数。	

28引脚塑封正方扁平无脚封装（MQ）——主体5x5x0.9 mm [QFN或VQFN]

注：	最新封装图请至http://www.microchip.com/packaging查看Microchip封装规范。

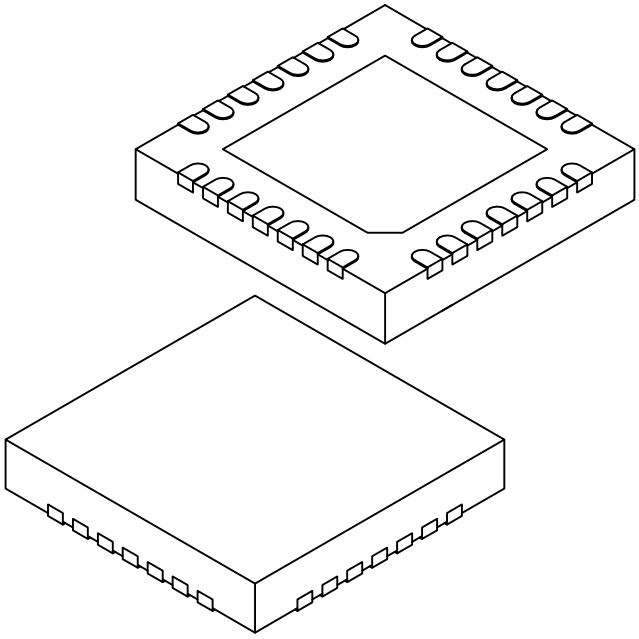


Microchip Technology Drawing C04-140C Sheet 1 of 2

© 2015 Microchip Technology Inc.

28引脚塑封正方扁平无脚封装（MQ）——主体5x5x0.9 mm [QFN或VQFN]

注： 最新封装图请至http://www.microchip.com/packaging查看Microchip封装规范。



Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Number of Pins	N	28		
Pitch	e	0.50 BSC		
Overall Height	A	0.80	0.90	1.00
Standoff	A1	0.00	0.02	0.05
Contact Thickness	A3	0.20 REF		
Overall Width	E	5.00 BSC		
Exposed Pad Width	E2	3.15	3.25	3.35
Overall Length	D	5.00 BSC		
Exposed Pad Length	D2	3.15	3.25	3.35
Contact Width	b	0.18	0.25	0.30
Contact Length	L	0.35	0.40	0.45
Contact-to-Exposed Pad	K	0.20	-	-

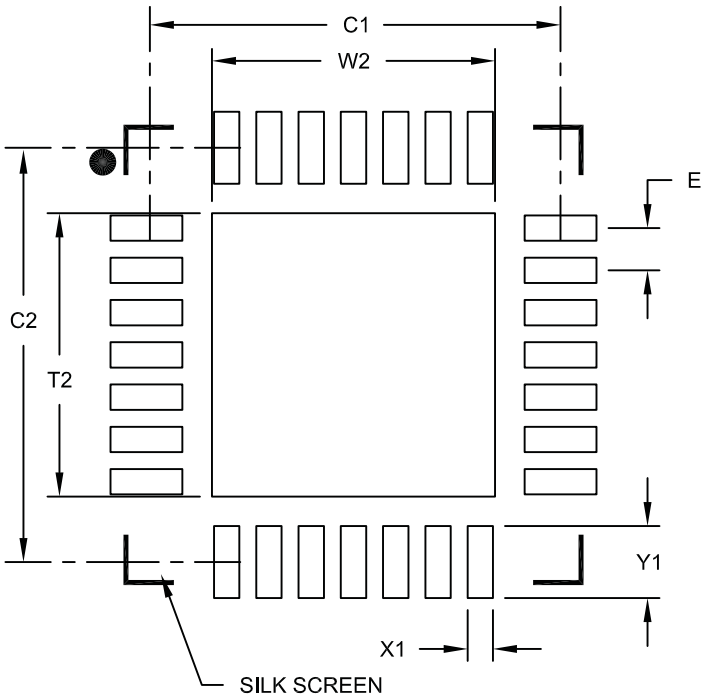
Notes:

1. Pin 1 visual index feature may vary, but must be located within the hatched area.
2. Package is saw singulated.
3. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M.
   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.
   REF: Reference Dimension, usually without tolerance, for information purposes only.

Microchip Technology Drawing C04-140C Sheet 2 of 2

28引脚塑封正方扁平无脚封装（MQ）——主体5x5 mm [QFN] 焊盘图案，触点长度0.55 mm

注： 最新封装图请至http://www.microchip.com/packaging查看Microchip封装规范。



RECOMMENDED LAND PATTERN

Units		MILLIMETERS		
Dimension Limits		MIN	NOM	MAX
Contact Pitch	E		0.50 BSC	
Optional Center Pad Width	W2			3.35
Optional Center Pad Length	T2			3.35
Contact Pad Spacing	C1		4.90	
Contact Pad Spacing	C2		4.90	
Contact Pad Width (X28)	X1			0.30
Contact Pad Length (X28)	Y1			0.85

Notes:

1. Dimensioning and tolerancing per ASME Y14.5M

   BSC: Basic Dimension. Theoretically exact value shown without tolerances.

Microchip Technology Drawing C04-2140A

© 2015 Microchip Technology Inc.

附录A： 版本历史

版本A（2015年3月）

- 本文档的初始版本。

注：

© 2015 Microchip Technology Inc.

产品标识体系

欲订货或获取价格、交货等信息，请与我公司生产厂或各销售办事处联系。

器件编号	[X](1)	X	/XX
器件	卷带式	温度范围	封装

器件：	MCP39F511：带计算和电能累积功能的功率监视IC
卷带式选项：	空白 = 标准封装（管式或卷带式） T = 卷带式(1)
温度范围：	E = -40°C至+125°C
封装：	MQ = 塑封正方扁平无脚封装——主体5x5x0.9 mm（QFN）

示例：

a) MCP39F511-E/MQ： 扩展级温度，28引脚5x5 QFN封装

b) MCP39F511T-E/MQ： 卷带式，扩展级温度，28引脚5x5 QFN封装

注 1： 卷带式标识符仅出现在产品目录的部件编号描述中。该标识符用于订货目的，不会印刷在器件封装上。关于提供卷带式包装的封装选项，请咨询Microchip销售办事处。

注：

请注意以下有关 **Microchip** 器件代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术指标。
- Microchip 确信：在正常使用的情况下， Microchip 系列产品是当今市场上同类产品中最安全的产品之一。
- 目前，仍存在着恶意、甚至是非法破坏代码保护功能的行为。就我们所知，所有这些行为都不是以 Microchip 数据手册中规定的操作规范来使用 Microchip 产品的。这样做的人极可能侵犯了知识产权。
- Microchip 愿与那些注重代码完整性的客户合作。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是 “牢不可破”的。

代码保护功能处于持续发展中。 Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。任何试图破坏 Microchip 代码保护功能的行为均可视为违反了 《数字器件千年版权法案 （Digital Millennium Copyright Act）》。如果这种行为导致他人在未经授权的情况下，能访问您的软件或其他受版权保护的成果，您有权依据该法案提起诉讼，从而制止这种行为。

提供本文档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物中所述的器件应用信息及其他类似内容仅为您提供便利，它们可能由更新之信息所替代。确保应用符合技术规范，是您自身应负的责任。**Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对其使用情况、质量、性能、适销性或特定用途的适用性的声明或担保。** Microchip 对因这些信息及使用这些信息而引起的后果不承担任何责任。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切伤害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任，并加以赔偿。在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

商标

Microchip 的名称和徽标组合、 Microchip 徽标、 dsPIC、 FlashFlex、 flexPWR、 JukeBlox、 KEELOQ、 KEELOQ 徽标、 Kleer、 LANCheck、 MediaLB、 MOST、 MOST 徽标、 MPLAB、 OptoLyzer、 PIC、 PICSTART、 PIC^{32} 徽标、 RightTouch、 SpyNIC、 SST、 SST 徽标、 SuperFlash 及 UNI/O 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的注册商标。

The Embedded Control Solutions Company 和 mTouch 为 Microchip Technology Inc. 在美国的注册商标。

Analog-for-the-Digital Age、BodyCom、chipKIT、chipKIT 徽标、 CodeGuard、 dsPICDEM、 dsPICDEM.net、 ECAN、 In-Circuit Serial Programming、 ICSP、 Inter-Chip Connectivity、 KleerNet、 KleerNet 徽标、 MiWi、 MPASM、 MPF、 MPLAB Certified 徽标、 MPLIB、 MPLINK、 MultiTRAK、 NetDetach、 Omniscient Code Generation、 PICDEM、 PICDEM.net、 PICkit、 PICtail、 RightTouch 徽标、 REAL ICE、 SQI、 Serial Quad I/O、 Total Endurance、 TSHARC、 USBCheck、 VariSense、 ViewSpan、 WiperLock、 Wireless DNA 和 ZENA 均为 Microchip Technology Inc. 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Inc. 在美国的服务标记。

Silicon Storage Technology 为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. & KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2015, Microchip Technology Inc. 版权所有。

ISBN：978-1-63277-409-5

QUALITY MANAGEMENT SYSTEM CERTIFIED BY DNV

═ ISO/TS 16949 ═

Microchip 位于美国亚利桑那州 Chandler 和 Tempe 与位于俄勒冈州 Gresham 的全球总部、设计和晶圆生产厂及位于美国加利福尼亚州和印度的设计中心均通过了 ISO/TS-16949:2009 认证。 Microchip 的 PIC® MCU 与 dsPIC® DSC、KEELOQ® 跳码器件、串行 EEPROM、单片机外设、非易失性存储器和模拟产品严格遵守公司的质量体系流程。此外， Microchip 在开发系统的设计和生产方面的质量体系也已通过了 ISO 9001:2000 认证。

全球销售及服务网点

美洲

公司总部 Corporate Office
2355 West Chandler Blvd.
Chandler, AZ 85224-6199
Tel: 1-480-792-7200
Fax: 1-480-792-7277
技术支持：
http://www.microchip.com/support
网址：www.microchip.com

亚特兰大 Atlanta
Duluth, GA
Tel: 1-678-957-9614
Fax: 1-678-957-1455

奥斯汀 Austin, TX
Tel: 1-512-257-3370

波士顿 Boston
Westborough, MA
Tel: 1-774-760-0087
Fax: 1-774-760-0088

芝加哥 Chicago
Itasca, IL
Tel: 1-630-285-0071
Fax: 1-630-285-0075

克里夫兰 Cleveland
Independence, OH
Tel: 1-216-447-0464
Fax: 1-216-447-0643

达拉斯 Dallas
Addison, TX
Tel: 1-972-818-7423
Fax: 1-972-818-2924

底特律 Detroit
Novi, MI
Tel: 1-248-848-4000

休斯敦 Houston, TX
Tel: 1-281-894-5983

印第安纳波利斯 Indianapolis
Noblesville, IN
Tel: 1-317-773-8323
Fax: 1-317-773-5453

洛杉矶 Los Angeles
Mission Viejo, CA
Tel: 1-949-462-9523
Fax: 1-949-462-9608

纽约 New York, NY
Tel: 1-631-435-6000

圣何塞 San Jose, CA
Tel: 1-408-735-9110

加拿大多伦多 Toronto
Tel: 1-905-673-0699
Fax: 1-905-673-6509

亚太地区

亚太总部 Asia Pacific Office
Suites 3707-14, 37th Floor
Tower 6, The Gateway
Harbour City, Kowloon
Hong Kong
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 北京
Tel: 86-10-8569-7000
Fax: 86-10-8528-2104

中国 - 成都
Tel: 86-28-8665-5511
Fax: 86-28-8665-7889

中国 - 重庆
Tel: 86-23-8980-9588
Fax: 86-23-8980-9500

中国 - 东莞
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 杭州
Tel: 86-571-8792-8115
Fax: 86-571-8792-8116

中国 - 香港特别行政区
Tel: 852-2943-5100
Fax: 852-2401-3431

中国 - 南京
Tel: 86-25-8473-2460
Fax: 86-25-8473-2470

中国 - 青岛
Tel: 86-532-8502-7355
Fax: 86-532-8502-7205

中国 - 上海
Tel: 86-21-5407-5533
Fax: 86-21-5407-5066

中国 - 沈阳
Tel: 86-24-2334-2829
Fax: 86-24-2334-2393

中国 - 深圳
Tel: 86-755-8864-2200
Fax: 86-755-8203-1760

中国 - 武汉
Tel: 86-27-5980-5300
Fax: 86-27-5980-5118

中国 - 西安
Tel: 86-29-8833-7252
Fax: 86-29-8833-7256

中国 - 厦门
Tel: 86-592-238-8138
Fax: 86-592-238-8130

中国 - 珠海
Tel: 86-756-321-0040
Fax: 86-756-321-0049

亚太地区

台湾地区 - 高雄
Tel: 886-7-213-7828

台湾地区 - 台北
Tel: 886-2-2508-8600
Fax: 886-2-2508-0102

台湾地区 - 新竹
Tel: 886-3-5778-366
Fax: 886-3-5770-955

澳大利亚 Australia - Sydney
Tel: 61-2-9868-6733
Fax: 61-2-9868-6755

印度 India - Bangalore
Tel: 91-80-3090-4444
Fax: 91-80-3090-4123

印度 India - New Delhi
Tel: 91-11-4160-8631
Fax: 91-11-4160-8632

印度 India - Pune
Tel: 91-20-3019-1500

日本 Japan - Osaka
Tel: 81-6-6152-7160
Fax: 81-6-6152-9310

日本 Japan - Tokyo
Tel: 81-3-6880-3770
Fax: 81-3-6880-3771

韩国 Korea - Daegu
Tel: 82-53-744-4301
Fax: 82-53-744-4302

韩国 Korea - Seoul
Tel: 82-2-554-7200
Fax: 82-2-558-5932 或
82-2-558-5934

马来西亚 Malaysia - Kuala Lumpur
Tel: 60-3-6201-9857
Fax: 60-3-6201-9859

马来西亚 Malaysia - Penang
Tel: 60-4-227-8870
Fax: 60-4-227-4068

菲律宾 Philippines - Manila
Tel: 63-2-634-9065
Fax: 63-2-634-9069

新加坡 Singapore
Tel: 65-6334-8870
Fax: 65-6334-8850

泰国 Thailand - Bangkok
Tel: 66-2-694-1351
Fax: 66-2-694-1350

欧洲

奥地利 Austria - Wels
Tel: 43-7242-2244-39
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦 Denmark-Copenhagen
Tel: 45-4450-2828
Fax: 45-4485-2829

法国 France - Paris
Tel: 33-1-69-53-63-20
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 Germany - Dusseldorf
Tel: 49-2129-3766400

德国 Germany - Munich
Tel: 49-89-627-144-0
Fax: 49-89-627-144-44

德国 Germany - Pforzheim
Tel: 49-7231-424750

意大利 Italy - Milan
Tel: 39-0331-742611
Fax: 39-0331-466781

意大利 Italy - Venice
Tel: 39-049-7625286

荷兰 Netherlands - Drunen
Tel: 31-416-690399
Fax: 31-416-690340

波兰 Poland - Warsaw
Tel: 48-22-3325737

西班牙 Spain - Madrid
Tel: 34-91-708-08-90
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 Sweden - Stockholm
Tel: 46-8-5090-4654

英国 UK - Wokingham
Tel: 44-118-921-5800
Fax: 44-118-921-5820

01/27/15

© 2015 Microchip Technology Inc.