

特性

测量有功、无功和视在功率、采样波形及电流和电压有效值

提供第二电流输入以进行零线电流测量

在3000:1的动态范围内，有功和无功功率测量误差小于0.1%

在1000:1的动态范围内，瞬时电流有效值测量误差小于0.2%

提供视在功率测量和瞬时功率读数

带宽: 1.23 kHz

灵活的PGA增益级(最高22倍)

内置用于罗氏线圈传感器的积分器

SPI、I²C或UART通信

概述

ADE7953是一款高精度电能计量IC，主要用于单相应用。它能够测量线电压和电流，并计算有功、无功、视在功率以及瞬时电压和电流有效值。

该器件内置三个Σ-Δ型ADC和一个高精度电能计量内核。第二输入通道可同时测量零线电流，支持窃电检测和零线电流计费。附加通道集成了完整的信号路径，允许执行各种测量。各输入通道均支持独立且灵活的增益级，因此该器件适合与各种电流传感器一起使用，如电流互感器(CT)和低阻值分流器等。两个片内积分器为使用罗氏线圈传感器提供了便利。

ADE7953可以通过多种通信接口访问片内寄存器，包括SPI、I²C和UART。两个可配置的低抖动脉冲输出引脚提供与有功、无功或视在功率及电流和电压有效值成比例的输出。通过外部IRQ引脚可以获得全面的电能质量信息，如过流、过压、峰值和电压跌落检测等。该器件包括独立的有功、无功和视在空载检测功能，用以防止潜动。此外还提供了专用功率反向(REVP)、电压过零(ZX)和电流过零信号(ZX_I)引脚。ADE7953电能计量IC采用3.3 V电源供电，28引脚LFCSP封装。

功能框图

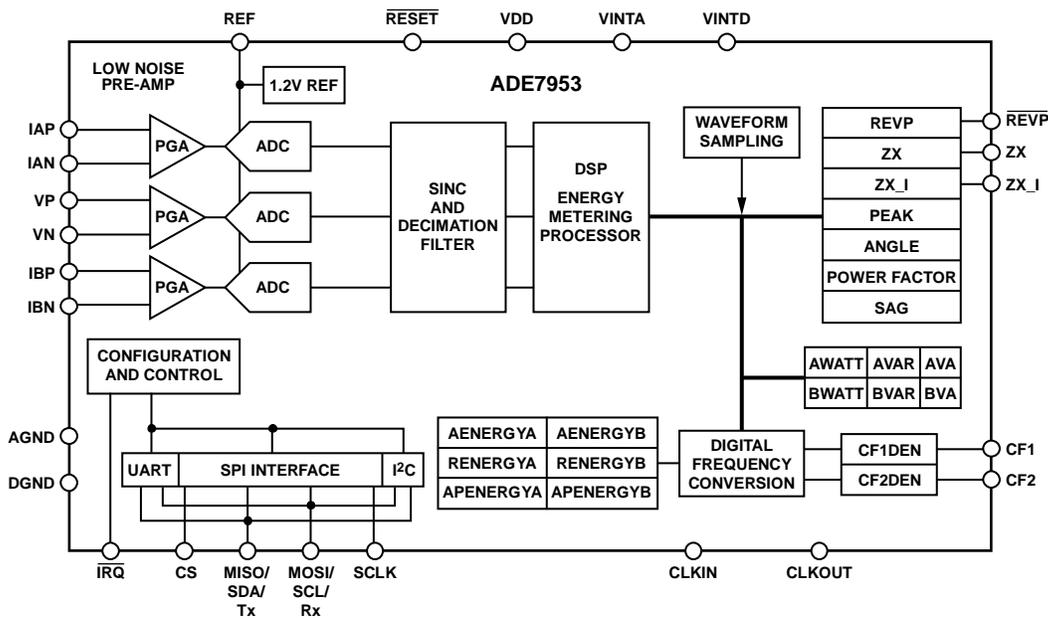


图1.

Rev. 0

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700
www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2011 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

ADI中文版数据手册是英文版数据手册的译文，敬请谅解翻译中可能存在的语言组织或翻译错误，ADI不对翻译中存在的差异或由此产生的错误负责。如需确认任何词语的准确性，请参考ADI提供的最新英文版数据手册。

目录

特性.....	1	周期测量.....	35
概述.....	1	瞬时功率和波形采样.....	36
功能框图.....	1	功率因数.....	37
修订历史.....	3	利用线周期累计模式确定功率因数.....	37
技术规格.....	4	空载检测下的功率因数.....	37
时序特性.....	6	角度测量.....	38
绝对最大额定值.....	8	空载检测.....	39
ESD警告.....	8	设置空载阈值.....	39
引脚配置和功能描述.....	9	有功电能空载检测.....	39
典型工作特性.....	11	无功电能空载检测.....	40
测试电路.....	16	视在电能空载检测.....	40
术语.....	17	过零检测.....	42
工作原理.....	18	过零输出引脚.....	42
模拟输入.....	18	过零中断.....	42
模数转换.....	18	过零超时.....	43
电流通道ADC.....	20	过零阈值.....	43
电压通道ADC.....	21	电压骤降检测.....	44
基准电压电路.....	21	设置SAGCYC寄存器.....	44
有效值测量.....	22	设置SAGLVL寄存器.....	44
电流通道有效值计算.....	22	电压骤降中断.....	44
电压通道有效值计算.....	22	峰值检测.....	45
有功功率计算.....	23	功率方向指示.....	46
有功功率计算的符号.....	23	反向功率.....	46
有功电能计算.....	24	符号指示.....	46
有功电能累计模式.....	26	过流和过压检测.....	47
无功功率计算.....	27	设置OVLVL和OILVL寄存器.....	47
无功功率计算的符号.....	27	过压和过流中断.....	47
无功电能计算.....	28	替代输出功能.....	48
无功电能累计模式.....	29	ADE7953中断.....	49
视在功率计算.....	30	主中断(电压通道和电流通道A).....	49
视在电能计算.....	30	电流通道B中断.....	49
安培小时累计.....	31	与ADE7953通信.....	50
电能频率转换.....	32	通信自动检测.....	50
脉冲输出特性.....	32	锁定通信接口.....	50
电能校准.....	33	SPI接口.....	51
增益校准.....	33	I ² C接口.....	52
相位校准.....	33	UART接口.....	54
失调校准.....	34		

通信验证和安全.....	56	ADE7953寄存器.....	58
写保护.....	56	ADE7953寄存器描述.....	60
通信验证.....	56	外形尺寸.....	65
checksum寄存器.....	57	订购指南.....	65

修订历史

2011年2月—修订版0：初始版

ADE7953

技术规格

除非另有说明, VDD = 3.3 V ± 10%、AGND = DGND = 0 V、片内基准电压源、CLKIN = 3.58 MHz、T_{MIN}至T_{MAX} = -40°C至+85°C。

表1

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
通道间的相位误差					线路频率 = 45 Hz至65 Hz, HPF开启
功率因数 = 0.8(容性)			±0.05	度	相位超前37°
功率因数 = 0.5(感性)			±0.05	度	相位滞后60°
有功电能测量					
有功电能测量误差(电流通道A)		0.1		%	动态范围3000:1, PGA = 1, PGA = 22, 积分器关闭
有功电能测量误差(电流通道B)		0.1		%	动态范围1000:1, PGA = 1, PGA = 16, 积分器关闭
交流电源抑制					VDD = 3.3 V ± 120 mV rms, 100 Hz
输出频率变化		0.01		%	
直流电源抑制					VDD = 3.3 V ± 330 mV dc
输出频率变化		0.01		%	
有功电能测量带宽		1.23		kHz	
无功电能测量					
无功电能测量误差(电流通道A)		0.1		%	动态范围3000:1, PGA = 1, PGA = 22, 积分器关闭
无功电能测量误差(电流通道B)		0.1		%	动态范围1000:1, PGA = 1, PGA = 16, 积分器关闭
交流电源抑制					VDD = 3.3 V ± 120 mV rms, 100 Hz
输出频率变化		0.01		%	
直流电源抑制					VDD = 3.3 V ± 330 mV dc
输出频率变化		0.01		%	
无功电能测量带宽		1.23		kHz	
有效值测量					
IRMS和VRMS测量带宽		1.23		kHz	
IRMS(电流通道A)测量误差		0.2		%	动态范围1000:1, PGA = 1, PGA = 22, 积分器关闭
IRMS(电流通道B)和VRMS测量误差		0.2		%	动态范围500:1, PGA = 1, PGA = 16, 积分器关闭
模拟输入					
最大信号电平			±500	mV峰值	差分输入: IAP至IAN、IBP至IBN
			±500	mV峰值	单端输入: VP至VN、IBP至IBN
			±250	mV峰值	单端输入: IAP至IAN
输入阻抗(直流)					
IAP引脚		130		MΩ	
IAN引脚		70		MΩ	
IBP、IBN、VP、VN引脚		660		kΩ	
ADC失调误差					未校准误差(参见术语部分)
电流通道B、电压通道		0		mV	
电流通道A		-12		mV	PGA = 1
		-0.3		mV	PGA = 16, PGA = 22
增益误差					1.2 V外部基准电压
电流通道A		±3		%	
电流通道B		±3		%	
电压通道		±3		%	

参数	最小值	典型值	最大值	单位	测试条件/注释
模拟性能					
信噪比					
电流通道A		74		dB	
电流通道B、电压通道		71		dB	
信纳比					
电流通道A、电流通道B		68		dB	
电压通道		65		dB	
-3 dB带宽		1.23		kHz	
CF1和CF2脉冲输出					
最大输出频率		210		kHz	CF1或CF2频率 > 6.25 Hz
占空比		50		%	CF1或CF2频率 < 6.25 Hz
低电平有效脉冲宽度		80		ms	CF1或CF2频率 = 1 Hz
抖动		0.04		%	CF1或CF2频率 = 1 Hz
输出高电压 V_{OH}	2.4			V	$I_{SOURCE} = 500 \mu A(25^{\circ}C时)$
输出低电压 V_{OL}			0.4	V	$I_{SINK} = 8 mA(25^{\circ}C时)$
基准电压					REF引脚上的标称1.2 V电压
REF输入电压范围		1.2		V	
输入电容			10	pF	
基准电压误差		± 0.9		mV	$T_A = 25^{\circ}C$
输出阻抗		1.45		k Ω	
温度系数		10		ppm/ $^{\circ}C$	
CLKIN/CLKOUT引脚					所有规格CLKIN = 3.58 MHz
输入时钟频率			3.58	MHz	
晶振等效串联电阻	30		200	Ω	
逻辑输入— \overline{RESET} 、CLKIN、CS、SCLK、MOSI/SCL/Rx、MISO/SDA/Tx					
高输入电压 V_{INH}	2.4			V	$V_{DD} = 3.3 V \pm 10\%$
低输入电压 V_{INL}			0.8	V	$V_{DD} = 3.3 V \pm 10\%$
输入电流 I_{IN}					$V_{IN} = 0 V$
MOSI/SCL/Rx、MISO/SDA/Tx、 \overline{RESET}		-6.5		μA	
CLKIN、CS、SCLK		0		μA	
输入电容 C_{IN}			10	pF	
逻辑输入— \overline{IRQ} 、 \overline{REVP} 、ZX、ZX_I、CLKOUT、MOSI/SCL/Rx、MISO/SDA/Tx					$V_{DD} = 3.3 V \pm 10\%$
输出高电压 V_{OH}	3.0			V	$I_{SOURCE} = 800 \mu A$
输出低电压 V_{OL}			0.4	V	$I_{SINK} = 2 mA$
电源					额定性能
VDD	3.0			V	3.3 V - 10%
			3.6	V	3.3 V + 10%
I_{DD}		6.8		mA	

ADE7953

时序特性

SPI接口时序

除非另有说明，VDD = 3.3 V ± 10%、AGND = DGND = 0 V、片内基准电压源、CLKIN = 3.58 MHz、 T_{MIN} 至 T_{MAX} = -40°C至+85°C。

表2

参数	描述	最小值 ¹	最大值 ¹	单位
t _{CS}	CS至SCLK边沿	50		ns
t _{SCLK}	SCLK周期	200		ns
t _{SL}	SCLK低电平脉冲宽度	80		ns
t _{SH}	SCLK高电平脉冲宽度	80		ns
t _{DAV}	SCLK边沿之后数据输出有效时间	80		ns
t _{DSU}	SCLK边沿之前数据输入建立时间	70		ns
t _{DHD}	SCLK边沿之后数据输入保持时间	5		ns
t _{DF}	数据输出下降时间		20	ns
t _{DR}	数据输出上升时间		20	ns
t _{SR}	SCLK上升时间		20	ns
t _{SF}	SCLK下降时间		20	ns
t _{DIS}	CS上升沿之后MISO禁用时间	5	40	ns
t _{SFS}	SCLK边沿之后的CS高电平时间	0		ns
t _{SFS_LK}	SCLK边沿之后的CS高电平时间 (写入COMM_LOCK位时)	1200		ns

¹ 最小值和最大值是典型的最小值和最大值。

SPI接口时序图

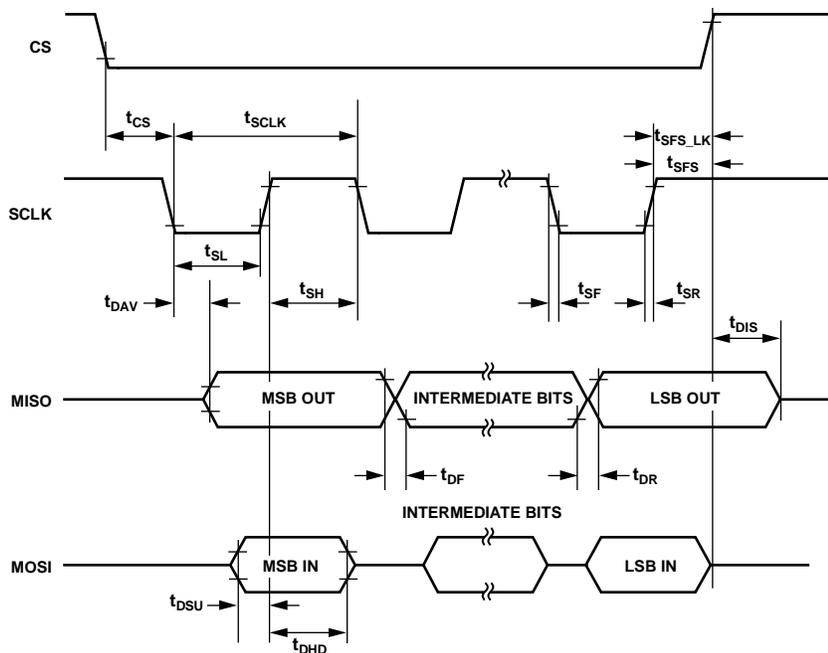


图2. SPI接口时序

I²C接口时序

除非另有说明，VDD = 3.3 V ± 10%、AGND = DGND = 0 V、片内基准电压源、CLKIN = 3.58 MHz、T_{MIN}至T_{MAX} = -40°C至+85°C。

表3

参数	描述	标准模式		快速模式		单位
		最小值 ¹	最大值 ¹	最小值 ¹	最大值 ¹	
f _{SCL}	SCL时钟频率	0	100	0	400	kHz
t _{HD,STA}	起始或重复起始条件的保持时间	4.0		0.6		μs
t _{LOW}	SCL时钟的低电平周期	4.7		1.3		μs
t _{HIGH}	SCL时钟的高电平周期	4.0		0.6		μs
t _{SU,STA}	重复起始条件的建立时间	4.7		0.6		μs
t _{HD,DAT}	数据保持时间	0	3.45	0	0.9	μs
t _{SU,DAT}	数据建立时间	250		100		ns
t _R	SDA和SCL信号的上升时间		1000	20	300	ns
t _F	SDA和SCL信号的下降时间		300	20	300	ns
t _{SU,STO}	停止条件的建立时间	4.0		0.6		μs
t _{BUF}	停止与起始条件之间的总线空闲时间	4.7		1.3		μs
t _{SP}	抑制尖峰的脉冲宽度	N/A			50	ns

¹ 最小值和最大值是典型的最小值和最大值。

I²C接口时序图

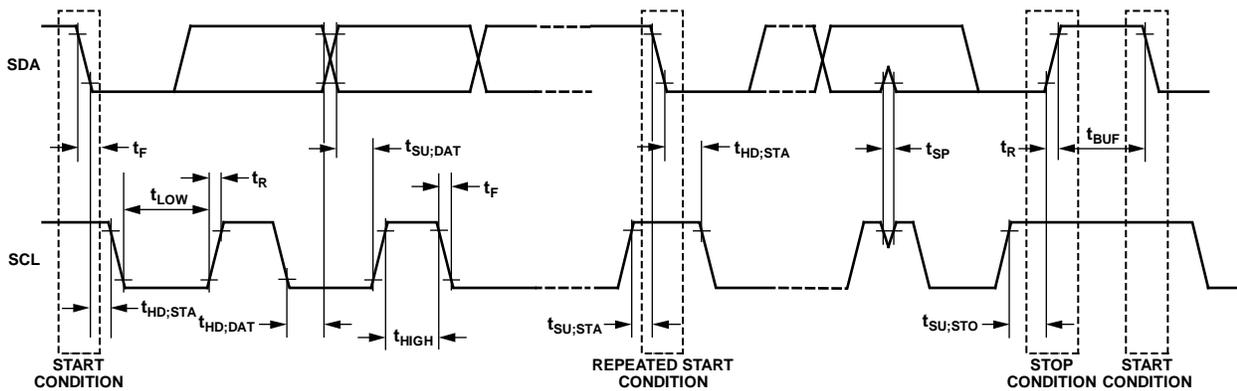


图3. I²C接口时序

绝对最大额定值

除非另有说明， $T_A = 25^\circ\text{C}$ 。

表4

参数	额定值
VDD至AGND	-0.3 V至+3.7 V
VDD至DGND	-0.3 V至+3.7 V
模拟输入电压至AGND、IAP、IAN、IBP、IBN、VP、VN	-2 V至+2 V
基准输入电压至AGND	-0.3 V至VDD + 0.3 V
数字输入电压至DGND	-0.3 V至VDD + 0.3 V
数字输出电压至DGND	-0.3 V至VDD + 0.3 V
工作温度	
工业范围	-40°C至+85°C
存储温度范围	-65°C至+150°C

注意，超出上述绝对最大额定值可能会导致器件永久性损坏。这只是额定最值，不表示在这些条件下或者在任何其它超出本技术规范操作章节中所示规格的条件下，器件能够正常工作。长期在绝对最大额定值条件下工作会影响器件的可靠性。

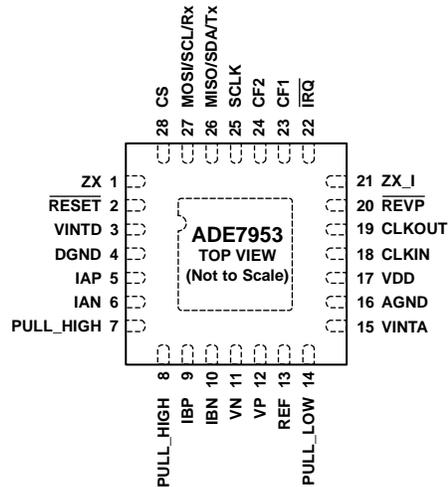
ESD警告



ESD(静电放电)敏感器件。

带电器件和电路板可能会在没有察觉的情况下放电。尽管本产品具有专利或专有保护电路，但在遇到高能量ESD时，器件可能会损坏。因此，应当采取适当的ESD防范措施，以避免器件性能下降或功能丧失。

引脚配置和功能描述



NOTES

1. CREATE A SIMILAR PAD ON THE PCB UNDER THE EXPOSED PAD. SOLDER THE EXPOSED PAD TO THE PAD ON THE PCB TO CONFER MECHANICAL STRENGTH TO THE PACKAGE. DO NOT CONNECT THE PADS TO AGND.

图4. 引脚配置

表5. 引脚功能描述

引脚编号	引脚名称	描述
1	ZX	电压通道过零输出引脚。参见电压通道过零部分。可以将该引脚配置为输出一系列其它电质量信号(参见其它输出功能部分)。
2	RESET	低电平有效复位输入。
3	VINTD	通过该引脚可以使用2.5 V数字LDO。该引脚应通过一个4.7 μ F电容与一个100 nF陶瓷电容的并联去耦。
4	DGND	数字电路的接地基准。
5, 6	IAP、IAN	电流通道A(相电流通道)的模拟输入。该差分电压输入的最大输入范围为 ± 500 mV。单端使用时, 引脚最大电压为 ± 250 mV。与该输入相关的PGA最大增益级为22(参见模拟输入部分)。
7, 8	PULL_HIGH	这些引脚应连接到VDD才能正常工作。
9, 10	IBP、IBN	电流通道B(零线电流通道)的模拟输入。该差分电压输入的最大输入范围为 ± 500 mV。与该输入相关的PGA最大增益为16(参见模拟输入部分)。
11, 12	VN、VP	电压通道的模拟输入。该单端电压输入的最大输入范围为 ± 500 mV。与该输入相关的PGA最大增益为16(参见模拟输入部分)。
13	REF	通过该引脚可以使用片内基准电压。内部基准电压源的标称电压为1.2 V。该引脚应通过一个4.7 μ F电容与一个100 nF陶瓷电容的并联去耦。或者, 也可以将一个1.2 V外部基准电压施加于该引脚(参见基准电压电路部分)。
14	PULL_LOW	该引脚应连接到AGND才能正常工作。
15	VINTA	通过该引脚可以使用2.5 V模拟LDO。该引脚应通过一个4.7 μ F电容与一个100 nF陶瓷电容的并联去耦。
16	AGND	模拟电路的接地基准。
17	VDD	ADE7953的电源(3.3 V)。为实现额定性能, 该引脚的输入应在 $3.3\text{ V} \pm 10\%$ 范围内。该引脚应通过一个10 μ F电容与一个100 nF陶瓷电容的并联去耦。
18	CLKIN	ADE7953的主时钟输入。可以通过该输入提供外部时钟。或者, 也可以将一个并联谐振AT晶振连接在CLKIN和CLKOUT引脚上, 以提供ADE7953的时钟源。额定工作性能要求的时钟频率为3.58 MHz。应将数十pF的陶瓷负载电容与栅极振荡器电路一起使用。关于负载电容的要求, 请参考晶振制造商的数据手册。
19	CLKOUT	可以将一个晶振连接在该引脚和CLKIN引脚上, 以提供ADE7953的时钟源。

ADE7953

引脚编号	引脚名称	描述
20	REVP	反向电源输出指示。参见反向电源部分。可以将该引脚配置为输出一系列其它电质量信号(参见其它输出功能部分)。
21	ZX_I	电流通道过零输出引脚。参见电流通道过零部分。可以将该引脚配置为输出一系列其它电源质量信号(参见其它输出功能部分)。
22	IRQ	中断输出。参见ADE7953中断部分。
23	CF1	校准频率输出1。
24	CF2	校准频率输出2。
25	SCLK	串行外设接口的串行时钟输入。所有串行通信均与该时钟同步(参见SPI接口部分)。如果使用I ² C接口,必须将该引脚拉高。如果使用UART接口,必须将该引脚拉至地。
26	MISO/SDA/Tx	SPI接口的数据输出/I ² C接口的双向数据线/UART接口的发送线。
27	MOSI/SCL/Rx	SPI接口的数据输入/I ² C接口的串行时钟输入/UART接口的接收线。
28	CS	SPI接口的片选信号。如果使用I ² C或UART接口,必须将该引脚拉高。
	EPAD	裸露焊盘。应在裸露焊盘下方的PCB上创建一个相似的焊盘,然后将裸露焊盘焊接到PCB上的焊盘,以增加封装的机械强度。请勿将这些焊盘连接到AGND。

典型工作特性

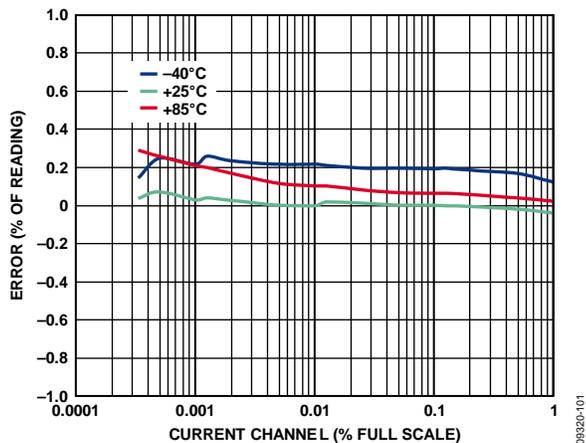


图5. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 1、功率因数 = 1)与温度的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

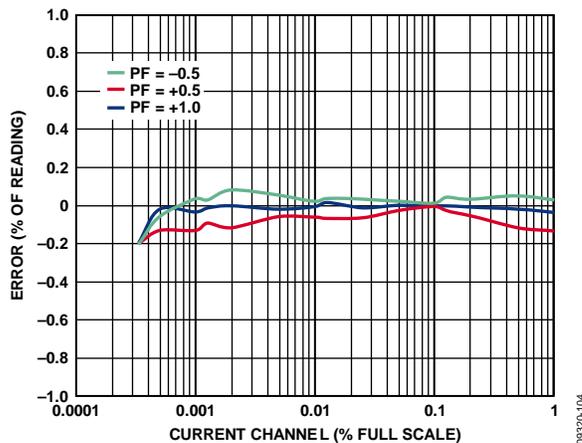


图8. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 22、温度 = 25°C)与功率因数的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

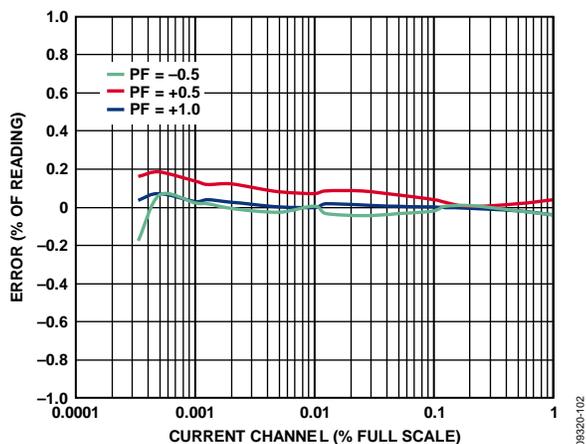


图6. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 1、温度 = 25°C)与功率因数的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

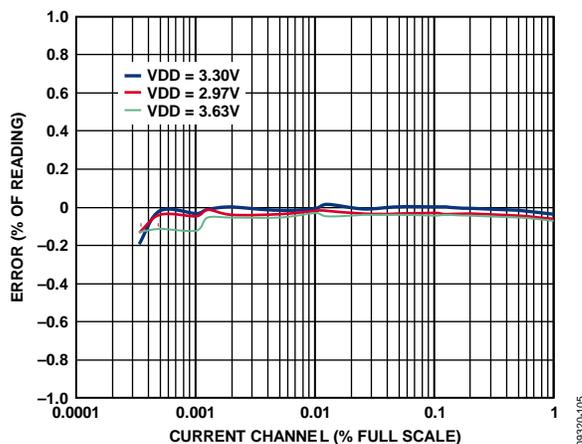


图9. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 22、温度 = 25°C、功率因数 = 1)与电源电压的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

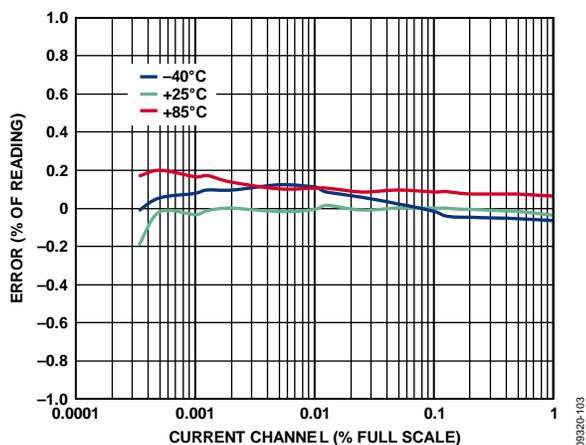


图7. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 22、功率因数 = 1)与温度的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

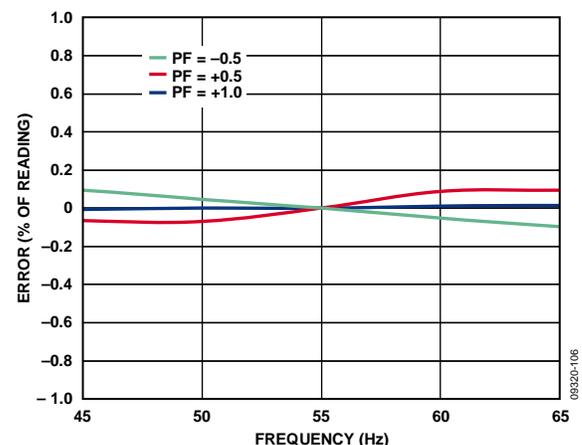


图10. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比
(增益 = 22、温度 = 25°C)与频率和功率因数的关系
(内部基准电压、积分器关闭)

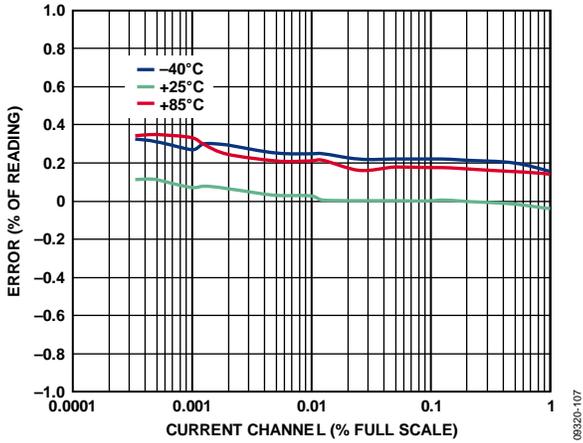


图11. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、功率因数 = 0)与温度的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-107

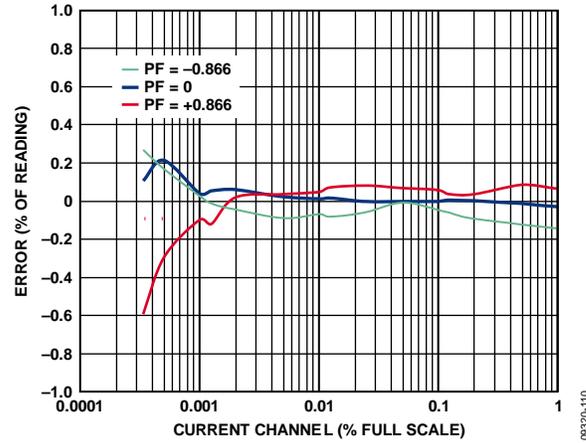


图14. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 22、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-110

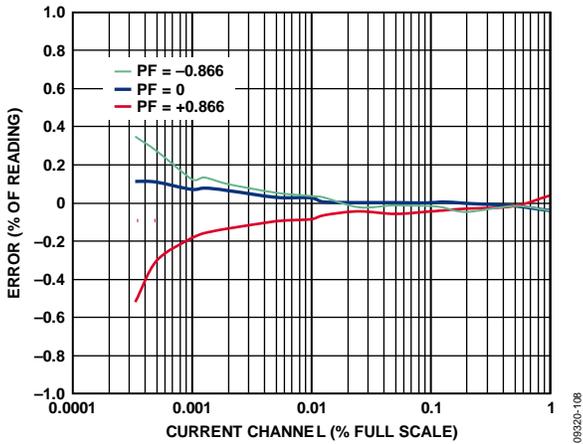


图12. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-108

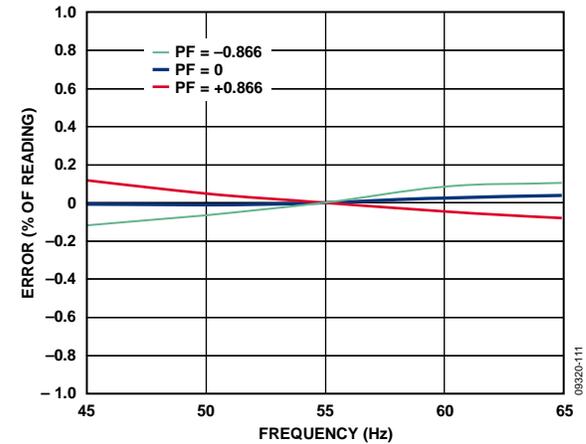


图15. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 22、温度 = 25°C)与频率和功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-111

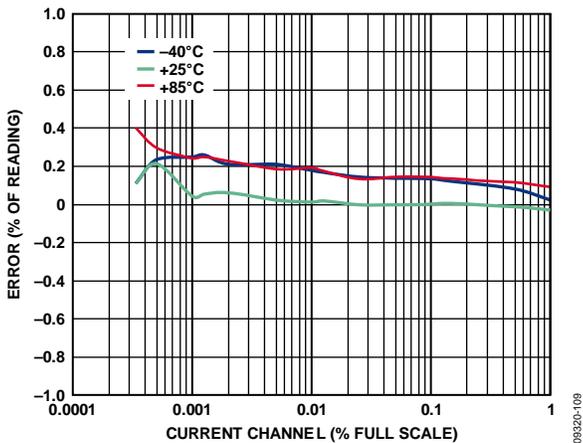


图13. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 22、功率因数 = 0)与温度的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-109

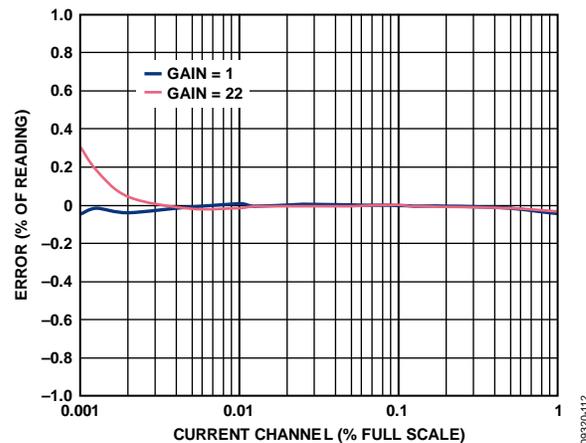


图16. 电流通道A IRMS误差占读数的百分比 (温度 = 25°C、功率因数 = 1)与增益的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

09320-112

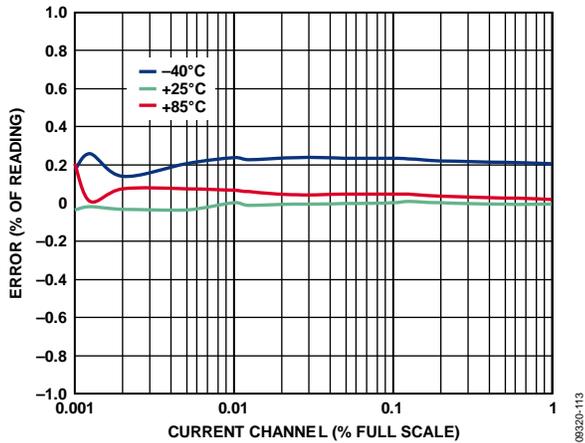


图17. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、功率因数 = 1)与温度的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

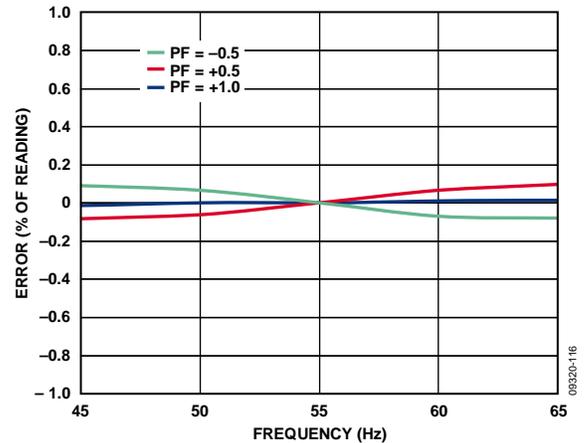


图20. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C)与频率和功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

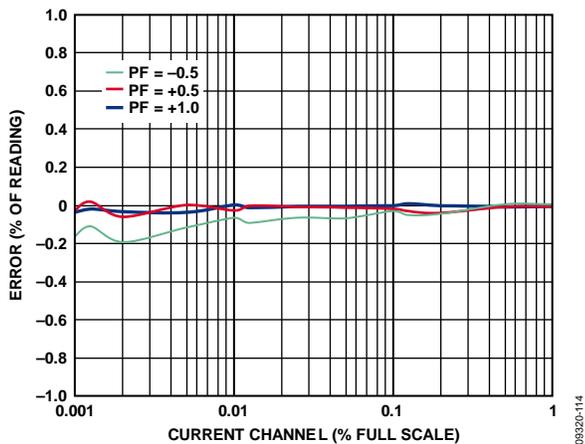


图18. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

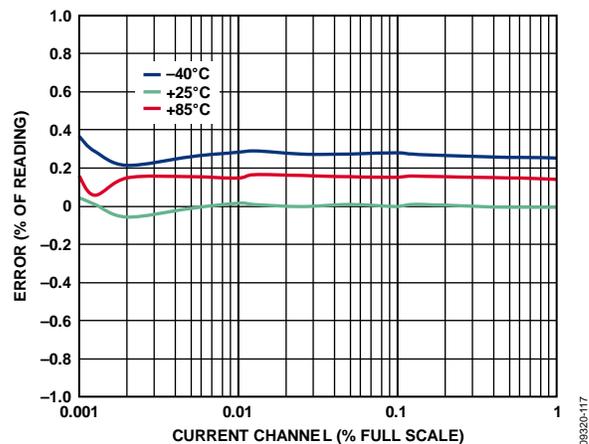


图21. 电流通道B无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、功率因数 = 0)与温度的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

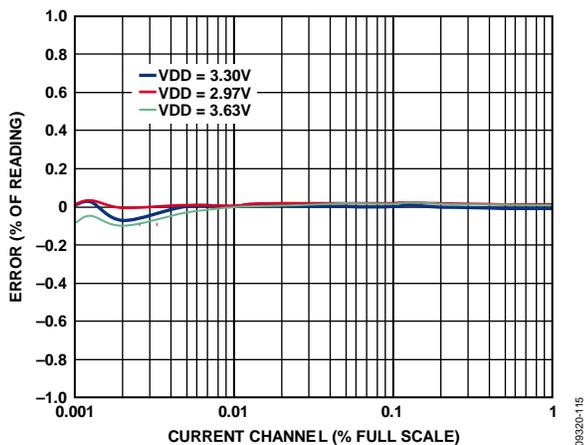


图19. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C、功率因数 = 1)与电源电压的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

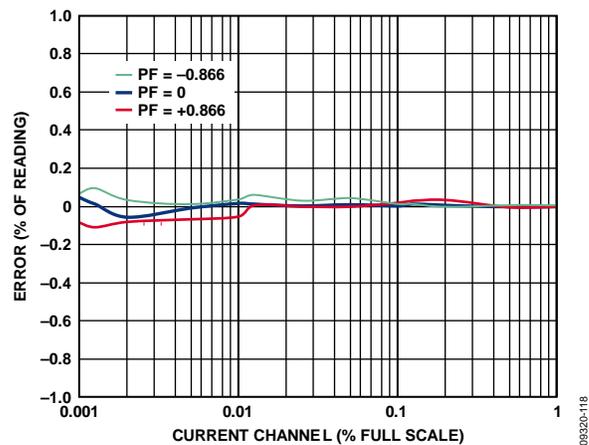


图22. 电流通道B无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

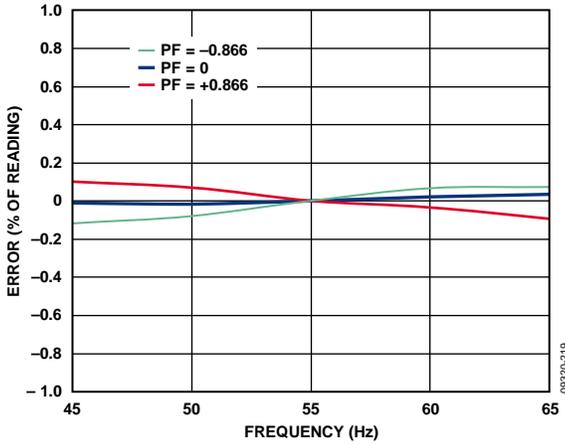


图23. 电流通道B无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C)与频率和功率因数的关系 (内部基准电压、积分器关闭)

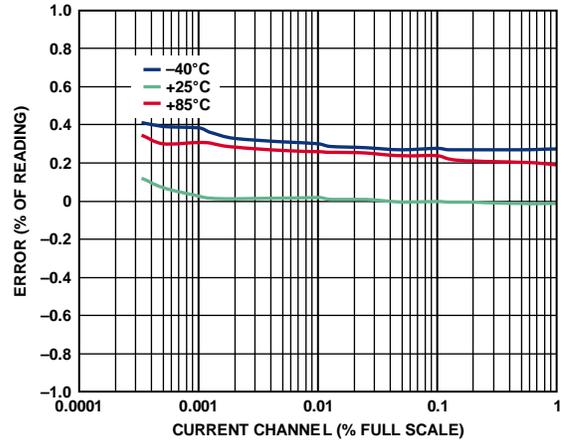


图26. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、功率因数 = 1)与温度的关系 (内部基准电压、积分器开启)

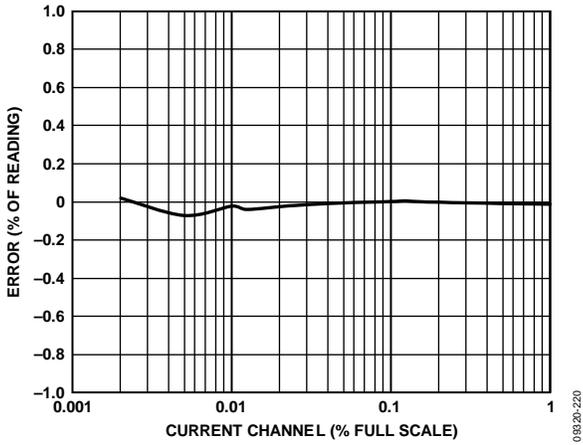


图24. 电流通道B IRMS误差占读数的百分比 (增益 = 1、温度 = 25°C、功率因数 = 1, 内部基准电压、积分器关闭)

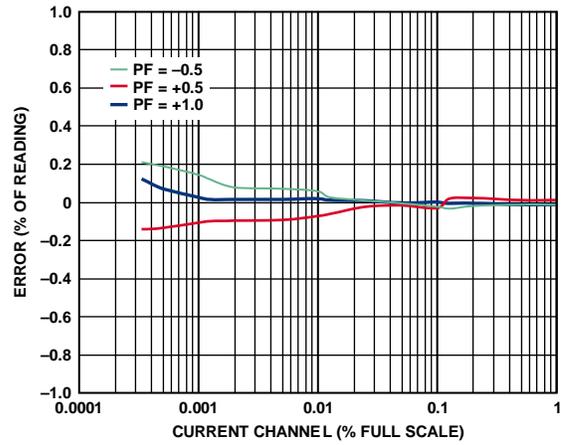


图27. 电流通道A有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器开启)

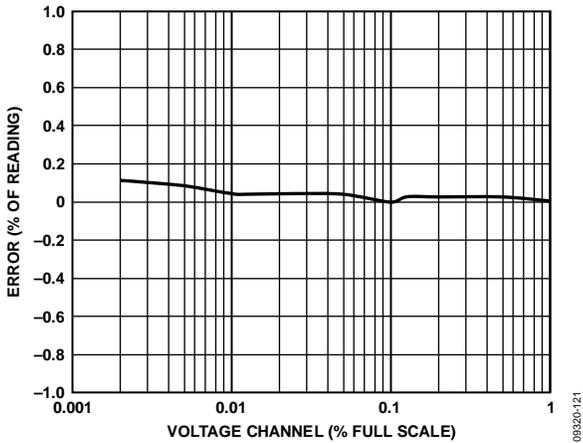


图25. VRMS误差占读数的百分比 (温度 = 25°C、功率因数 = 1, 内部基准电压、积分器关闭)

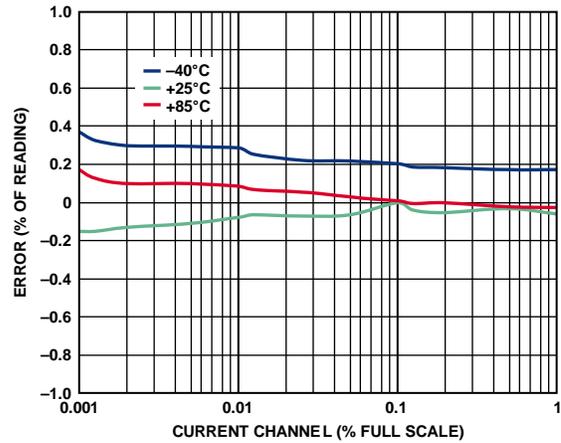


图28. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、功率因数 = 1)与温度的关系 (内部基准电压、积分器开启)

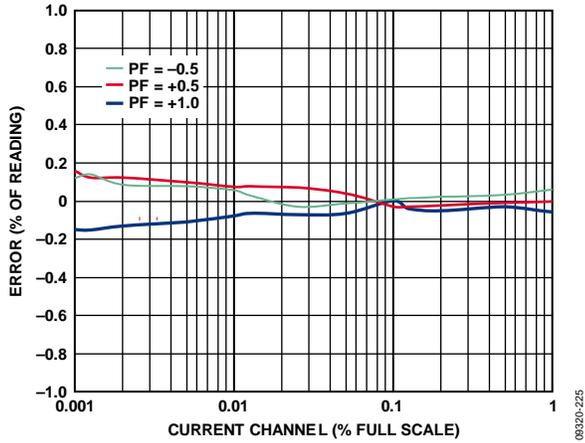


图29. 电流通道B有功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器开启)

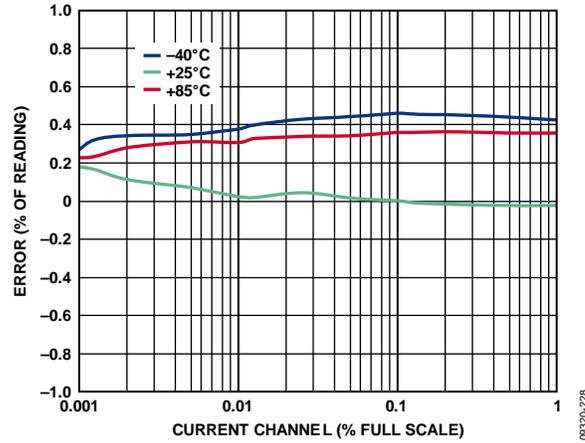


图32. 电流通道B无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、功率因数 = 0)与温度的关系 (内部基准电压、积分器开启)

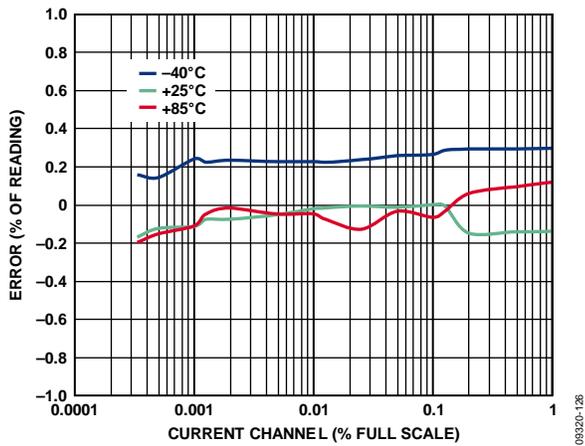


图30. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、功率因数 = 0)与温度的关系 (内部基准电压、积分器开启)

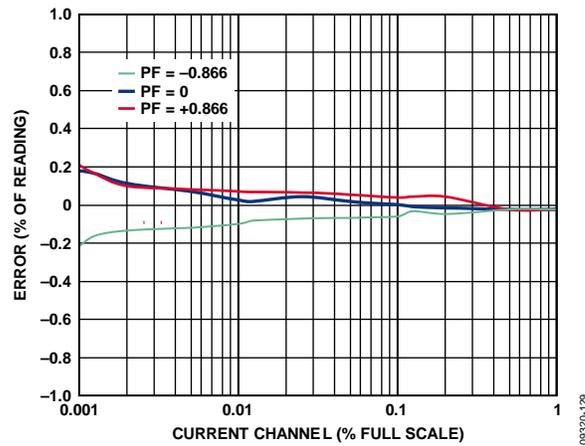


图33. 电流通道B无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器开启)

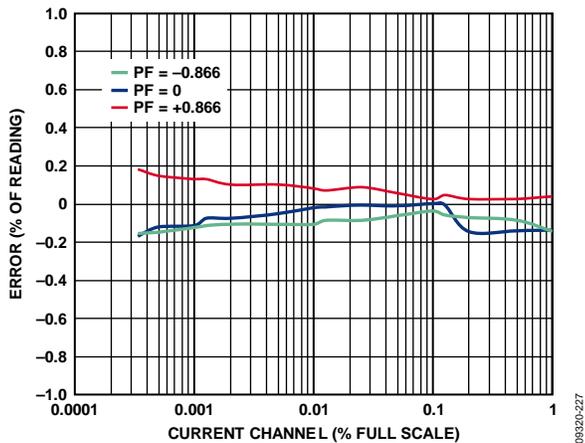


图31. 电流通道A无功电能误差占读数的百分比 (增益 = 16、温度 = 25°C)与功率因数的关系 (内部基准电压、积分器开启)

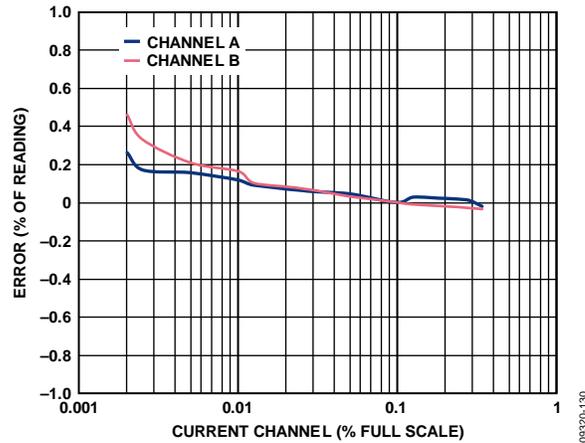


图34. IRMS误差占读数的百分比(增益 = 16、温度 = 25°C, 内部基准电压、积分器开启)

测试电路

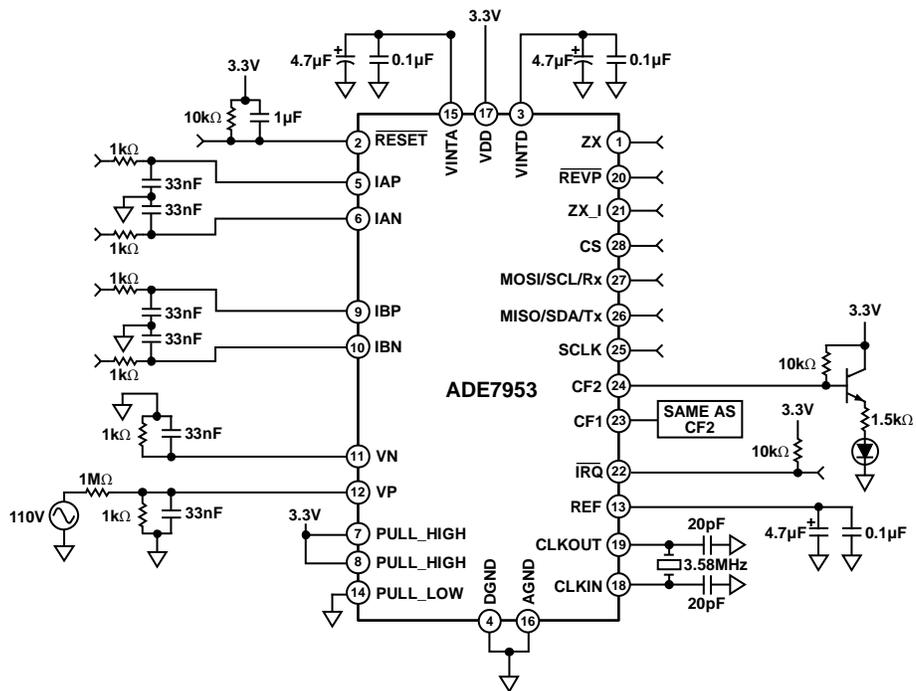


图35. 测试电路

09320-099

术语

测量误差

ADE7953电能测量的误差定义如下：

$$\text{测量误差} = \frac{\text{ADE7953记录的电能} - \text{实际电能}}{\text{实际电能}} \times 100\% \quad (1)$$

通道间的相位误差

高通滤波器(HPF)和数字积分器会在电流通道与电压通道之间引入很小的相位不匹配。全数字式设计确保在45 Hz至65 Hz的频率范围内，电流通道与电压通道之间的相位匹配度在 $\pm 0.05^\circ$ 范围内。该内部相位不匹配可以与外部相位误差(源自电流传感器或元件公差)合并，并通过相位校准寄存器予以校准。

电源抑制(PSR)

PSR衡量电源变化对ADE7953测量误差的影响。对于交流PSR测量，首先是获取标称电源(3.3 V)时的读数。然后将一个交流信号(120 mV rms/100 Hz)引入电源，并在相同输入信号电平下获得第二个读数。此交流信号引入的误差以读数的百分比(参见测量误差定义)表示。对于直流PSR测量，首先是获取标称电源(3.3 V)时的读数。然后将电源改变 $\pm 10\%$ ，并在相同输入信号电平下获得第二个读数。这种改变所引入的误差同样以读数的百分比表示。

ADC失调误差

ADC失调误差指ADC模拟输入相关的直流失调。它意味着，当模拟输入连接到AGND时，ADC仍然会看到直流模拟输入信号。失调的幅度与增益和输入范围的选择有关。不过高通滤波器(HPF)会消除电流和电压通道的失调，因此功率计算不受失调影响。

增益误差

ADE7953的ADC增益误差指每个通道的实测ADC输出码(减去失调)与理想输出码之间的偏差(参见电流通道ADC部分和电压通道ADC部分)。该偏差以理想数据的百分比表示。

工作原理

模拟输入

ADE7953包括三路模拟输入，两个电流通道和一个电压通道。在标准配置中，电流通道A用于测量相电流，电流通道B用于测量零线电流。电压通道输入则用于测量相线与零线电压之差。当然，只要满足本部分所述的模拟输入要求，ADE7953也可以在其它电压和电流组合下使用。

电流通道A

电流通道A为全差分电压输入，设计用于配合电流传感器使用。该输入由两个引脚驱动：IAP(引脚5)和IAN(引脚6)。IAP和IAN上能够施加的最大差分电压为±500 mV。建议使共模电压小于±25 mV。超过该推荐值的共模电压时，可用的动态范围可能会减小。电流通道A有一个可编程增益放大器(PGA)级，其增益选项包括1、2、4、8、16和22(参见表6)。

使用单端配置时，电流通道A的最大满量程输入为±250 mV，因此，当增益设置为1时，动态范围会减小。电流通道A的增益通过写入PGA_IA寄存器(地址0x008)来配置。默认情况下，电流通道A的PGA设置为1。增益22选项仅在电流通道A上提供，支持极小幅度信号的高精度测量。当使用小值分流器或罗氏线圈时，这种配置特别有用。

电流通道B

电流通道B为全差分电压输入，设计用于配合电流传感器使用。该输入由两个引脚驱动：IBP(引脚9)和IBN(引脚10)。IBP和IBN上能够施加的最大差分电压为±500 mV。建议使用小于±25 mV的共模电压。超过该推荐值的共模电压可能会限制可用的动态范围。电流通道B有一个PGA增益级，其增益选项包括1、2、4、8和16(参见表6)。电流通道B的增益通过写入PGA_IB寄存器(地址0x009)来配置。默认情况下，电流通道B的PGA设置为1。

电压通道

电压通道输入为单端输入，由两个引脚驱动：VP(引脚12)和VN(引脚11)。相对于VN，VP上能够施加的最大单端电压为±500 mV。建议使用小于±25 mV的共模电压。超过该推荐值的共模电压可能会限制ADE7953的动态范围能力。电压通道有一个PGA增益级，其增益选项包括1、2、4、8和16(参见表6)。

电压通道的增益通过写入PGA_V寄存器(地址0x007)来配置。默认情况下，电压通道的PGA设置为1。

表6. PGA增益设置

增益	满量程差分输入(mV)	PGA_IA[2:0] (地址0x008)	PGA_IB[2:0] (地址0x009)	PGA_V[2:0] (地址0x007)
1	±500	000 ¹	000	000
2	±250	001	001	001
4	±125	010	010	010
8	±62.5	011	011	011
16	±31.25	100	100	100
22	±22.7	101	N/A	N/A

¹ 电流通道A的增益选择为1时，引脚最大输入以±250 mV为限。因此，当使用单端配置时，相对于AGND的最大输入为±250 mV。

模数转换

ADE7953的模数转换由三个二阶Σ-Δ调制器实现。为清楚起见，图36中的框图显示了一阶Σ-Δ调制器的操作。模数转换部分由Σ-Δ调制器和低通滤波器级组成。

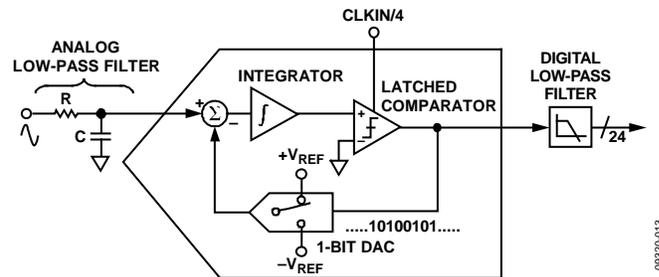


图36. Σ-Δ转换

Σ-Δ调制器以采样时钟决定的速率将输入信号转换为连续的1和0串行流。ADE7953采样时钟频率为895 kHz (CLKIN/4)。反馈环路中的1位DAC由串行数据流驱动。DAC输出从输入信号中减除。如果环路增益足够高，DAC输出的平均值(以及相应的位流)就会接近输入信号电平的平均值。对于一个采样间隔内的任意给定输入值，1位ADC的输出数据几乎毫无意义。只有对大量样本进行平均，才能获得有意义的结果。该均值操作在ADC的第二部分——数字低通滤波器中执行。通过求取调制器输出的大量位的平均值，低通滤波器产生与输入信号电平成比例的24位数据字。

Σ - Δ 转换器利用两种技术——过采样和噪声整形——来使本质上是1位转换的技术实现高分辨率。

过采样

过采样是实现高分辨率所用的第一种技术。过采样意味着信号的采样速率(频率)比目标带宽高出许多倍。例如, ADE7953的采样速率为895 kHz, 而目标带宽为40 Hz至1.23 kHz。过采样具有将量化噪声(采样引起的噪声)散布于更宽带宽的效果。由于噪声因散布于更宽的带宽而变得更细, 目标频段中的量化噪声便得以降低(见图37)。

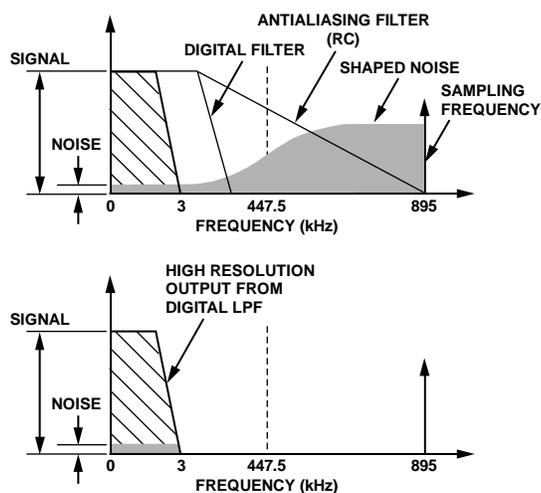


图37. 模拟调制器通过过采样和噪声整形降低噪声

然而, 单凭过采样还不足以提高目标带宽的信噪比(SNR)。例如, 为将SNR仅仅提高6 dB(1位), 就需要4倍的过采样比。为使过采样比保持在合理水平, 可以对量化噪声进行整形, 使大部分噪声位于较高频率(参见噪声整形部分)。

噪声整形

噪声整形是实现高分辨率所用的第二种技术。在 Σ - Δ 调制器中, 噪声由积分器进行整形, 由于反馈, 积分器对量化噪声的响应为高通型。其结果是大部分噪声位于较高频率, 可以通过数字低通滤波器予以消除。噪声整形如图37所示。

抗混叠滤波器

如图36所示, 各调制器的输入端需要一个外部低通RC滤波器。此滤波器的作用是防止混叠。混叠指输入信号中折回并出现在采样信号中的频率成分。当高于ADC半采样速率(也称为奈奎斯特频率)的信号以低于半采样速率的频率出现在采样信号中时, 就会发生这种效应, 如图38所示。

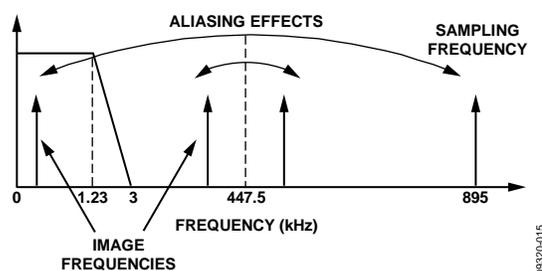


图38. 混叠效应

图38中的箭头表示高于奈奎斯特频率(ADE7953为447.5 kHz)的频率成分向下折回。无论何种架构, 所有ADC都会发生混叠效应。

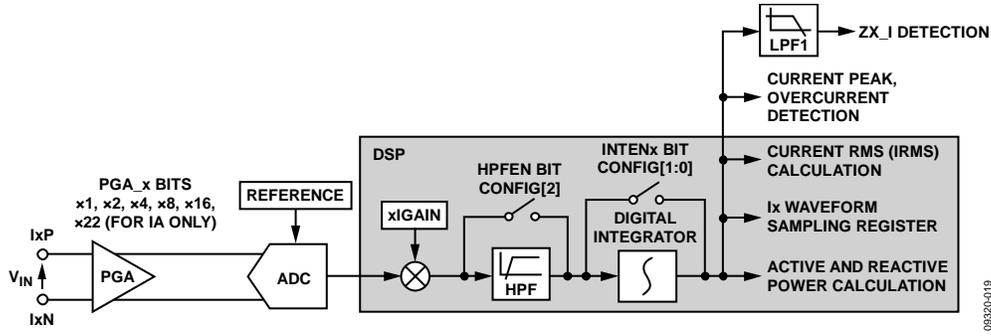


图39. 电流通道ADC和信号路径

电流通道ADC

图39显示电流通道A的ADC信号路径和信号处理，电流通道A通过IAP和IAN引脚进行访问。电流通道B的信号路径与此相同，通过IBP和IBN引脚进行访问。ADC输出为二进制补码24位数据字，以6.99 kSPS(每秒千采样)的速率提供。在±250 mV的额定满量程模拟输入和2倍的PGA_Ix增益设置下，ADC产生最大输出码。ADC输出范围为-6,500,000 LSB(十进制)到+6,500,000 LSB。此输出因器件而异。

如图39所示，各电流通道信号路径中都有一个高通滤波器(HPF)。HPF默认使能，用于消除ADC输出中的直流失调。强烈建议始终使能该滤波器，但可以将其禁用，方法是将CONFIG寄存器(地址0x102)的HPFEN位(位2)清0。HPFEN位清0将禁用两个电流通道和电压通道中的高通滤波器。

di/dt电流传感器和数字积分器

如图39所示，通道A和通道B的电流通道信号路径均内置一个数字积分器。该积分器默认禁用，只有与罗氏线圈等di/dt传感器接口时才需要使用。当使用分流电阻或电流变压器(CT)时，不需要该积分器，应保持禁用。

di/dt传感器用于检测交流电流引起的磁场变化。图40显示了di/dt电流传感器的工作原理。

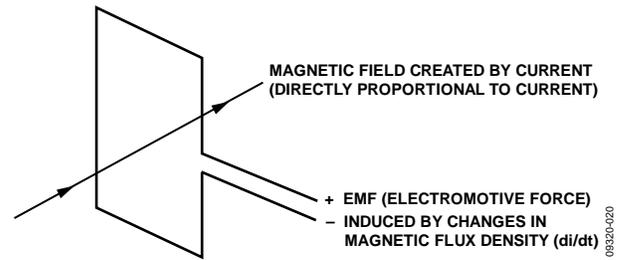


图40. di/dt电流传感器的工作原理

电流感生磁场的磁通密度与电流幅度成正比。穿过导体环路的磁通密度变化会在环路两端产生电动势(EMF)。EMF是一个电压信号，与电流对时间的微分(di/dt)成比例。di/dt传感器的输出电压由载流导体与di/dt传感器之间的互感决定。电流信号在使用之前，必须从di/dt信号恢复，这就需要有一个积分器来将该信号恢复为原始形式。

ADE7953的每个电流通道均内置一个数字积分器，用于从di/dt传感器恢复电流信号。这两个数字积分器默认禁用。将CONFIG寄存器(地址0x102)的INTENA位(位0)置1，可以使能电流通道A的数字积分器。将CONFIG寄存器(地址0x102)的INTENB位(位1)置1，可以使能电流通道B的数字积分器。

电压通道ADC

图41显示电压通道输入的ADC信号路径和信号处理，电压通道通过VP和VN引脚进行访问。ADC输出为二进制补码24位数据字，以6.99 kSPS(每秒千采样)的速率提供。在 ± 500 mV的额定满量程模拟输入和1倍的PGA_V增益设置下，ADC产生最大输出码。ADC输出范围为 $-6,500,000$ LSB(十进制)到 $+6,500,000$ LSB。注意，此输出因器件而异。

如图41所示，电压通道信号路径中有一个高通滤波器(HPF)。HPF默认使能，用于消除ADC输出中的直流失调。强烈建议始终使能该滤波器，但可以将其禁用，方法是将CONFIG寄存器(地址0x102)的HPFEN位(位2)清0。HPFEN位清0将禁用两个电流通道和电压通道中的高通滤波器。

基准电压电路

ADE7953内置1.2 V标称值的基准电压源，通过REF引脚提供基准电压。此基准电压供ADE7953中的ADC使用。也可以将一个外部基准源(例如1.2 V外部基准电压)加载到REF引脚。ADE7953的内部基准电压具有很小的温度漂移(参见技术规格部分)。温度漂移值则因器件而略有不同。x%的基准电压漂移会导致计量精度出现2x%的偏差。基准电压温漂通常非常小，而且远小于电表中其它元件的温漂。ADE7953默认使用内部基准电压。如果将EX_REF寄存器(地址0x800)的位0置1，则可以将外部基准电压施加于REF引脚。

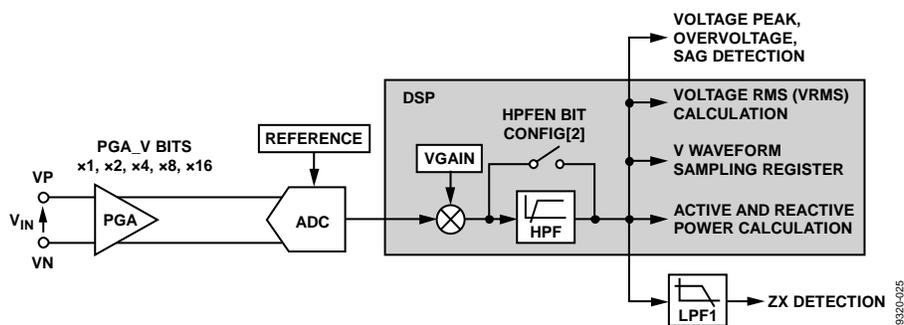


图41. 电压通道ADC和信号路径

有效值测量

有效值(rms)衡量交流信号的幅度。具体来说，交流信号的有效值等于在同一负载上产生同等量的功率所需的直流量。有效值的数学表示方法见公式1。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T f^2(t) dt} \quad (1)$$

对于时间采样信号，有效值计算涉及求信号的平方，取平均值，然后获得其平方根。

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N f^2[n]} \quad (2)$$

如公式2所示，有效值测量包含来自基频和所有高达1.23 kHz测量带宽的谐波的信息。

ADE7953同时为电流通道A、电流通道B和电压通道提供有效值测量。这些测量的建立时间约为200 ms，并以6.99 kHz的速率更新。

电流通道有效值计算

ADE7953为电流通道A和电流通道B提供有效值测量。图42显示了有效值计算的信号路径。电流通道A和电流通道B的信号处理完全相同。

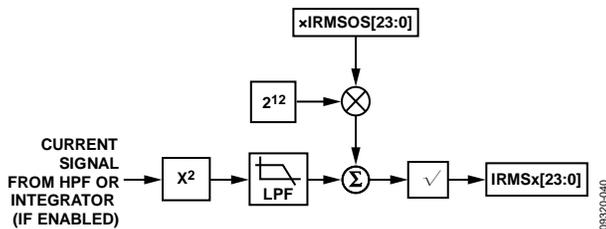


图42. 电流通道有效值信号处理

如图42所示，电流通道ADC的输出样本用于连续计算有效值。有效值的计算方法是先对输出信号的平方进行低通滤波，然后求取其结果的平方根。电流通道A和电流通道B的24位无符号有效值测量结果分别通过IRMSA(地址0x21A和地址0x31A)和IRMSB(地址0x21B和地址0x31B)寄存器提供。这些寄存器均以6.99 kHz的速率更新。

由于有效值信号路径所用的LPF并非理想滤波器，因此建议与过零信号同步读取IRMSx寄存器(参见过零检测部分)，这样可以消除有效值测量中存在的任何2ω纹波效应，从而有助于稳定读数到读数的变化。

电压通道有效值计算

ADE7953在电压通道上提供有效值测量。图43显示了有效值计算的信号路径。

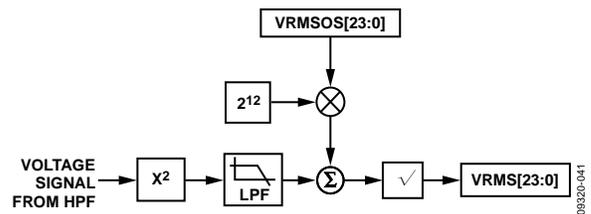


图43. 电压通道有效值信号处理

如图43所示，电压通道ADC的输出样本用于连续计算有效值。有效值的计算方法是先对输出信号的平方进行低通滤波，然后求取其结果的平方根。24位无符号电压通道有效值测量结果通过VRMS寄存器(地址0x21C和地址0x31C)提供。该寄存器以6.99 kHz的速率更新。

由于有效值信号路径所用的LPF并非理想滤波器，因此建议与过零信号同步读取VRMSx寄存器(参见过零检测部分)，这样可以消除有效值测量中存在的任何2ω纹波效应，从而有助于稳定读数到读数的变化。

有功功率计算

功率指电能从电源流到负载的速率，规定为电压与电流波形的乘积。由此得到的波形称为瞬时功率信号，等于每一个时刻电能流动的速率。功率单位是瓦特或焦耳/秒。

$$V(t) = \sqrt{2} \times V \times \sin(\omega t) \quad (3)$$

$$I(t) = \sqrt{2} \times I \times \sin(\omega t) \quad (4)$$

其中：

V是电压有效值。

I是电流有效值。

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad (5)$$

$$P(t) = VI - VI \times \cos(2\omega t) \quad (6)$$

整数线周期(n)内的平均功率用公式7表示。

$$P = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} P(t) dt = VI \quad (7)$$

其中：

P是有功或实际功率。

T是线周期时长。

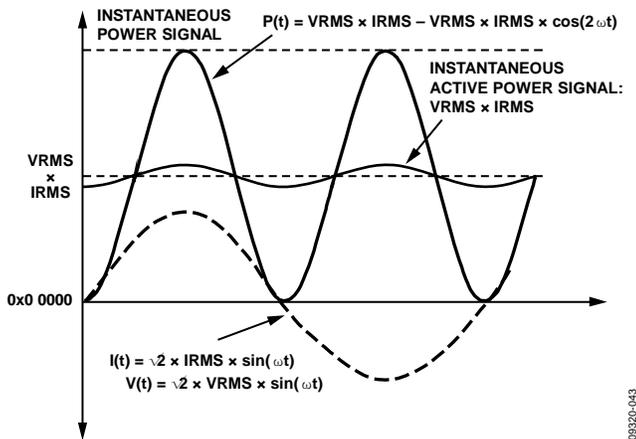


图44. 有功功率计算

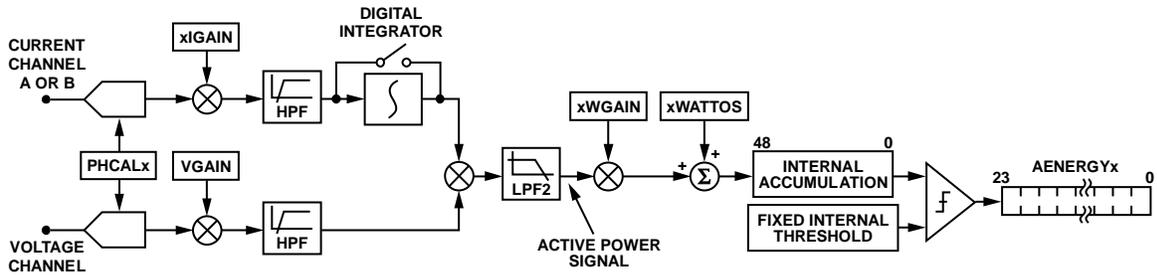


图45. 有功电能信号链

有功功率等于瞬时功率信号的直流分量(公式5中的P(t))。因此，有功功率等于VI。ADE7953利用该关系计算有功功率。图44显示了这一概念。

ADE7953中的有功功率和电能计算的信号链如图45所示。电流信号与电压信号相乘产生瞬时功率信号P(t)。然后由LPF2(低通滤波器)提取瞬时功率信号的直流分量，从而获得有功功率信息。由于LFP2不具有理想的“砖墙式”频率响应，因此有功功率信号中会有某种纹波。该纹波为正弦波形，频率等于线路频率的两倍。由于该纹波具有正弦特性，因此当对有功功率信号进行积分以计算有功电能时(参见有功电能计算部分)，会消除该纹波。

ADE7953在电流通道A和电流通道B上同时计算有功功率，并将由此产生的测量结果分别存储到AWATT(地址0x212和地址0x312)和BWATT(地址0x213和地址0x313)寄存器。在满量程输入下，AWATT和BWATT寄存器中的预期读数约为5,000,000 LSB(十进制)。

有功功率测量是在1.23 kHz的带宽上进行，并且包括该范围内的任何谐波的效应。有功功率寄存器以6.99 kHz的速率更新，可以在波形采样模式下读取(参见瞬时功率和波形采样部分)。

有功功率计算的符号

ADE7953的有功功率计算是带符号的计算。如果电流和电压波形的相差大于90°，则功率为负值。负功率表示电能回流到电网。ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)包括两个符号指示位，用于显示电流通道A (APSIGN_A)和电流通道B (APSIGN_B)的有功功率符号。更多信息请参见符号指示部分。

有功电能计算

如有功率计算部分所述，功率指电能流动的速率。该关系的数学表示方法见公式8。

$$P = \frac{dE}{dt} \quad (8)$$

其中：

P是功率。

E是电能。

反过来看，电能可以表示为功率的积分。

$$E = \int P dt \quad (9)$$

ADE7953分两个阶段实现对有功功率信号的积分。在第一阶段中，有功功率信号在内部48位寄存器中每隔143 μs (6.99 kHz)累计一次，直至达到内部固定阈值。达到此阈值后产生一个脉冲，并在用户可访问的24位accumulation寄存器中累计。在满量程输入下，内部阈值导致最大累计速率约为210 kHz。这一过程在电流通道A和电流通道B上同时发生，由此产生的读数可以在24位AENERGYA(地址0x21E和地址0x31E)和AENERGYB(地址0x21F和地址0x31F)寄存器中读取。两个累计阶段均带符号，因此负电能会从正电能中减除。

这种离散时间的累计或求和相当于连续时间的积分。公式10表达了该关系。

$$E = \int P(t)dt = \lim_{T \rightarrow 0} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} P(nT) \times T \right\} \quad (10)$$

其中：

n是离散时间采样数。

T是采样周期。

ADE7953累加寄存器的离散时间采样周期(T)为4.76 μs (1/210 kHz)，如图46所示，它显示了满量程输入下电能寄存器的翻滚速率。

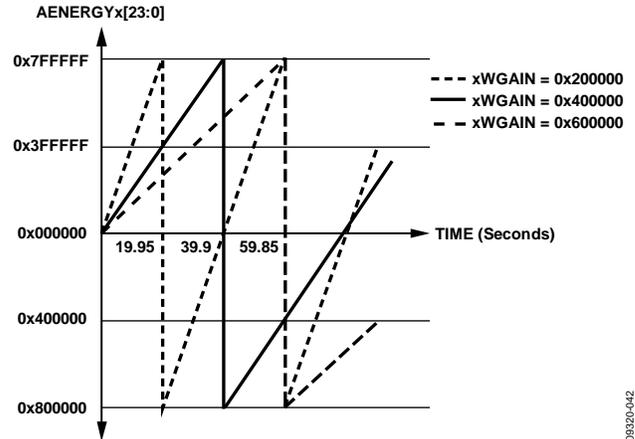


图46. 有功电能的energy寄存器翻滚时间

注意，当功率或电流向为正时，电能寄存器内容会翻滚至满量程负值(0x800000)并继续增加。相反，如果功率为负，则energy寄存器下溢到满量程正值(0x7FFFFFFF)并继续减少。

默认情况下，AENERGYA和AENERGYB是读清零寄存器。这意味着，在读操作之后，这些寄存器的内容复位为0。将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的位6 (RSTREAD)清0，可以禁用该特性。

ADE7953包括两组中断，当有功电能寄存器半满(正或负)或发生上溢/下溢时，就会触发中断。第一组中断与电流通道A的有功电能相关，第二组中断与电流通道B的有功电能相关。这些中断默认禁用，若要使能，须将用于电流通道A的IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的AEHFA和AEOFA位、以及用于电流通道B的IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的AEHFB和AEOFB位置1。

稳定负载下的有功电能积分时间

累加寄存器的离散时间采样周期(T)为4.76 μs (1/210 kHz)。当在模拟输入端提供满量程正弦信号，并且AWGAIN和BWGAIN寄存器设置为0x400000时，每隔4.76 μs就会产生一个脉冲并增加到AENERGYA和AENERGYB寄存器。24位AENERGYA和AENERGYB寄存器能够存储的最大正值为0x7FFFFFFF，超过此值寄存器就会上溢。在这些条件下，积分时间可以通过下式计算：

$$\text{时间} = 0x7FFFFFFF \times 4.76 \mu s = 39.9 \text{秒} \quad (11)$$

有功电能线周期累计模式

在有功电能线周期累计模式下，ADE7953的电能累计与电压通道过零同步，以便能够累计整数数量的半波周期的有功电能。电流通道A和电流通道B均具有该特性。这样做的好处是可以将有功电能的正弦分量降至0(参见公式12至公式15)，从而消除电能计算中的任何纹波。由于缩短了积分周期，因此电能计算也更精确，所需时间更少。线周期累计模式可以用于快速校准，以及获得指定时长的平均功率。利用公式6可以导出下列关于电能累计的公式：

$$P(t) = VI - [LPF] \times \cos(2\omega t) \quad (12)$$

$$E(t) = \int_0^{nT} VI dt - [LPF] \times \int_0^{nT} \cos(2\omega t) dt \quad (13)$$

其中：

n是整数。

T是线周期时长。

由于正弦分量在整数数量的线周期上积分，其值始终为0，因此：

$$E(t) = \int_0^{nT} VI dt + 0 \quad (14)$$

$$E = VInt \quad (15)$$

电流通道A和电流通道B的线周期累计模式默认禁用，若要使能，须将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的ALWATT和BLWATT位置1。累计时间应以半波周期数为单位写入LINECYC寄存器(地址0x101)。ADE7953最多可以累计65,535个半波周期的电能，这相当于大约655秒(50 Hz输入)或546秒(60 Hz输入)的累计时间。

写入LINECYC寄存器的半波周期数同时适用于电流通道A和电流通道B。线周期累计时间结束时，AENERGYA和AENERGYB寄存器更新，IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)中的CYCEND标志位置1。如果IRQENA寄存器的CYCEND位置1， \overline{IRQ} 引脚就会发出一个外部中断请求。这样， \overline{IRQ} 引脚也能用来指示线周期累计已完成。只要LCYCMODE寄存器的ALWATT和BLWATT位仍然为1，就会立即开始下一个累计周期。

AENERGYA和AENERGYB寄存器的内容与CYCEND标志位同步更新。AENERGYA和AENERGYB寄存器保持其当前值到下一个线周期时间结束，然后其内容用新读数替换。如果LCYCMODE寄存器(地址0x004)的读取后复位位(RSTREAD)置1，则AENERGYA和AENERGYB寄存器的内容在读取后清0，并保持0值，直到下一个线周期时间结束。

如果在线周期累计的中途向LINECYC寄存器(地址0x101)写入新值，则在线周期时间结束以前，不会在内部加载新值。在读取中途更新LINECYC寄存器时，会首先完成当前电能累计周期，然后设置新值，供下一个周期使用。这样可以防止因为LINECYC寄存器的变化而出现无效读数(参见图47)。

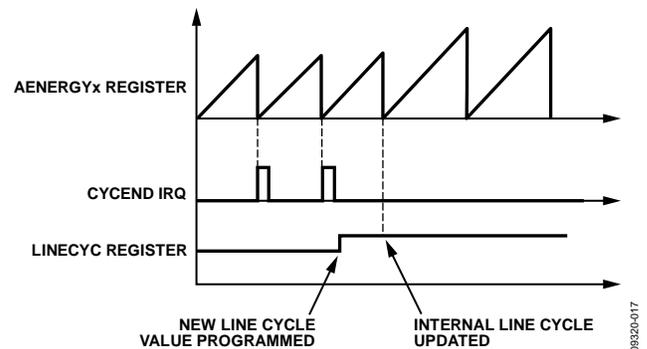


图47. 更改LINECYC寄存器

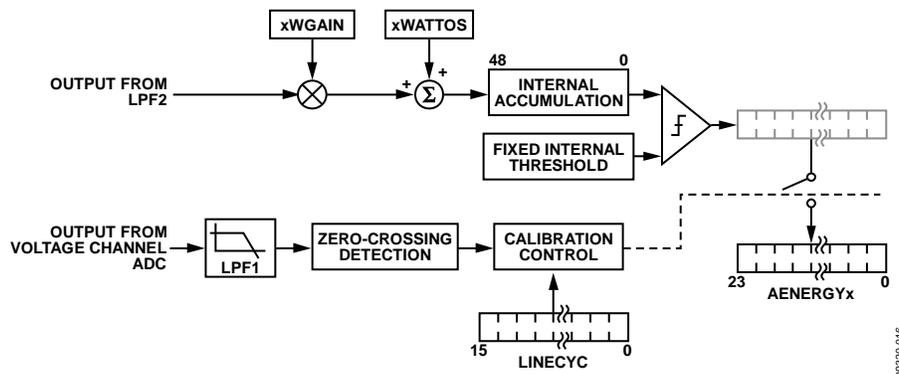


图48. 有功电能线周期累计

ADE7953

注意，首次使能线周期累计模式时，第一个CYCEND标志之后的读数可能不准确，应当忽略。这是因为线周期累计模式未与过零同步，所以第一个读数可能不是完整半波周期数的结果。首次线周期累计完成之后，后续所有读数将是准确的。

有功电能累计模式

带符号累计模式

ADE7953的默认有功电能累计模式是基于有功功率信息的带符号累计。

仅正值累计模式

ADE7953的电流通道A和电流通道B包括一个仅正值有功电能累计模式选项。在仅正值累计模式下，电能累计仅对正功率进行，而忽略任何高于或低于空载阈值的负功率(参见图49)。

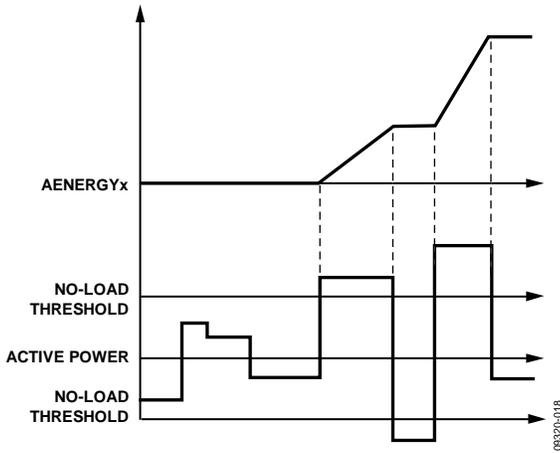


图49. 仅正值累计模式

电流通道A和电流通道B的仅正值累计模式默认禁用，若要使能，须将ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)的AWATTACC和BWATTACC位设置为01。

使能时，仅正值累计模式会影响AENERGYA和AENERGYB两个电能累加寄存器、以及CF输出引脚(参见电能频率转换部分)。注意，使能一个电流通道的仅正值累计模式时，该电流通道的反向功率特性不可用(参见反向功率部分)。

绝对值累计模式

ADE7953的电流通道A和电流通道B包括一个绝对有功电能累计模式选项。在绝对值累计模式下，电能累计使用绝对有功功率进行，而忽略任何低于空载阈值的功率(参见图50)。

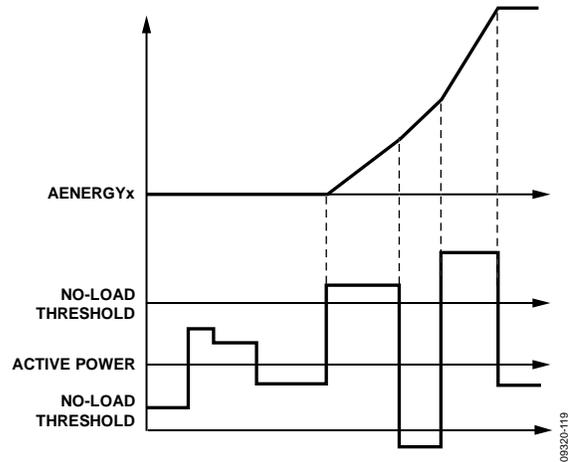


图50. 有功电能绝对值累计模式

电流通道A和电流通道B的绝对值累计模式默认禁用，若要使能，须将ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)的AWATTACC和BWATTACC位设置为10。

使能时，绝对值累计模式会影响AENERGYA和AENERGYB两个电能累加寄存器、以及CF输出引脚(参见电能频率转换部分)。注意，使能一个电流通道的绝对值累计模式时，该电流通道的反向功率特性不可用(参见反向功率部分)。

无功功率计算

无功功率指电压和电流信号其中之一相移90°时，电压波形与电流波形的乘积。由此得到的波形称为瞬时无功功率信号。

公式16是交流系统中电流通道相移+90°时的瞬时无功功率信号的表达式。

$$RP(t) = V(t) \times I'(t) \quad (16)$$

$$RP(t) = VI \times \sin(\theta) + VI \times \sin(2\omega t + \theta) \quad (17)$$

$$V(t) = \sqrt{2} \times V \times \sin(\omega t + \theta) \quad (18)$$

$$I(t) = \sqrt{2} \times I \times \sin(\omega t) \quad (19)$$

$$I'(t) = \sqrt{2} \times I \times \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \quad (20)$$

其中：

V是电压有效值。

I是电流有效值。

θ 是电压和电流通道的相差。

整数线周期(n)内的平均无功功率用公式21表示。

$$RP = \frac{1}{nT} \int_0^{nT} RP(t) dt = VI \times \sin(\theta)$$

其中：

RP是无功功率。

T是线周期时长。

无功功率等于瞬时无功功率信号的直流分量(公式16中的RP(t))。ADE7953利用该关系计算无功功率。ADE7953中的无功功率和电能计算的信号链如图51所示。

电流信号与电压信号相乘产生瞬时无功功率信号RP(t)。电流通道A和电流通道B的计算同时执行。该乘法在1.23 kHz的全带宽上进行，因此无功功率测量结果包括此范围内的所有谐波。

ADE7953无功功率测量在整个频率范围内保持稳定。然后由低通滤波器(LPF)提取瞬时无功功率信号的直流分量，从而获得无功功率信息。

无功功率信号路径中的LPF频率响应与有功功率计算所用的LPF频率响应完全相同。由于LFP不具有理想的“砖墙式”频率响应，因此无功功率信号中会有某种纹波。该纹波为正弦波形，频率等于线路频率的两倍。由于该纹波具有正弦特性，因此当对无功功率信号进行积分以计算无功电能时(参见无功电能计算部分)，会消除该纹波。

ADE7953在电流通道A和电流通道B上同时计算无功功率，并将由此产生的测量结果分别存储到AVAR(地址0x214和地址0x314)和BVAR(地址0x215和地址0x315)寄存器。在满量程输入下，AVAR和BVAR寄存器中的预期读数约为5,000,000 LSB(十进制)。

无功功率寄存器以6.99 kHz的速率更新，可以在波形采样模式下读取(参见瞬时功率和波形采样部分)。

无功功率计算的符号

ADE7953的无功功率计算是带符号的计算。如果电流波形超前于电压波形，则无功功率为负值。负无功功率表示负载为容性。如果电流波形滞后于电压波形，则无功功率为正值。正无功功率表示负载为感性。ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)包括两个符号指示位，用于显示电流通道A (VARSIGN_A)和电流通道B (VARSIGN_B)的无功功率符号。更多信息请参见符号指示部分。

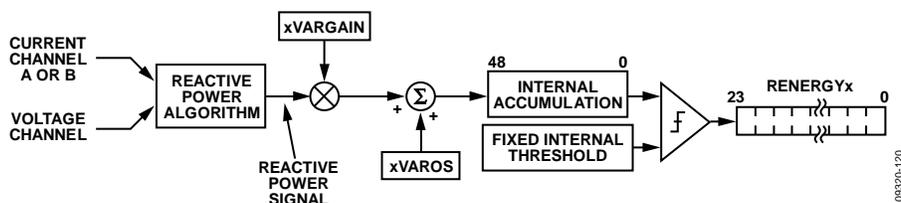


图51. 无功电能信号链

无功电能计算

ADE7953分两个阶段实现对无功功率信号的积分。在第一阶段中，无功功率信号在内部48位寄存器中每隔143 μs (6.99 kHz)累计一次，直至达到内部固定阈值。达到此阈值后产生一个脉冲，并在用户可访问的24位累加寄存器中累计。在满量程输入下，内部阈值导致最大累计速率约为210 kHz。这一过程在电流通道A和电流通道B上同时发生，由此产生的读数可以在24位RENERGYA(地址0x220和地址0x320)和RENERGYB(地址0x221和地址0x321)寄存器中读取。两个累计阶段均带符号，因此负电能会从正电能中减除。

注意，当功率或电流向为正时，无功电能寄存器内容会翻滚至满量程负值(0x800000)并继续增加。相反，如果功率为负，则energy寄存器下溢到满量程正值(0x7FFFFF)并继续减少。

默认情况下，RENERGYA和RENERGYB是读清零寄存器。这意味着，在读操作之后，这些寄存器的内容复位为0。将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的位6 (RSTREAD)清0，可以禁用该特性。

ADE7953包括两组中断，当无功电能寄存器半满(正或负)或发生上溢/下溢时，就会触发中断。第一组中断与电流通道A的无功电能相关，第二组中断与电流通道B的无功电能相关。这些中断默认禁用，若要使能，须将用于电流通道A的IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的VAREHFA和VAREOFA位、以及用于电流通道B的IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的VAREHFB和VAREOFB位置1。

稳定负载下的无功电能积分时间

累加寄存器的离散时间采样周期(T)为4.76 μs (1/210 kHz)。假设AVARGAIN和BVARGAIN寄存器设置为0x00，当在模拟输入端提供满量程正弦信号且相移为90°时，每隔4.76 μs就会产生一个脉冲并增加到RENERGYA和RENERGYB寄存器。24位RENERGYA和RENERGYB寄存器能够存储的最大正值为0x7FFFFF，超过此值寄存器就会上溢。在这些条件下，积分时间可以通过下式计算：

$$\text{时间} = 0x7FFFFF \times 4.76 \mu\text{s} = 39.9 \text{秒} \quad (22)$$

无功电能线周期累计模式

在无功电能线周期累计模式下，ADE7953的电能累计与电压通道过零同步，以便电流通道A和电流通道B能够累计整数数量的半波周期的无功电能。电流通道A和电流通道B的线周期累计模式默认禁用，若要使能，须将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的ALVAR和BLVAR位置1。

累计时间应以半波周期数为单位写入LINECYC寄存器(地址0x101)。写入LINECYC寄存器的半波周期数同时适用于电流通道A和电流通道B。ADE7953最多可以累计65,535个半波周期的无功电能，这相当于大约655秒(50 Hz输入)或546秒(60 Hz输入)的累计时间。

线周期累计时间结束时，RENERGYA和RENERGYB寄存器更新，IRQSTATATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)中的CYCEND标志位置1。如果IRQENA寄存器的CYCEND位置1， $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚就会发出一个外部中断。这样， $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚也能用来指示线周期累计已完成。只要LCYCMODE寄存器的ALVAR和BLVAR位仍然为1，就会立即开始下一个累计周期。

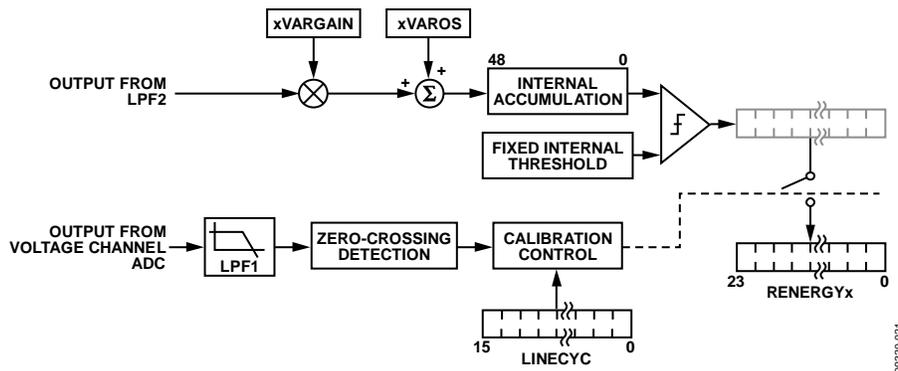


图52. 无功电能线周期累计

RENERGYA和RENERGYB寄存器的内容与CYCEND标志位同步更新。RENERGYA和RENERGYB寄存器保持其当前值到下一个线周期时间结束，然后其内容用新读数替换。如果LCYCMODE寄存器(地址0x004)的读取后复位位(RSTREAD)置1，则RENERGYA和RENERGYB寄存器的内容在读取后清0，并保持0值，直到下一个线周期时间结束。

如果在线周期累计的中途向LINECYC寄存器(地址0x101)写入新值，则在线周期时间结束以前，不会在内部加载新值。在读取中途更新LINECYC寄存器时，会首先完成当前电能累计周期，然后设置新值，供下一个周期使用。这样可以防止因为LINECYC寄存器的变化而出现无效读数(参见图47)。

注意，首次使能线周期累计模式时，第一个CYCEND标志位之后的读数可能不准确，应当忽略。这是因为线周期累计模式未与过零同步，所以第一个读数可能不是完整半波周期数的结果。首次线周期累计完成之后，后续所有读数将是准确的。

无功电能累计模式

带符号累计模式

ADE7953的默认无功电能累计模式是基于无功功率信息的带符号累计。

防窃电累计模式

ADE7953提供防窃电累计模式，它根据有功功率的符号累计无功电能。当有功功率为正值时，无功功率累加到无功电能累加寄存器。当有功功率为负值时，无功功率从无功电能累加寄存器中减除(参见图53)。

电流通道A和电流通道B的防窃电累计模式默认禁用，若要使能，须将ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)的AVARACC和BVARACC位设置为01。使能时，防窃电累计模式会影响RENERGYA和RENERGYB两个无功电能累加寄存器、以及CF输出引脚(参见电能频率转换部分)。

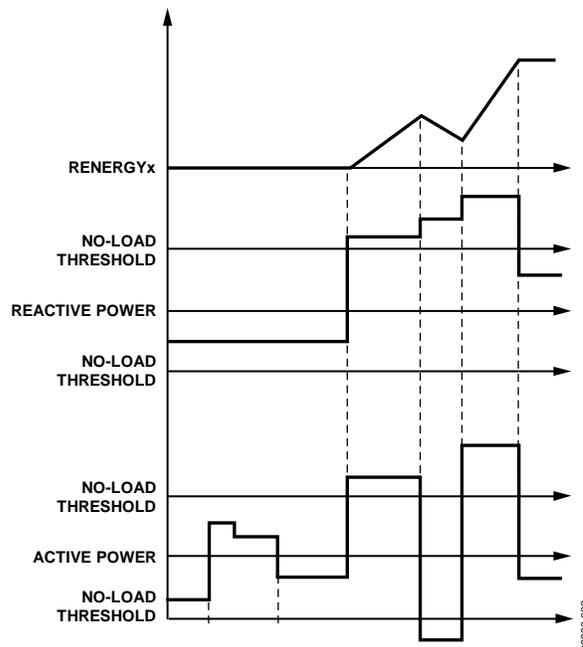


图53. 防窃电累计模式下的无功电能累计

绝对值累计模式

ADE7953的电流通道A和电流通道B包括一个绝对无功电能累计模式选项。在绝对值累计模式下，电能累计使用绝对无功功率进行，而忽略任何低于空载阈值的功率(参见图54)。

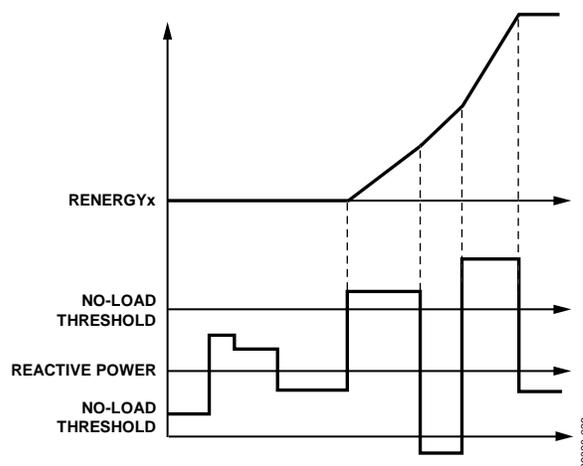


图54. 无功电能绝对值累计模式

电流通道A和电流通道B的绝对值累计模式默认禁用，若要使能，须将ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)的AVARACC和BVARACC位设置为10。

使能时，绝对值累计模式会影响RENERGYA和RENERGYB两个电能累加寄存器、以及CF输出引脚(参见电能频率转换部分)。

视在功率计算

视在功率指能够向负载提供的最大功率。VRMS和IRMS分别是提供给负载的有效电压和电流。因此，视在功率可以定义为VRMS与IRMS的乘积。该关系独立于电压与电流之间的相位角度。

公式26是交流信号中瞬时视在功率信号的表达式。

$$V(t) = \sqrt{2} \times VRMS \times \sin(\omega t) \quad (23)$$

$$I(t) = \sqrt{2} \times IRMS \times \sin(\omega t + \theta) \quad (24)$$

$$P(t) = V(t) \times I(t) \quad (25)$$

$$P(t) = VRMS \times IRMS \times \cos(\theta) - VRMS \times IRMS \times \cos(2\omega t + \theta) \quad (26)$$

ADE7953在电流通道A和电流通道B上同时计算视在功率，并将由此产生的测量结果分别存储到AVA(地址0x210和地址0x310)和BVA(地址0x211和地址0x311)寄存器。

视在功率测量是在1.23 kHz的带宽上进行，并且包括该范围内的任何谐波的效应。视在功率寄存器以6.99 kHz的速率更新，可以在波形采样模式下读取(参见瞬时功率和波形采样部分)。

视在电能计算

视在电能可以表示为视在功率的积分。

$$Apparent\ Energy = \int Apparent\ Power(t) dt \quad (27)$$

ADE7953分两个阶段实现对视在功率信号的积分。在第一阶段中，视在功率信号在内部48位寄存器中每隔143 μs (6.99 kHz)累计一次，直至达到内部固定阈值。达到此阈值后产生一个脉冲，并在用户可访问的24位累加寄存器中累计。在满量程输入下，内部阈值导致最大累计速率约为210 kHz。

这一过程在电流通道A和电流通道B上同时发生，由此产生的读数可以在24位APENERGYA(地址0x222和地址0x322)和APENERGYB(地址0x223和地址0x323)寄存器中读取。

注意，当功率或电能流向为正时，视在电能寄存器内容会翻滚至满量程负值(0x800000)并继续增加。相反，如果功率为负，则电能寄存器下溢到满量程正值(0x7FFFFFF)并继续减少。

默认情况下，APENERGYA和APENERGYB是读清零寄存器。这意味着，在读操作之后，这些寄存器的内容复位为0。将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的位6 (RSTREAD)清0，可以禁用该特性。

ADE7953包括两组中断，当视在电能寄存器半满(正或负)或发生上溢/下溢时，就会触发中断。第一组中断与电流通道A的视在电能相关，第二组中断与电流通道B的视在电能相关。

这些中断默认禁用，若要使能，须将用于电流通道A的IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的VAEHFA和VAEOF A位、以及用于电流通道B的IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的VAEHFB和VAEOF B位置1。

稳定负载下的视在电能积分时间

累加寄存器的离散时间采样周期(T)为4.76 μs (1/210 kHz)。假设AVAGAIN和BVAGAIN寄存器设置为0x00，当在模拟输入端提供满量程正弦信号时，每隔4.76 μs就会产生一个脉冲并增加到APENERGYA和APENERGYB寄存器。24位APENERGYA和APENERGYB寄存器能够存储的最大正值为0x7FFFFFF，超过此值寄存器就会上溢。在这些条件下，积分时间可以通过下式计算：

$$时间 = 0x7FFFFFF \times 4.76 \mu s = 39.9秒 \quad (28)$$

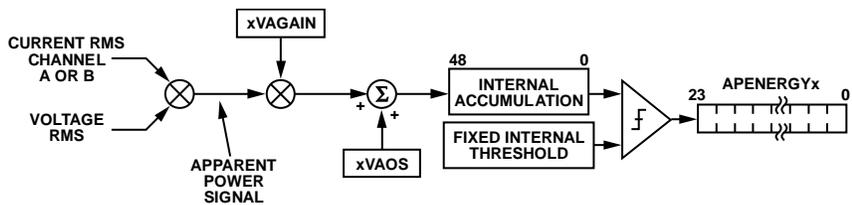


图55. 视在电能累计信号链

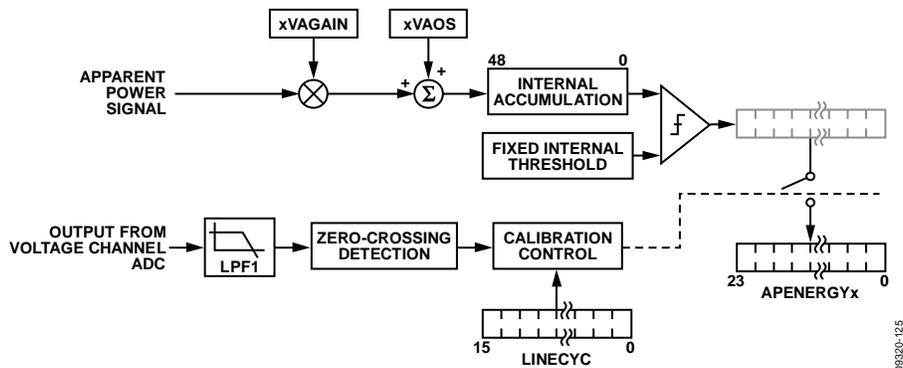


图56. 视在电能线周期累计

视在电能线周期累计模式

在视在电能线周期累计模式下，ADE7953的电能累计与电压通道过零同步，以便电流通道A和电流通道B能够累计整数数量的半波周期的视在电能。电流通道A和电流通道B的线周期累计模式默认禁用，若要使能，须将LCYCMODE寄存器(地址0x004)的ALVA和BLVA位置1。

累计时间应以半波周期数为单位写入LINECYC寄存器(地址0x101)。写入LINECYC寄存器的半波周期数同时适用于电流通道A和电流通道B。ADE7953最多可以累计65,535个半波周期的视在电能，这相当于大约655秒(50 Hz输入)或546秒(60 Hz输入)的累计时间。

线周期累计时间结束时，APENERGYA和APENERGYB寄存器更新，IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)中的CYCEND标志位置1。如果IRQENA寄存器的CYCEND位置1， $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚就会发出一个外部中断。这样， $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚也能用来指示线周期累计已完成。只要LCYCMODE寄存器的ALVA和BLVA位仍然为1，就会立即开始下一个累计周期。

APENERGYA和APENERGYB寄存器的内容与CYCEND标志位同步更新。APENERGYA和APENERGYB寄存器保持其当前值到下一个线周期时间结束，然后其内容用新读数替换。如果LCYCMODE寄存器(地址0x004)的读取后复位位(RSTREAD)置1，则APENERGYA和APENERGYB寄存器的内容在读取后清0，并保持0值，直到下一个线周期时间结束。

如果在线周期累计的中途向LINECYC寄存器(地址0x101)写入新值，则在线周期时间结束以前，不会在内部加载新值。在读取中途更新LINECYC寄存器时，会首先完成当前电能累计周期，然后设置新值，供下一个周期使用。这样可以防止因为LINECYC寄存器的变化而出现无效读数(参见图47)。

注意，首次使能线周期累计模式时，第一个CYCEND标志之后的读数可能不准确，应当忽略。这是因为线周期累计模式未与过零同步，所以第一个读数可能不是完整半波周期数的结果。首次线周期累计完成之后，后续所有读数将是准确的。

安培小时累计

在电表没有电压可用的窃电情况下，ADE7953可以累加安培小时测量结果，取代累计APENERGYA和APENERGYB寄存器的视在功率。如果使能这种模式，则会连续累计电流通道A和电流通道B的IRMS测量结果，而不累计视在功率；同时视在功率CF输出引脚将反映安培小时测量结果(参见电能频率转换部分)。在安培小时累计模式下，所有用于视在功率和视在电能累计的信号处理和校准寄存器仍然有效，其中包括视在电能空载特性(参见视在电能空载部分)。这种模式需要重新校准，因为IRMS与视在信号之间存在内部调整差异。

电能频率转换

出于校准目的，ADE7953提供两种电能频率转换。制造过程中进行初步校准之后，制造商或最终用户常常需要验证电表的精度。一种简便的验证方法是在稳定负载条件下，提供与有功、无功、视在功率或电流有效值成比例的输出频率。该输出频率用作一个简单的单线接口，可以对它进行光隔离，以与外部校准设备进行接口。ADE7953包括两个完全可编程的校准频率输出引脚：CF1(引脚23)和CF2(引脚24)。电能频率转换如图57所示。

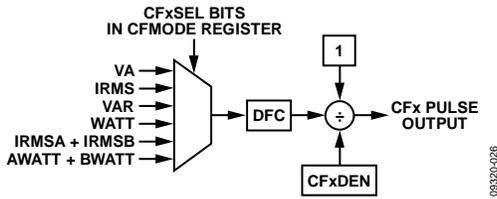


图57. 电能频率转换

两个数字频率转换器(DFC)用于产生脉冲输出。每次电能寄存器累计1 LSB时，DFC就会产生一个脉冲。当DFC输出产生CFxDEN数量的脉冲时，就会产生一个输出脉冲。

CF1和CF2引脚的输出信号可以配置为与电流通道A或电流通道B的有功功率、无功功率、视在功率或IRMS成比例。此外，CF1和CF2的输出信号还可以配置为与电流通道A IRMS和电流通道B IRMS之和成比例，或者与电流通道A有功功率和电流通道B有功功率之和成比例。这种配置需要重新校准，因为实际的CF输出等于电流通道A有功功率和电流通道B有功功率之和除以2。CF1和CF2输出引脚通过设置CFMODE寄存器(地址0x107)的CF1SEL和CF2SEL位进行编程。

这两个脉冲输出(CF1和CF2)默认禁用，可以通过将CFMODE寄存器(地址0x107)的CF1DIS和CF2DIS位清0而分别使能。

脉冲输出特性

如果脉冲周期长于160 ms (6.25 Hz)，两个DFC的脉冲输出将保持低电平80 ms。如果脉冲周期短于160 ms，则脉冲输出的占空比为50%。这些脉冲输出为低电平有效。在满量程交流输入和CFxDEN = 0x00时，最大输出频率约为210 kHz。

ADE7953包括两个无符号16位寄存器CF1DEN(地址0x103)和CF2DEN(地址0x104)，用于分别控制CF1和CF2引脚的CF输出频率。这些16位分频寄存器可以 $1/(2^{16} - 1)$ 的步进将输出频率缩小 $(2^{16} - 1)$ 倍，从而输出值1。

电能校准

增益校准

电流通道A和电流通道B可以分别校准有功、无功和视在功率测量，从而补偿不同电表的增益偏差。

AWGAIN寄存器(地址0x282和地址0x382)控制电流通道A的有功功率增益校准，BWGAIN寄存器(地址0x28E和地址0x38E)控制电流通道B的有功功率增益校准。xWGAIN寄存器的默认值为0x400000，对应于无增益校准。能够写入xWGAIN寄存器的最小值为0x200000，对应于-50%的增益调整。能够写入xWGAIN寄存器的最大值为0x600000，对应于+50%的增益调整。公式29反映了增益调整与xWGAIN寄存器的关系。

$$\begin{aligned} \text{Output Power (W)} = & \quad (29) \\ \text{Active Power} \times \left(\frac{xWGAIN}{0x400000} \right) \end{aligned}$$

对于无功功率和视在功率，也存在类似的增益校准寄存器。电流通道A和电流通道B的无功功率可以分别利用AVARGAIN(地址0x283和地址0x383)和BVARGAIN(地址0x28F和地址0x38F)寄存器进行增益校准。电流通道A和电流通道B的视在功率可以分别利用AVAGAIN(地址0x284和地址0x384)和BVAGAIN(地址0x290和地址0x390)寄存器进行增益校准。xVARGAIN和xVAGAIN寄存器影响无功和视在功率的方式与xWGAIN寄存器影响有功功率的方式相同。因此，可以对公式29进行修改，以反映无功和视在功率的增益校准，如公式30和公式31所示。

$$\begin{aligned} \text{Output Power (VAR)} = & \quad (30) \\ \text{Reactive Power} \times \left(\frac{xVARGAIN}{0x400000} \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Output Power (VA)} = & \quad (31) \\ \text{Apparent Power} \times \left(\frac{xVAGAIN}{0x400000} \right) \end{aligned}$$

电流通道增益调整

电流通道B也有一个增益校准寄存器。该寄存器可以用来匹配电流通道B与电流通道A，以简化校准和计算。电流通道B的增益校准通过BIGAIN寄存器(地址0x28C和地址0x38C)来执行。公式32反映了增益调整与IRMSB寄存器的关系。

$$\begin{aligned} IRMSB_{Expected} = & \quad (32) \\ IRMSB_{INITIAL} \times \left(\frac{BIGAIN}{0x400000} \right) \end{aligned}$$

电压通道和电流通道A也有类似的寄存器可用。VGAIN寄存器(地址0x281和地址0x381)和AIGAIN寄存器(地址0x28D和地址0x38D)提供增益校准和调整功能，方式与BIGAIN寄存器相同。

相位校准

ADE7953设计用于配合各种电流传感器工作，包括会引起固有相位误差的传感器。对于电流变压器(CT)，0.1°至0.3°的相位误差并不罕见。这些相位误差因器件而异，必须予以校正才能获得精确的功率读数。当功率因数较低时，相位不匹配所引起的误差特别明显。ADE7953通过引入延迟时间或提前时间，以数字方式校准这些细小的相位误差。

由于电流通道A和电流通道B可能使用不同的传感器，因此各通道的相位校准寄存器是独立的。PHCALA寄存器(地址0x108)用于校正电流通道A的相位误差，PHCALB寄存器(地址0x109)用于校正电流通道B的相位误差。两个寄存器均为10位符号幅度格式，MSB表示相应电流通道施加的是延迟时间还是提前时间。如果将0写入PHCALx寄存器的MSB，则向电流通道引入一个延迟时间。如果将1写入PHCALx寄存器的MSB，则向电流通道引入一个提前时间。

能够写入PHCALx[8:0]的最大范围是383(十进制)。PHCALx寄存器的1 LSB相当于1.12 μs (CLKIN/4)的延迟时间或提前时间。对于50 Hz的线路频率，分辨率为0.02°/LSB ((360 × 50 Hz)/898.857 kHz)，在任一方向上可提供7.66°的总校正量。对于60 Hz的线路频率，分辨率为0.024°/LSB ((360 × 60 Hz)/898.857 kHz)，在任一方向上可提供9.192°的总校正量。

失调校准

功率失调

ADE7953拥有多个失调校准寄存器，分别对应电流通道A和电流通道B的有功、无功、视在功率等。由于PCB上和ADE7953中的通道间串扰，功率计算中可能存在失调。通过失调校准可以消除这些失调，提高低输入电平时的测量精度。

电流通道A和电流通道B的有功功率失调可以分别通过调整AWATTOS(地址0x289和地址0x389)和BWATTOS(地址0x295和地址0x395)寄存器来校正。xWATTOS寄存器为24位带符号二进制补码寄存器，默认值为0。xWATTOS寄存器中的1 LSB相当于有功功率测量的0.001953 LSB。因此，xWATTOS值移位9位后施加于xWATT寄存器，如图58所示。

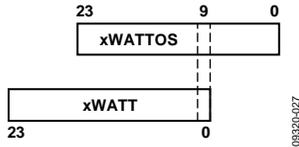


图58. xWATTOS和xWATT寄存器

电压和电流通道在满量程输入下，预期功率读数约为5,000,000 LSB(十进制)。电流通道A和电流通道B在-60 dB(1000:1)时，AWATT和BWATT寄存器的预期读数分别约为5000(十进制)。因此，在-60 dB时，xWATT寄存器的1 LSB对应0.000039%。

电流通道A和电流通道B的无功功率失调可以分别通过调整AVAROS(地址0x28A和地址0x38A)和BVAROS(地址0x296和地址0x396)寄存器来校正。xVAROS寄存器影响无功功率的方式与xWATTOS寄存器影响有功功率的方式相同。

电流通道A和电流通道B的视在功率失调可以分别通过调整AVAOS(地址0x28B和地址0x38B)和BVAOS(地址0x297和地址0x397)寄存器来校正。xVAOS寄存器影响视在功率的方式与xWATTOS寄存器影响有功功率的方式相同。

有效值失调

ADE7953拥有用于校正有效值测量失调的失调校准寄存器。电流通道A和电流通道B的IRMS测量以及VRMS测量均有相应的失调校准寄存器。由于V2(t)的直流分量中存在输入噪声的积分，因此有效值计算中可能存在失调。通过失调校准可以消除这些失调，提高低输入电平时的测量精度。

电压有效值通过调整VRMSOS寄存器(地址0x288和地址0x388)来校正。这个24位带符号二进制补码寄存器的默认值为0，表示不增加任何偏移。VRMSOS值在平方根函数前应用。公式33显示了VRMSOS寄存器对VRMS测量的影响。

$$VRMS = \sqrt{VRMS_0^2 + VRMSOS \times 2^{12}} \quad (33)$$

其中，VRMS0是失调校准前的初始VRMS读数。

电流有效值失调以类似方式进行校准。AIRMSOS寄存器(地址0x286和地址0x386)补偿IRMSA测量的失调，BIRMSOS寄存器(地址0x292和地址0x392)补偿IRMSB测量的失调。两个寄存器均为24位带符号二进制补码寄存器。xIRMSOS寄存器影响IRMS测量的方式与VRMSOS寄存器影响VRMS测量的方式相同。因此，可以对公式33进行修改，以反映IRMS的失调校准，如公式34和公式35所示。

$$IRMSA = \sqrt{IRMSA_0^2 + AIRMSOS \times 2^{12}} \quad (34)$$

$$IRMSB = \sqrt{IRMSB_0^2 + BIRMSOS \times 2^{12}} \quad (35)$$

周期测量

ADE7953提供电压通道的周期测量。测量结果在16位无符号period寄存器(地址.0x10E)中提供。Period寄存器每个线周期更新一次，在周期测量稳定之前，它需要30 ms到40 ms的建立时间。

周期测量的分辨率为4.48 μ s/LSB(223 kHz时钟)，相当于50 Hz线路频率时的0.0224%或60 Hz线路频率时的0.0268%。

对于50 Hz网络，period寄存器的值约为4460(十进制、223 kHz/50 Hz)；对于60 Hz网络，该值约为3716(十进制、223 kHz/60 Hz)。当线路建立之后，测量结果不再改变时，period寄存器稳定在 ± 1 LSB。

可以利用下面的公式和period寄存器来计算线周期和频率。

$$T_L = \frac{\text{PERIOD}[15:0] + 1}{223 \text{ kHz}} \text{ sec} \quad (36)$$

瞬时功率和波形采样

除了瞬时有功、无功和视在功率以外，ADE7953还能提供电流和电压通道波形数据。利用这些信息可以更详细地分析瞬时数据，包括重构电流和电压输入以进行谐波分析。这些测量结果通过一组24/32位带符号寄存器提供(参见表7)。

所有测量结果均以6.99 kHz(CLKIN/512)的速率更新。ADE7953提供一个中断状态位WSMP，它以6.99 kHz的速率触发，使得测量能够与瞬时信号更新速率同步。该状态位位于IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)。通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的WSMP位(位17)，也可以将该信号配置为触发外部IRQ引脚上的中断。

ADE7953还提供一个以同样的6.99 kHz速率发送不锁存数据就绪信号的选项。该信号提供与WSMP中断相同的信息，但它不锁存，所以不需要在每次有新数据可用时进行处理。数据就绪信号保持高电平280 ns，然后自动变为低电平。数据就绪信号默认禁用，若要通过REVP、ZX和ZX_I引脚输出，须将ALT_OUTPUT寄存器(地址0x110)的REVP_ALT、ZX_ALT和ZXI_ALT位设置为1001。

表7.波形采样寄存器

测量	寄存器	地址	
		24位	32位
有功功率(电流通道A)	AWATT	0x212	0x312
有功功率(电流通道B)	BWATT	0x213	0x313
无功功率(电流通道A)	AVAR	0x214	0x314
无功功率(电流通道B)	BVAR	0x215	0x315
视在功率(电流通道A)	AVA	0x210	0x310
视在功率(电流通道B)	BVA	0x211	0x311
电流(电流通道A)	IA	0x216	0x316
电流(电流通道B)	IB	0x217	0x317
电压(电压通道)	V	0x218	0x318

功率因数

ADE7953同时在电流通道A和电流通道B上提供直接功率因数测量。交流电路的功率因数指流入负载的有功功率与视在功率之比。功率因数测量用“超前”或“滞后”来描述，表示电流波形超前或滞后于电压波形。

当电流波形超前于电压波形时，负载为容性，功率因数为负值。当电流波形滞后于电压波形时，负载为感性，功率因数为正值。

电流波形与电压波形的关系如图59所示。

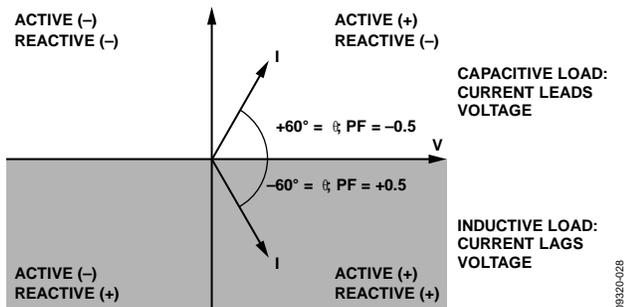


图59. 容性负载和感性负载

如图59所示，当负载为容性时，无功功率测量结果为负值；当负载为感性时，无功功率测量结果为正值。因此，无功功率的符号可以反映功率因数的符号。

功率因数的数学定义如公式37所示。

$$\text{Power Factor} = \frac{\text{Active Power}}{\text{Apparent Power}} \times (\text{Sign of Reactive Power}) \quad (37)$$

功率因数测量包括1.23 kHz带宽范围内的所有谐波的效应。

功率因数读数存储在两个16位带符号寄存器中：对应电流通道A的PFA(地址0x10A)和对应电流通道B的PFB(地址0x10B)。这些寄存器是带符号的二进制补码寄存器，MSB表示功率因数的极性。PFx寄存器的1 LSB相当于 2^{-15} 的权重；因此，最大寄存器值0x7FFF对应的功率因数为1，最小寄存器值0x8000对应的功率因数为-1。

默认情况下，瞬时有功和视在功率读数用来计算功率因数，寄存器以6.99 kHz的速率更新。符号位从各通道的瞬时无功电能测量获得。

利用线周期累计模式确定功率因数

如果需要通过更多样本求平均值来测量功率因数，则ADE7953可以利用有功和视在电能的线周期累计测量结果来确定功率因数(参见有功电能线周期累计模式部分和视在电能线周期累计模式部分)。该选项可提供更稳定的功率因数读数。

若要利用线周期累计模式来确定功率因数，ADE7953须配置如下：

- CONFIG寄存器(地址0x102)的PFMODE位(位3)置1。
- LCYCMODE寄存器(地址0x004)的xLWATT和xLVA位置1，使能有功电能和视在电能的线周期累计模式。

利用周期累计模式确定功率因数时，功率因数测量的更新速率为整数个半波周期数。半波周期数通过LINECYC寄存器(地址0x101)进行编程。关于有功设置线周期累计模式的详细信息，参见有功电能线周期累计模式部分和视在电能线周期累计模式部分。

空载检测下的功率因数

如果使能空载检测(参见空载检测部分)，则空载条件会影响功率因数测量。下列考虑仅适用于空载检测已使能并且发生空载条件的情况：

- 如果视在电能空载条件为真，则功率因数测量置1，因为器件认为此时不存在有功或无功功率。
- 如果有功电能空载条件为真，则功率因数测量置0，因为器件认为此时负载为纯容性或纯感性。
- 如果无功电能空载条件为真，则功率因数的符号取决于有功功率的符号。

角度测量

ADE7953能够测量电流输入与电压输入之间的延迟时间。电流通道A和电流通道B均具有该特性。过零检测电路所识别的负正跃迁用作测量的开始和停止条件(参见图60)。

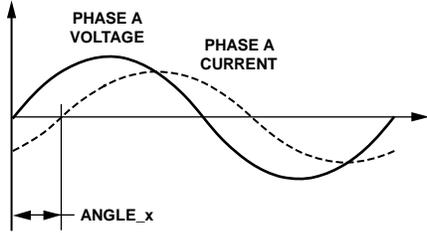


图60. 电流与电压之间的时间延迟

ADE7953同时在电流通道A和电流通道B上提供时间延迟测量。测量结果通过16位带符号寄存器ANGLE_A(地址0x10C)和ANGLE_B(地址0x10D)提供。ANGLE_A或ANGLE_B寄存器的1 LSB对应4.47 μs(223 kHz时钟)。因此, 50 Hz时的分辨率为0.0807° ((360 × 50)/223 kHz), 60 Hz时为0.0969° ((360 × 60)/223 kHz)。

电流输入与电压输入之间的时间延迟可以用来描述负载的平衡特性。相电压与电流之间的延迟可以用来计算电流通道A和电流通道B的功率因数, 如公式38所示。

$$\cos \phi_x = \cos \left(ANGLE_x \times \frac{360^\circ \times f_{LINE}}{223 \text{ kHz}} \right) \quad (38)$$

其中:

x = A或B。

f_{LINE} 为50 Hz或60 Hz。

这种确定功率因数的方法不考虑任何谐波的影响, 因此, 它可能并不等同于公式37所示的功率因数的真实定义。

空载检测

ADE7953利用空载检测功能来消除“电表潜动”现象。电表潜动指没有连接负载时电表累计的多余电能。当电能降至可编程阈值以下时，ADE7953会发出警告，并停止累计电能。ADE7953的有功、无功和视在电能测量均包括空载特性。这样就能检测到真正的空载条件，同时在纯阻性、纯感性或纯容性负载条件下防止爬电。空载特性默认使能。

设置空载阈值

三个独立的24/32位寄存器分别用于设置有功、无功和视在电能的空载阈值：AP_NOLOAD(地址0x203和地址0x303)、VAR_NOLOAD(地址0x204和地址0x304)和VA_NOLOAD(地址0x205和地址0x305)。有功、无功和视在电能空载阈值彼此完全独立，因此需要全部三个阈值。这三种测量的空载阈值可以根据公式39进行设置。

$$X_NOLOAD = 65,536 - \frac{Y}{1.4} \quad (39)$$

其中：

X为AP、VAR或VA。

Y是相对于满量程电能的阈值幅度要求(例如20,000:1)。

如公式39所示，空载阈值可以根据相对于满量程的水平要求进行配置。例如，如果要求的空载阈值为满量程电流通道的10,000:1，并且电压通道的工作电压设置为±250 mV(满量程的50%)，则Y值必须为20,000。AP_NOLOAD和VAR_NOLOAD寄存器的默认值为58,393(十进制)，相当于大约10,000:1的初始空载阈值。VA_NOLOAD寄存器的默认值为0x00。

空载阈值AP_NOLOAD、VAR_NOLOAD和VA_NOLOAD必须在空载特性使能之前写入。空载特性通过DISNOLOAD寄存器(地址0x001)使能。如果阈值需要修改，应先禁用空载检测，修改阈值，然后利用DISNOLOAD寄存器重新使能该特性。

虽然电流通道A和电流通道B(相和零线电流)的空载中断是相互独立的，但空载阈值却是共用的。例如，如果VAR_NOLOAD阈值设置为满量程的0.05%，则电流通道A(相)和电流通道B(零线)的无功功率空载阈值都将使用该值。

有功电能空载检测

有功电能空载检测可以与无功电能空载检测一起使用，以便确立“真实”的空载特性。如果有功和无功电能均降至空载阈值以下，则不存在阻性、感性和容性负载。当存在感性或容性负载时，也可以使用有功电能空载特性来防止有功电能爬电。

如果电流通道A(相)或电流通道B(零线)的有功电能降至所设置的阈值以下，则AENERGYA或AENERGYB寄存器停止累计该通道的有功电能。如果CF1或CF2引脚被设置为输出有功电能，则CF输出禁用并保持高电平(参见电能频率转换部分)。如果使能，则在空载条件下，有功反向功率指示(REVP)将保持其当前状态(参见反向功率部分)。电流通道A的有功电能空载条件由IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)的AP_NOLOADA位(位6)指示。电流通道B的有功电能空载条件由IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)的AP_NOLOADB位(位6)指示。

电流通道A和电流通道B彼此独立，因此，电流通道A的空载条件仅影响电流通道A的电能累计、CF输出和反向功率，电流通道B亦如此。

有功电能空载特性默认使能，若要禁用，须将DISNOLOAD寄存器(地址0x001)的位0置1。

有功电能空载中断

有功电能空载特性有两个相关的中断：一个用于电流通道A(相)，一个用于电流通道B(零线)。如果使能，则当有功电能降至所设置的阈值以下时，就会触发中断。

电流通道A的有功电能空载中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的AP_NOLOADA位(位6)使能。此位置1时，电流通道A的有功电能空载事件将使 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚(引脚22)变为0(参见主中断(电压通道和电流通道A)部分)。

电流通道B的有功电能空载中断可以通过设置IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的AP_NOLOADB位(位6)使能。此位置1时，电流通道B的有功电能空载事件将触发 $\overline{\text{IRQ}}$ 的替代输出功能(参见电流通道B中断部分)。

有功电能空载状态位

除了有功电能空载中断以外，ADE7953还包括两个不锁存状态位，用于连续监控电流通道A和电流通道B的空载状态。ACTNLOAD_A和ACTNLOAD_B位位于ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)。这些位与中断状态位的区别在于它们不锁存，因而可以用来驱动LED。

无功电能空载检测

无功电能空载检测可以与有功电能空载检测一起使用，以便确立“真实”的空载特性。如果无功和有功电能均降至空载阈值以下，则不存在阻性、感性和容性负载。当存在阻性负载时，也可以使用无功电能空载特性来防止无功电能爬电。

如果电流通道A(相)或电流通道B(零线)的无功电能降至所设置的阈值以下，则REENERGYA和REENERGYB寄存器停止累计该通道的无功电能。如果CF1或CF2引脚被设置为输出无功电能，则CF输出禁用并保持高电平(参见电能频率转换部分)。如果使能，则在空载条件下，无功反向功率指示将保持其当前状态(参见反向功率部分)。电流通道A的无功电能空载条件由IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)的VAR_NOLOADA位(位7)指示。电流通道B的无功电能空载条件由IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)的VAR_NOLOADB位(位7)指示。

电流通道A和电流通道B彼此独立，因此，电流通道A的空载条件仅影响电流通道A的电能累计、CF输出和反向功率，电流通道B亦如此。

无功电能空载特性默认使能，若要禁用，须将DISNOLOAD寄存器(地址0x001)的位1置1。

无功电能空载中断

无功电能空载特性有两个相关的中断：一个用于电流通道A(相)，一个用于电流通道B(零线)。如果使能，则当无功电能降至所设置的阈值以下时，就会触发中断。

电流通道A的无功电能空载中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的VAR_NOLOADA位(位7)使能。此位置1时，电流通道A的无功电能空载事件将使IRQ引脚(引脚22)变为0(参见主中断(电压通道和电流通道A)部分)。

电流通道B的无功电能空载中断可以通过设置IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的VAR_NOLOADB位(位7)使能。此位置1时，电流通道B的无功功率空载事件将触发IRQ的替代输出功能(参见电流通道B中断部分)。

无功电能空载状态位

除了无功电能空载中断以外，ADE7953还包括两个不锁存状态位，用于连续监控电流通道A和电流通道B的空载状态。VARNLOAD_A和VARNLOAD_B位位于ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)。这些位与中断状态位的区别在于它们不锁存，因而可以用来驱动LED。

视在电能空载检测

视在电能空载检测可以用来确定消耗的总电能是否低于空载阈值。如果电流通道A(相)或电流通道B(零线)的视在电能降至所设置的阈值以下，则APENERGYA和APENERGYB寄存器停止累计该通道的视在电能。如果CF1或CF2引脚被设置为输出视在电能，则CF输出禁用并保持高电平(参见电能频率转换部分)。电流通道A的视在电能空载条件由IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)的VA_NOLOADA位(位8)指示。电流通道B的视在电能空载条件由IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)的VA_NOLOADB位(位8)指示。

电流通道A和电流通道B彼此独立，因此，电流通道A的空载条件仅影响电流通道A的电能累计和CF输出，电流通道B亦如此。

视在电能空载特性默认使能，若要禁用，须将DISNOLOAD寄存器(地址0x001)的位2置1。

视在电能空载中断

视在电能空载特性有两个相关的中断：一个用于电流通道A(相)，一个用于电流通道B(零线)。如果使能，则当视在电能降至所设置的阈值以下时，就会触发中断。

电流通道A的视在电能空载中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的VA_NOLOADA位(位8)使能。此位置1时，电流通道A的视在电能空载事件将使IRQ引脚(引脚22)变为0(参见主中断(电压通道和电流通道A)部分)。

电流通道B的视在电能空载中断可以通过设置IRQBENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的VA_NOLOADB位(位8)使能。此位置1时，电流通道B的视在电能空载事件将触发IRQ的替代输出功能(参见电流通道B中断部分)。

视在电能空载状态位

除了视在电能空载中断以外，ADE7953还包括两个不锁存状态位，用于连续监控电流通道A和电流通道B的空载状态。VANLOAD_A和VANLOAD_B位位于ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)。这些位与中断状态位的区别在于它们不锁存，因而可以用来驱动LED。

过零检测

ADE7953的所有三个输入通道都具有过零(ZX)检测特性。利用过零检测,可以使测量与输入波形的频率同步。

过零检测在LPF1的输出端执行,以确保过零检测的精度不受谐波或失真影响。LPF1是单极点滤波器,-3 dB截止频率为80 Hz,时钟频率为223 kHz。因此,在50 Hz时,该滤波器的相移产生大约2.2 ms(39.6°)的时间延迟。为确保过零检测具有良好的分辨率,不能禁用LPF1。图61显示了如何检测过零信号。

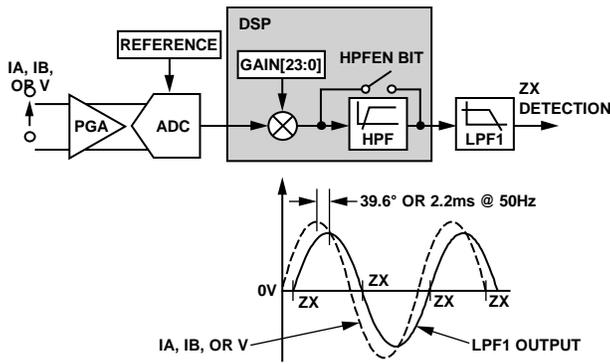


图61. 过零检测

50 Hz系统的过零检测误差为0.08°, 60 Hz系统则为0.09°。过零信息可通过输出引脚或中断提供。

过零输出引脚

默认情况下,电压和电流通道过零信息分别通过引脚1(ZX)和引脚21(ZX_I)输出。这些专用输出引脚提供不锁存的过零指示(参见替代输出功能部分)。

电压通道过零

电压通道过零指示默认通过引脚1(ZX)输出。图62显示了ZX输出的操作。

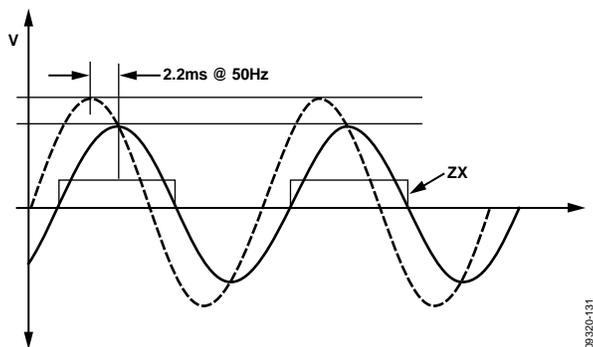


图62. 电压通道ZX输出

如图62所示, ZX输出引脚在电压通道过零的趋正边沿变为高电平,在过零的趋负边沿变为低电平。由于LPF1的时间延迟,此引脚预计会有大约2.2 ms的延迟。

电流通道过零

电流通道过零指示默认通过引脚21(ZX_I)输出。ZX_I引脚的工作方式与ZX引脚相似(参见图62)。ZX_I引脚在电流通道过零的趋正边沿变为高电平,在电流通道过零的趋负边沿变为低电平。默认情况下, ZX_I引脚基于电流通道A而触发。若要将ZX_I引脚配置为基于电流通道B而触发,须将CONFIG寄存器(地址0x102)的ZX_I位(位11)置1。

过零中断

过零检测有三个相关的中断,分别用于电流通道A、电流通道B和电压通道。当发生正或负过零跃迁时,即出现过零条件。如果跃迁发生在电压通道上,则IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)的ZXV位(位15)置1。如果跃迁发生在电流通道A上,则IRQSTATA寄存器的ZXIA位(位12)置1。如果跃迁发生在电流通道B上,则IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)的ZXIB位(位12)置1。图63显示了电压通道过零中断的操作。

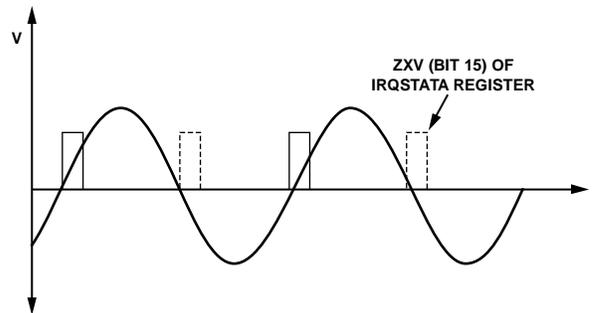


图63. 过零中断

如图63虚线所示, ADE7953可以仅在趋正或趋负过零时才触发过零事件。CONFIG寄存器(地址0x102)的ZX_EDGE位(位[13:12])设置用于触发过零事件的边沿。这些位默认设置为00,表示趋正和趋负边沿均会触发过零事件。更改ZX_EDGE位会影响所有三个通道的过零事件。注意,更改ZX_EDGE位仅影响ZX状态位和中断, ZX引脚(引脚1)和ZX_I引脚(引脚21)的功能不受影响。

任何一个输入通道上的过零事件都可以配置为触发一个外部中断。所有过零外部中断默认禁用。电压通道过零中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的ZXV位(位15)使能。如果此位置1,则电压通道过零事件会使 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为低电平。电流通道A过零中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的ZXIA位(位12)使能。如果此位置1,则电流通道A过零事件会使 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为低电平。电流通道B过零中断可以通过设置IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的ZXIB位(位12)使能。如果此位置1,则电流通道B过零事件会使 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为低电平(参见ADE7953中断部分)。

过零超时

ADE7953具有过零超时特性,用于检测在可编程的事件周期内未获得过零事件的情况。两个电流通道和电压通道均有该特性,可以利用它来检测输入信号何时丢失。过零超时的周期通过16位ZXTOUT寄存器(地址0x100)进行编程。所有三个通道使用相同的超时周期。ZXTOUT寄存器的值每14 kHz(CLKIN/256)递减1 LSB。如果获得了过零事件,则ZXTOUT寄存器重载。如果ZXTOUT寄存器达到0,则发出过零超时事件。ZXTOUT寄存器的分辨率为0.07 ms (1/14 kHz),因此,可编程的最大超时周期为4.58秒。

如图64所示,过零事件导致一个过零超时位(ZXTO、ZXTO_IA或ZXTO_IB)置1。ZXTO和ZXTO_IA位位于IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D),当电压通道或电流通道A发生过零超时事件时,相应的位置1。ZXTO_IB位位于IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330),当电流通道B发生过零超时事件时,该位置1。

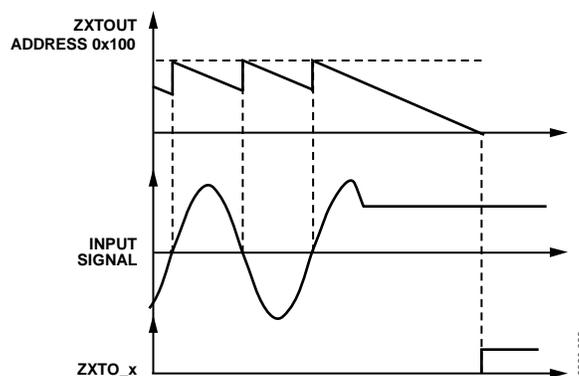


图64. 过零超时

过零超时特性有三个相关的中断。如果使能,则过零超时事件会使外部 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为低电平。与电压通道过零超时相关的中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的ZXTO位(位14)使能。电流通道A中断可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的ZXTO_IA位(位11)使能,电流通道B中断可以通过设置IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的ZXTO_IB位(位11)使能。所有三个中断默认禁用(参见ADE7953中断部分)。

过零阈值

当输入信号非常小时,为防止出现杂散过零,ADE7953的所有通道都有一个内部阈值。该阈值是固定的,等于输入满量程的1250:1。如果任何输入信号降至该阈值以下,则ADE7953认为它是噪声,不产生过零信号。该阈值影响外部过零引脚ZX(引脚1)和ZX_I(引脚21),以及过零中断功能。当输入低于满量程的1250:1时,过零超时信号仍然工作,并且根据ZXTOUT寄存器(地址0x100)设置的周期发出事件。

电压骤降检测

ADE7953具有电压骤降检测特性，当线电压绝对值降至可编程的阈值以下并持续可编程数量的线周期时，就会提醒用户。该特性可以提供线电压丢失的早期预警信号。电压骤降特性由两个寄存器控制：SAGCYC(地址0x000)和SAGLVL(地址0x200和地址0x300)。这些寄存器分别控制骤降周期和骤降电压阈值。

骤降检测默认禁用，若要使能，须将非零值写入SAGCYC和SAGLVL寄存器。如果任一寄存器置0，则骤降特性禁用。如果发生电压骤降情况，则IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)和RSTIRQSTATA寄存器(地址0x22E和地址0x32E)的骤降位(位19)置1。

设置SAGCYC寄存器

8位无符号SAGCYC寄存器包含可编程骤降周期。骤降周期指半波周期数，在该数量以下时，电压通道必须保持不变，只有超过该数量才视为发生骤降情况。SAGCYC寄存器的1 LSB对应1个半波周期。SAGCYC寄存器的最大值为255。

在50 Hz时，最长骤降周期时间为2.55秒。

$$\left(\frac{1}{50} \div 2\right) \times 255 = 2.55 \text{ sec}$$

在60 Hz时，最长骤降周期时间为2.125秒。

$$\left(\frac{1}{60} \div 2\right) \times 255 = 2.125 \text{ sec}$$

使能该特性后，如果更改SAGCYC值，新的SAGCYC周期立即生效。因此，骤降事件可以由多个骤降周期的组合引发。将新的周期值写入SAGCYC寄存器之前，为防止重叠，应将SAGLVL寄存器复位为0，从而有效禁用该特性。

设置SAGLVL寄存器

24/32位SAGLVL寄存器包含电压幅度值，电压通道必须降至该幅度以下才可能发生骤降事件。该寄存器的每个LSB精确映射到电压通道峰值寄存器，因此，可以根据电压通道的峰值读数设置幅度。要设置SAGLVL寄存器，应施加标称电压，从RSTVPEAK寄存器(地址0x227和地址0x327)获得读数，以便复位峰值电平读数。等待数个线周期后，读取VPEAK寄存器(地址0x226和地址0x326)，确定电压输入，然后将该读数缩放到骤降检测所需的幅度。

例如，如果要求骤降阈值为标称电压的80%，则应获得峰值读数，并将等于此读数80%的值写入SAGLVL寄存器。这种方法可以确保特定设计获得精确的SAGLVL值。

电压骤降中断

ADE7953的电压骤降检测特性有一个相关的中断。如果使能该中断，则电压骤降事件会使外部IRQ引脚变为低电平。该中断默认禁用，若要使能，须将IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的骤降位(位19)置1。参见ADE7953中断部分。

峰值检测

ADE7953的电流通道A(相)、电流通道B(零线)和电压通道具有峰值检测特性。该特性连续记录电压和电流波形的最大值。峰值检测可以与过压和过流检测一起使用,提供完整的骤升检测功能(参见过流和过压检测部分)。

峰值检测是指从电流和电压ADC输出波形的绝对值获得瞬时测量结果,并将其存储到三个24/32位寄存器。记录电流通道A、电流通道B和电压通道峰值的三个寄存器分别是IAPEAK(地址0x228和地址0x328)、IBPEAK(地址0x22A和地址0x32A)和VPEAK(地址0x226和地址0x326)。

每当波形的绝对值超过IAPEAK、IBPEAK和VPEAK寄存器中当前存储的值时,这些寄存器就会更新。该测量没有相关的时间周期。

另有三个寄存器包含同样的峰值信息,但在读取后,对应的峰值测量会复位。这三个读取后复位的峰值寄存器分别是RSTIAPEAK(地址0x229和地址0x329)、RSTIBPEAK(地址0x22B和地址0x32B)和RSTVPEAK(地址0x227和地址0x327)。读取这些寄存器会清除对应xPEAK寄存器的内容。

功率方向指示

ADE7953的有功和无功电能测量包括符号指示。通过符号指示可以识别正电能和负电能，并在需要时分别计费。它还有助于检测接线错误情况。电流通道A和电流通道B均具有该特性。功率方向信息可通过专用输出引脚(REVP)以及一组内部寄存器和中断提供(参见反向功率部分和符号指示部分)。

反向功率

ADE7953的REVP引脚(引脚20)提供反向功率指示。该引脚可以提供电流通道A或电流通道B的有功或无功功率的极性信息。REVP输出默认为高电平，如果电压与电流输入之间的角度大于 90° ，则变为低电平。REVP不锁存，因此当反向功率条件不再为真时，它将回到高电平状态。默认情况下，REVP输出引脚的变化与CF1引脚的下降沿同步发生(参见图65)。

REVP引脚指示的测量和通道通过CF输出的配置选择。默认情况下，REVP引脚输出与CF1同步，代表CF1上通过CFMODE寄存器(地址0x107)的CF1SEL位选择的测量。默认情况下，该测量为电流通道A的有功功率。如果CF1SEL位设置为0x0001，则REVP引脚表示电流通道A的无功功率极性。将CONFIG寄存器(地址0x102)的REVP_CF位置1，可以将REVP指示配置为基于CF2的输出。这种配置中，CFMODE寄存器的CF2SEL位决定REVP输出所代表的测量。如果所选的CF引脚配置为输出其它测量，例如视在功率或IRMS，则REVP输出禁用。

如果利用LED指示灯来改善反向极性条件的可见性，则可以使用REVP引脚提供的1 Hz脉冲模式。在这种模式下，REVP输出引脚默认为低电平，如果反向极性条件为真，则输出1 Hz脉冲。

该脉冲的占空比为50%。与正常模式相似，该模式也不锁存，当反向极性条件不再为真时，REVP输出回到高电平状态。若要使能REVP脉冲模式，应将CONFIG寄存器(地址0x102)的REVP_PULSE位置1。

在相应的空载条件下，REVP输出引脚禁用。例如，如果REVP引脚上存在电流通道A有功功率的反向极性信息，并且电流通道A的有功电能处于空载条件，则REVP输出禁用并保持在当前状态。

符号指示

ADE7953包括四个符号指示位，分别指示如下功率的极性：电流通道A的有功功率(APSIGN_A)、电流通道B的有功功率(APSIGN_B)、电流通道A的无功功率(VARSIGN_A)和电流通道B的无功功率(VARSIGN_B)。这些位位于ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)。所有这些位都不锁存，并且只能读取。任一位的读数如果为低值(0)，则表示相应的功率读数为正值；如果为高值(1)，则表示相应的功率读数为负值。这些位默认使能，在相应的空载条件下禁用。

除了符号指示位以外，ADE7953还包括四个符号指示中断。如果使能，当功率的极性改变时，这些中断会使IRQ引脚变为低电平。正到负和负到正的极性变化均会触发中断。这些中断默认禁用，若要使能，须将IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的APSIGN_A和VARSIGN_A位、以及IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的APSIGN_B和VARSIGN_B位置1。参见ADE7953中断部分。

注意，在绝对值或仅正值累计模式下，这些位为固定值0。参见有功电能累计模式部分和无功电能累计模式部分。

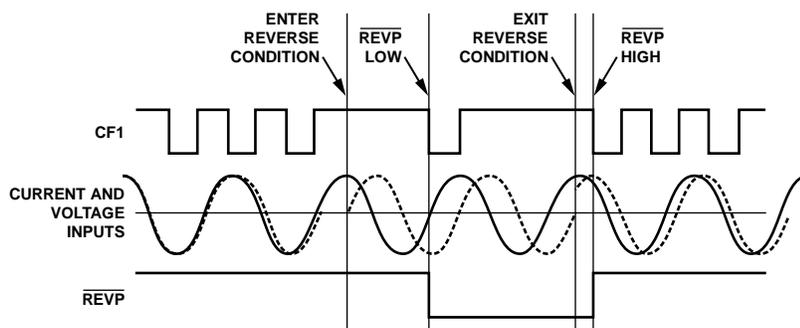


图65. REVP输出

08320-334

过流和过压检测

ADE7953具有过流和过压检测特性，能够检测电流或电压波形的绝对值是否超过可编程阈值。该特性使用瞬时电压和电流信号。与该特性相关的有两个寄存器：OVLVL(地址0x224和地址0x324)和OILVL(地址0x225和地址0x325)，分别用于设置电压和电流通道阈值。OILVL阈值寄存器决定电流通道A和电流通道B过流特性的阈值。因此，电流通道A和电流通道B使用相同的阈值。OVLVL和OILVL寄存器的默认值为0xFFFFF；默认情况下，该特性禁用。图66显示了过压检测特性的操作。

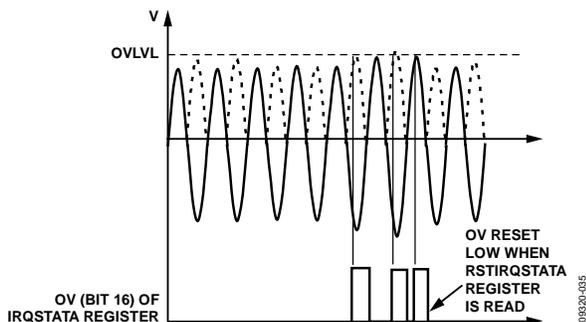


图66. 过压检测

如图66所示，如果ADE7953检测到过压条件，则IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)的OV位(位16)置1。读取RSTIRQSTATA寄存器(地址0x22E和地址0x32E)后，该位清0。过流检测特性的工作方式与此相似(参见图67)。

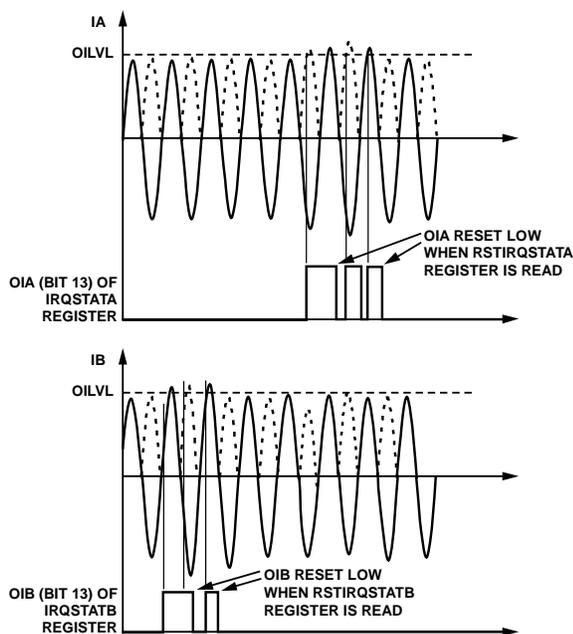


图67. 过流检测

如图67所示，如果检测到电流通道A的过流条件，则IRQSTATA寄存器的OIA位(位13)置1。读取RSTIRQSTATA寄存器后，该位清0。如果检测到电流通道B的过流条件，则IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)的OIB位(位13)置1。读取RSTIRQSTATB寄存器(地址0x231和地址0x331)后，该位清0。

设置OVLVL和OILVL寄存器

24/32位无符号OVLVL和OILVL寄存器分别直接映射到VPEAK(地址0x226和地址0x326)和IAPEAK(地址0x228和地址0x328)寄存器(参见峰值检测部分)。注意，经过增益校准后，电流通道A与电流通道B匹配，因此在相同的输入下，IAPEAK与IBPEAK一致。OVLVL和OILVL寄存器的设置应当基于满量程输入下的VPEAK和IAPEAK读数。

要设置OVLVL寄存器，应施加最大电压输入，从RSTVPEAK寄存器(地址0x227和地址0x327)获得读数，以便复位电压峰值读数。等待数个线周期后，读取VPEAK寄存器(地址0x226和地址0x326)，确定电压峰值，然后将该读数缩放到过压检测所需的幅度。例如，如果要求过压阈值为最大电压的120%，则应将峰值读数乘以1.2，并将结果写入OVLVL寄存器。这种方法可以确保特定设计获得精确的阈值设置。

过压和过流中断

过压和过流检测特性具有三个相关的中断。第一个中断与过压特性相关，可以通过设置IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的OV位(位16)使能。该位置1时，过压条件会导致外部IRQ引脚变为低电平。

第二个中断与电流通道A的过流检测特性相关，可以通过设置IRQENA寄存器的OIA位(位13)使能。该位置1时，电流通道A的过流条件会导致外部IRQ引脚变为低电平。

第三个中断与电流通道B的过流检测特性相关，可以通过设置IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)的OIB位(位13)使能。该位置1时，如果使能了替代输出，则电流通道B的过流条件将触发 $\overline{\text{IRQ}}$ 的替代输出功能(参见电流通道B中断部分)。

替代输出功能

ADE7953具有三个输出引脚，默认配置下输出电源质量信息。

- 引脚1(ZX)提供电压通道过零信号，如电压通道过零部分所述。
- 引脚21(ZX_1)提供电流通道过零信号，如电流通道过零部分所述。
- 引脚20(REVP)提供极性信息，如反向功率部分所述。

为了灵活地支持不同设计要求，ADE7953可以通过任一输出引脚输出多种替代电源质量信号。替代输出功能通过ALT_OUTPUT寄存器(地址0x110)进行配置。

表8总结了引脚1、引脚21和引脚20的输出功能。注意，ZX、ZX_I和REVP的默认功能可以在引脚1、引脚21和引脚20三者中的任何一个上输出。

如表8所示，关于各功能的描述参见本数据手册的相应部分。如果引脚1、引脚21或引脚20使能了替代输出功能，则该功能的配置和操作与相应部分所述一致。然而，替代功能会作为不锁存输出出现在引脚1、引脚21或引脚20上。

为了使能替代功能，必须将ALT_OUTPUT寄存器的ZX_ALT、ZXI_ALT和REVP_ALT位置1。与替代输出相关的中断无需使能就会存在于引脚1、引脚21或引脚20上。使能替代输出不影响特性的主要功能。

表8. 替代输出

功能	相应部分
过零检测(电压通道)	电压通道过零
过零检测(电流通道)	电流通道过零
反向功率指示	反向功率
电压骤降检测	电压骤降检测
有功电能空载检测(电流通道A)	有功电能空载检测
有功电能空载检测(电流通道B)	有功电能空载检测
无功电能空载检测(电流通道A)	无功电能空载检测
无功电能空载检测(电流通道B)	无功电能空载检测
波形采样、数据就绪	瞬时功率和波形采样
中断输出(电流通道B)	电流通道B中断

ADE7953中断

ADE7953中断分为两组，第一组中断与电压通道和电流通道A相关，第二组中断与电流通道B相关。中断列表参见表22和表23。

除了位于主中断组中的RESET中断外，所有其它中断在默认情况下均禁用。RESET中断默认使能，表示软件或硬件复位结束。上电会触发该中断，表示ADE7953已准备好接收来自微控制器的通信。该中断应当在配置ADE7953之前，按照主中断(电压通道和电流通道A)部分所述进行处理。

主中断(电压通道和电流通道A)

主中断指发生在电压通道和电流通道A上的事件。这些中断由三个寄存器处理：使能寄存器IRQENA(地址0x22C和地址0x32C)、状态寄存器IRQSTATA(地址0x22D和地址0x32D)、以及复位状态寄存器RSTIRQSTATA(地址0x22E和地址0x32E)。这些寄存器各位的功能描述参见表22。

发生中断事件时，IRQSTATA寄存器的相应位会置1。如果该中断的使能位(位于IRQENA寄存器)置1，则外部 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为逻辑0。发生中断事件时，无论外部中断使能与否，IRQSTATA寄存器中的状态位都会置1。

所有中断都会被锁存，需要处理才能清除。要处理中断并使 $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变回逻辑1，必须利用RSTIRQSTATA寄存器(地址0x22E和地址0x32E)清除状态位。RSTIRQSTATA寄存器含有与IRQSTATA寄存器相同的中断状态位，但在访问RSTIRQSTATA寄存器时，会执行读取后复位命令，将状态位清0。完成对该寄存器的读操作后，所有状态位均清0， $\overline{\text{IRQ}}$ 引脚变为逻辑1。

电流通道B中断

电流通道B中断指发生在电流通道B上的事件。像主中断组一样，电流通道B中断也是由三个寄存器处理：使能寄存器IRQENB(地址0x22F和地址0x32F)、状态寄存器IRQSTATB(地址0x230和地址0x330)、以及复位状态寄存器RSTIRQSTATB(地址0x231和地址0x331)。这些寄存器各位的功能描述参见表23。

发生中断事件时，IRQSTATB寄存器的相应位会置1。电流通道B中断没有专用输出引脚，可以将该功能配置为引脚1(ZX)、引脚21(ZX_I)或引脚20($\overline{\text{REVP}}$)的替代输出(参见替代输出功能部分)。如果针对电流通道B中断事件的输出已使能，并且中断使能位(位于IRQENB寄存器)置1，则当电流通道B上发生中断事件时，引脚1、引脚21或引脚20变为低电平。发生中断事件时，无论外部中断输出使能与否，IRQSTATB寄存器中的状态位都会置1。

所有中断都会被锁存，需要处理才能清除。要处理中断，必须利用RSTIRQSTATB寄存器(地址0x231和地址0x331)清除状态位。RSTIRQSTATB寄存器含有与IRQSTATB寄存器相同的中断状态位，但在访问RSTIRQSTATB寄存器时，会执行读取后复位命令，将状态位清0。完成对该寄存器的读操作后，所有状态位均清0，相应的输出引脚(如果使能)变为逻辑1。

与ADE7953通信

ADE7953的所有特性都可以通过一组片内寄存器访问。欲详细了解所有寄存器，参见ADE7953寄存器部分。可以利用三个不同的通信接口来访问片内寄存器。

- 4引脚SPI接口
- 2引脚双向I²C接口
- 2引脚UART接口

所有三个通信接口使用相同的一组引脚，因此，每个设计只能使用一种通信方法。

通信自动检测

ADE7953具有一个检测系统，能够自动检测使用的是何种通信接口。因此，只需极少的初始化工作，就能快速建立通信。自动检测的工作原理是监控四个通信引脚的状态，自动选择与配置匹配的通信接口(参见表9)。

- CS引脚(引脚28)用于确定通信方法是否为SPI。如果该引脚处于低电平，则通信接口设为SPI。
- SCLK引脚(引脚25)用于确定通信方法是I²C还是UART。如果该引脚处于高电平，则通信接口设为I²C；如果它处于低电平，则为UART。

表9. 通信自动检测

通信接口	引脚28 (CS)	引脚25 (SCLK)	引脚27 (MOSI/SCL/Rx)	引脚26 (MISO/SDA/Tx)
SPI	0	无关	MOSI	MISO
I ² C	1	1	SCL	SDA
UART	1	0	Rx	Tx

因此，虽然通过I²C或UART通信时不需要引脚25 (SCLK)和引脚28(CS)，但这些引脚应当按照表9所示在硬件中进行配置，确保自动检测系统正常发挥作用。

锁定通信接口

选定的通信接口建立之后，应当锁定通信接口，防止通信方法意外改变。ADE7953可以在第一次通信成功之后自动锁定通信接口。

自动锁定特性默认禁用，若要使能，须将CONFIG寄存器(地址0x102)的COMM_LOCK位(位15)清0。要成功建立并锁定通信接口，应在上电后不久对CONFIG寄存器执行写操作，清除COMM_LOCK位，从而锁定通信接口。通信接口锁定为特定方法(即SPI、I²C或UART)后，若要改变通信方法，必须复位ADE7953。

注意，如果使用SPI通信接口锁定通信模式，则CS引脚必须在最后一个SCLK之后保持低电平至少1.2 μs。仅当写入COMM_LOCK位时，才需要该延迟时间(参见SPI接口时序部分)。

SPI接口

串行外设接口(SPI)使用全部四个通信引脚：CS、SCLK、MOSI和MISO。SPI通信以从机模式工作，因此必须在SCLK引脚上提供时钟(MOSI为输入，MISO为输出)。该时钟同步所有通信，工作速率最高可达5 MHz。有关通信时序要求的更多信息，参见SPI接口时序部分。

MOSI引脚是ADE7953的输入端；数据在SCLK下降沿移入，在上升沿由ADE7953进行采样。MOSO引脚是ADE7953的输出端；数据在SCLK下降沿移出，在上升沿由外部微控制器进行采样。

SPI通信数据包包括两个初始字节，表示要读取或写入的寄存器地址。该地址应以MSB优先方式传输。第三个字节决定操作是读操作还是写操作。

该字节的最高有效位设为1时表示读操作，设为0时表示写操作。第三个字节传输完毕后，寄存器数据便从ADE7953通过MISO引脚送出(读操作)，或者由外部微控制器写入ADE7953 MOSI引脚(写操作)。所有数据都以MSB优先方式发送或接收。数据传输的长度取决于所访问寄存器的宽度。寄存器可能为8、16、24或32位长。

图68和图69分别显示了SPI读操作和SPI写操作的数据传输序列。如图所示，CS(片选)输入必须变为低电平才能开始通信，通信结束时必须变为高电平。数据传输完成之前拉高CS输入会结束通信。这样，CS输入就能通过SPI通信执行复位功能。CS输入支持在同一微控制器SPI端口上与多个器件通信。

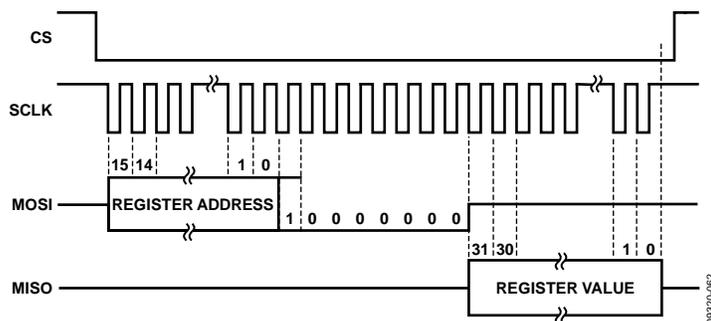


图68. SPI读操作

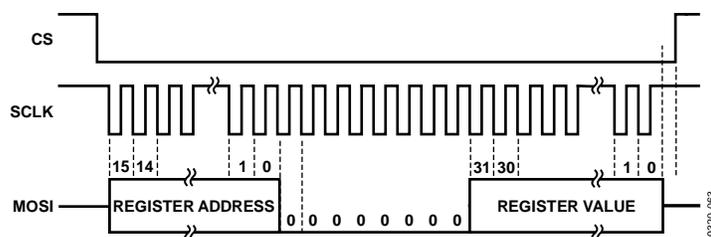


图69. SPI写操作

ADE7953

I²C接口

ADE7953支持全面授权的I²C接口。I²C接口以从机模式工作，使用两个共享引脚：SDA和SCL。SDA引脚为双向输入/输出引脚，SCL引脚为串行时钟。I²C接口与SPI和UART接口共享这两个引脚。I²C接口支持的最高串行时钟频率为400 kHz。

引脚SDA和SCL用于数据传输，通过对这两个引脚进行“线与”配置，可以在多主机系统中进行仲裁。

I²C接口的通信由主机产生一个起始条件来启动，起始条件指主机发送一个包含从机地址和操作性质(读或写)的字节。

ADE7953的地址是0111000X。地址中的位7表示操作的性质：0表示写操作，1表示读操作。通信按照以下部分所述继续进行，直到主机发出停止条件，总线返回空闲状态。

I²C写操作

当主机发出一个包括从机地址和读/写位的起始条件时，即启动对ADE7953的写操作。起始条件之后是target寄存器的16位地址。每接收到一个字节，ADE7953就会向主机发出一个应答(ACK)。

16为地址通信完成后，主机便开始以MSB优先方式发送寄存器数据。数据的长度可以是8位、16位、24位或32位。每接收到寄存器数据的一个字节，ADE7953就会发出一个应答(ACK)。最后一个字节传输完成后，主机发出停止条件，总线返回空闲状态。I²C写操作的原理如图70所示。

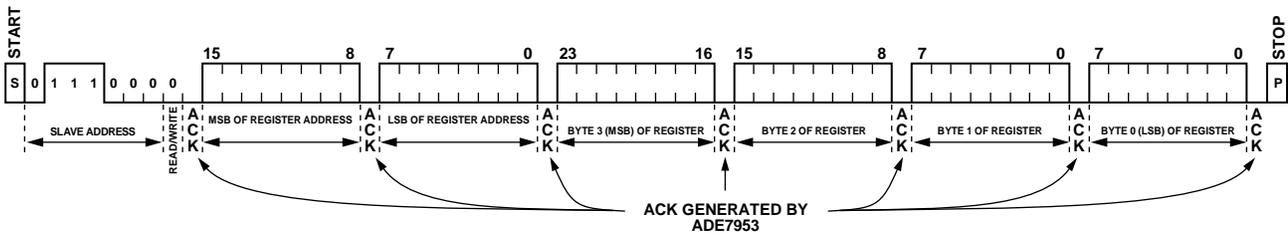


图70. I²C写操作

08320-059

I²C读操作

I²C读操作分两个阶段进行。第一阶段设置要访问的寄存器地址的指针，第二阶段读取寄存器的内容。

如图71所示，当主机发出一个包括从机地址和读/写位的起始条件时，第一阶段启动。由于第一步要设置地址的指针，因此起始字节的LSB应置0(写)。起始条件之后是目标寄存器的16位地址。每接收到一个字节，ADE7953就会向主机发出一个应答(ACK)。

读操作的第二阶段从主机产生一个新的起始条件开始。该起始条件包括相同的从机地址，但LSB置1，表示发出的是读取指令。接收到该字节后，ADE7953发出一个应答(ACK)。然后，ADE7953向主机发送寄存器内容，主机每接收到一个字节，也会发出应答。所有字节都以MSB优先方式发送。寄存器内容可能为8位、16位、24位或32位长。接收到寄存器数据的最后一个字节后，主机发出的不是应答，而是停止条件，表示通信已完成。I²C读操作的原理如图71所示。

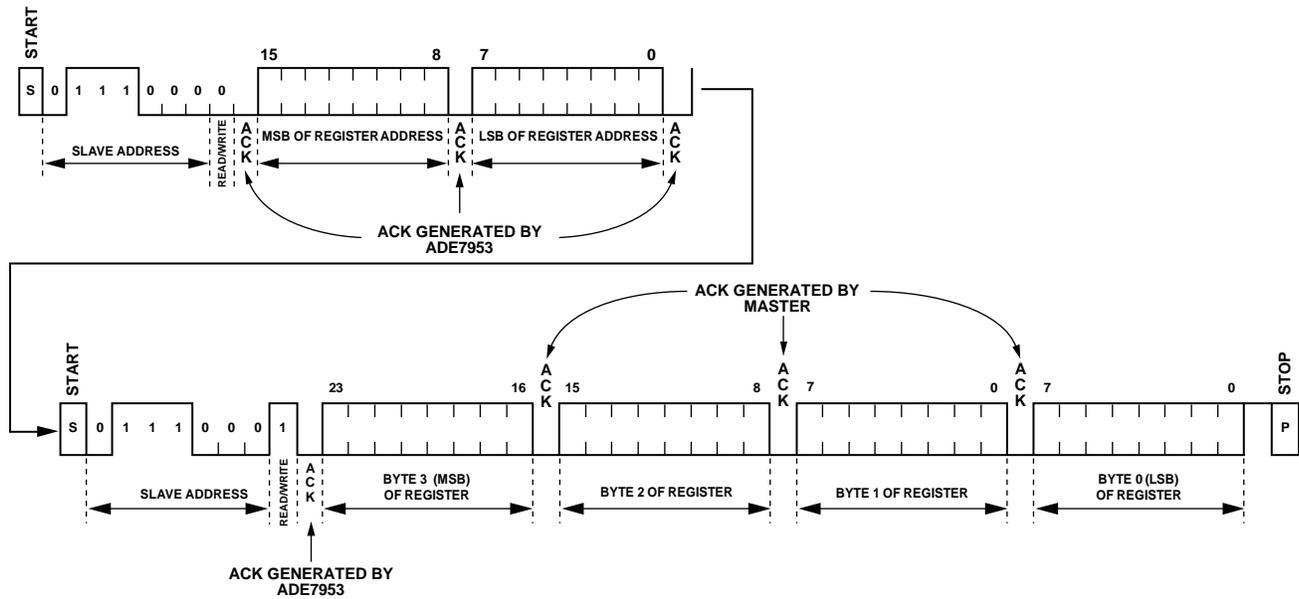


图71. I²C读操作

06320-060

UART接口

ADE7953具有一个简单的通用异步接收器/发射器(UART)接口, 允许仅利用两个单向引脚来访问ADE7953的全部功能。UART接口只需两个低成本光耦合器, 就能实现隔离通信。UART接口以4800 bps的固定波特率工作, 适合低速设计。

ADE7953的UART接口使用两个引脚: Tx引脚(引脚26)用于从ADE7953发送数据, Rx引脚(引脚27)用于接收来自微控制器的数据。UART接口采用简单的主机/从机拓扑结构, ADE7953充当从机。所有通信都是由主机(微控制器)向从机(ADE7953)发送一个有效帧而启动。该帧的格式参见图72。

如图72所示, 各帧由10位组成。每位均以4800 bps的比特率发送, 因此帧时间为2.08 ms($(1/4800) \times 10$)。从利用CS和SCLK引脚建立UART通信模式到发送第一帧, 还应增加6 ms的等待时间。各帧之间至少应等待0.2 ms。所有帧数据都以LSB优先方式发送。

UART接口的通信由主机发送一个包括三帧(参见表10)的数据包来启动。

表10. 组成UART数据包的帧

帧	功能
F1	读/写
F2	地址MSB
F3	地址LSB

F1决定通信是读操作还是写操作, 随后的两帧(F2和F3)选择要访问的寄存器。每帧都包括8个数据位, 如图72所示。如果向F1写入值0x35, 则通信是读操作; 如果向F1写入值0xCA, 则通信是写操作。任何其它值都被视为无效, 会导致与ADE7953的通信不成功。地址字节以MSB优先方式发送, 因此F2包含地址的最高有效部分, F3包含地址的最低有效部分。各地址帧内的位以LSB优先方式发送。

ADE7953 UART接口使用两个超时参数 t_1 和 t_2 来使通信同步, 并且防止通信中止。第一个超时参数 t_1 是帧到帧延迟时间, 具有固定值4 ms(最大值)。第二个超时参数 t_2 是包到包延迟时间, 具有固定值6 ms(最小值)。对于UART通信, 这两个超时起到复位作用。有关超时实现的更多信息, 参见UART读操作部分和UART写操作部分。

UART通信是否成功, 可以通过在微控制器中实现一个写/读/验证序列来验证。成功的通信也会记录在LAST_ADD、LAST_RWDATA和LAST_OP寄存器中, 更多信息参见通信验证部分。

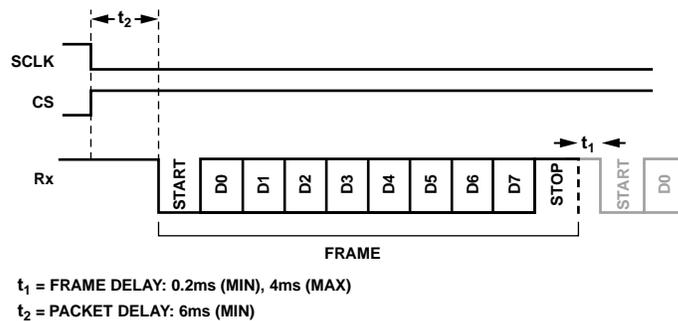


图72. UART帧

UART读操作

ADE7953的UART接口读操作由主机发送一个包括三帧的数据包来启动。如果第一帧的值为0x35，则通信为读操作。第二帧和第三帧包含要访问的寄存器地址。当ADE7953接收到一个有效数据包时，它会解码该命令(参见图73)。

帧时间为2.08 ms。最长4 ms的帧到帧延迟(t_1)可在帧时间上提供50%的缓冲时间，而不会不必要地延缓通信。读取包被解码后，ADE7953将选定寄存器的数据通过Tx引脚送出(参见图73中的F4和F5)。这大约发生在接收到完整帧后0.1 ms。数据长度可能为1、2、3或4个字节，具体取决于所访问的寄存器大小。寄存器数据以LSB优先方式发送。ADE7953送出最后一帧的寄存器数据之后，必须等待至少6 ms的包到包延迟时间(t_2)，才能接受通过Rx引脚输入的数据。这一包到包超时时间可确保不会发生重叠。

UART写操作

ADE7953的UART接口写操作由主机发送一个包括三帧的数据包来启动。如果第一帧的值为0xCA，则通信为写操作。第二帧和第三帧包含要访问的寄存器地址。随后的两帧包含要写入的数据。当ADE7953接收到一个有效数据包时，它会按照如下方式解码该命令：

- 如果在初始包后获得的帧数与F2和F3指定的寄存器大小相同，则数据包有效，应向相应的寄存器写入数据。
- 如果帧数与指定寄存器的大小不相等，则命令无效，不会采取进一步动作。

Rx引脚接收到最后一帧数据之后，必须等待 t_2 时间才会将Rx引脚上的输入数据视作新数据包。写操作的原理如图74所示。

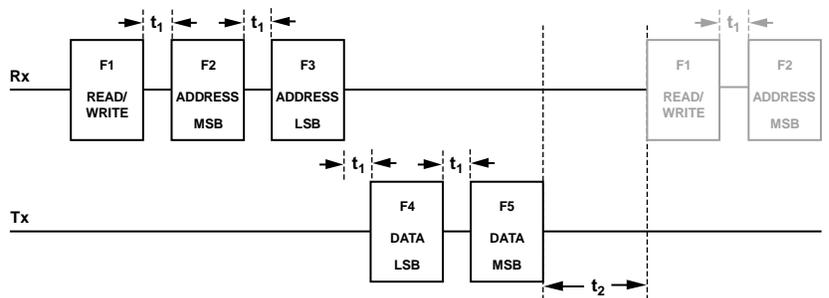


图73. UART读操作

09320-142

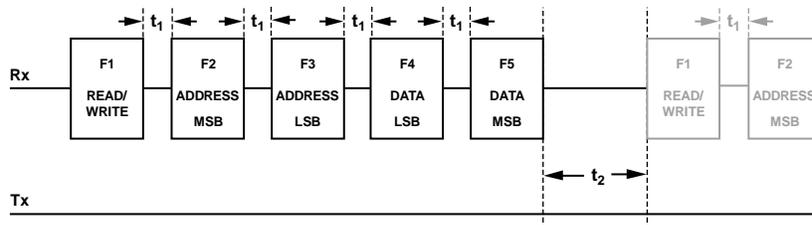


图74. UART写操作

09320-143

通信验证和安全

ADE7953提供三种安全措施来增强通信的鲁棒性，并且防止意外更改内部寄存器。写保护、通信验证和校验和特性可以同时使用，以便提高电表设计的鲁棒性和抗扰度。

写保护

ADE7953通过一个简单的方法来防止内部寄存器受到意外写操作的影响。该特性有助于防止噪声或电磁干扰(EMC)改变所需的电表配置。写保护特性默认禁用，以便设计人员配置电表；写入8位WRITE_PROTECT寄存器(地址0x040)可以使能该特性。仅使用该寄存器的三个LSB。位0控制8位寄存器的保护，位1控制16位寄存器的保护，位2控制24/32位寄存器的保护。默认情况下，所有位都置0以禁用保护。任何一位置1将使能相应一组寄存器的写保护。使能写保护后，任何利用SPI、I²C或UART接口的写操作都会被忽略。要恢复对寄存器库的全权访问，须将WRITE_PROTECT各位复位为0。

通信验证

ADE7953包括三个用于对SPI、I²C或UART通信进行验证的寄存器：LAST_OP(地址0x0FD)、LAST_ADD(地址0x1FE)和LAST_RWDATA，它们分别记录上一次成功通信的类型、地址和数据。LAST_RWDATA寄存器具有四个不同的地址，具体地址要视成功通信的长度而定(参见表11)。提供多个地址位置的目的是防止不必要的长时间通信。

表11. LAST_RWDATA寄存器的地址

寄存器地址	读/写长度
地址 0x0FF	8位
地址 0x1FF	16位
地址 0x2FF	24位
地址 0x3FF	32位

每次与ADE7953成功进行通信后，所访问的最后一个寄存器的地址就存储在16位LAST_ADD寄存器(地址0x1FE)中。它是一个只读寄存器，下一个成功的读操作或写操作完成后，它会更新所存储的值。

LAST_OP寄存器(地址0x0FD)存储通信类型，即表示所执行的是读操作还是写操作。如果上一个操作是写操作，则LAST_OP寄存器存储值0xCA。如果上一个操作是读操作，则LAST_OP寄存器存储值0x35。

LAST_RWDATA寄存器存储写入或读出寄存器的数据。这些寄存器不会反映不成功的读写操作。

Checksum寄存器

ADE7953包括一个32位checksum寄存器CRC(地址0x37F), 如有重要的configuration、control或calibration寄存器被更改, 它会提醒用户。Checksum寄存器有助于确保电表配置在正常工作期间保持所需状态不变。表12列出了校验和所包括的寄存器。

校验和中还包括另外6个internal reserved寄存器。ADE7953根据标准IEEE 802.3计算循环冗余校验(CRC)结果。寄存器的内容逐一导入linear feedback shift寄存器(LFSR)的发生器, 从最低有效位开始。32位结果写入CRC寄存器。CRC默认禁用, 若要使能, 须将CONFIG寄存器(地址0x102)的CRC_ENABLE位(位8)置1。如果此位置1, 就会计算CRC。由于CRC默认禁用, 因此其默认值为0xFFFFFFFF。

电表配置完毕后, 定期读取CRC寄存器(地址0x37F)的值, 可以确保校验和所包括的寄存器不会被意外更改。如果连续的两次读数不一致, 可以认为其中一个寄存器的值已发生改变, 因此ADE7953的配置已更改。推荐的响应措施是发出硬件/软件复位命令, 将ADE7953的所有寄存器(包括reserved寄存器)复位为默认值, 然后利用设计特定的设置重新配置ADE7953。

初始配置完成后, 如果CRC寄存器值发生改变, 与校验和特性相关的中断可以在IRQ引脚上提供外部报警信号。该中断默认禁用, 若要使能, 须将IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)的CRC位(位21)置1。使能后, 如果CRC值发生改变, 与使能时的值不同, 就会发出外部中断。

表12. 校验和所包括的寄存器

Configuration和Control寄存器		Calibration寄存器	
寄存器名称	地址	寄存器名称	地址
LCYCMODE	0x004	AIGAIN	0x280和0x380
PGA_V	0x007	VGAIN	0x281和0x381
PGA_IA	0x008	AWGAIN	0x282和0x382
PGA_IB	0x009	AVARGAIN	0x283和0x383
CONFIG	0x102	AVAGAIN	0x284和0x384
CF1DEN	0x103	AIOS	0x285和0x385
CF2DEN	0x104	AIRMSOS	0x286和0x386
CFMODE	0x107	VOS	0x287和0x387
PHCALA	0x108	VRMSOS	0x288和0x388
PHCALB	0x109	AWATTOS	0x289和0x389
ALT_OUTPUT	0x110	AVAROS	0x28A和0x38A
ACCMODE	0x201和0x301	AVAOS	0x28B和0x38B
IRQENA	0x22C和0x32C	BIGAIN	0x28C和0x38C
IRQENB	0x22F和0x32F	BWGAIN	0x28E和0x38E
		BVARGAIN	0x28F和0x38F
		BVAGAIN	0x290和0x390
		BIOS	0x291和0x391
		BIRMSOS	0x292和0x392
		BWATTOS	0x295和0x395
		BVAROS	0x296和0x396
		BVAOS	0x297和0x397

ADE7953

ADE7953寄存器

ADE7953包括8位、16位、24位和32位长的寄存器。除了PHCALA和PHCALB寄存器为符号幅度格式外，所有其它带符号寄存器都是二进制补码格式。24位寄存器和32位寄存器包含相同的数据，但可以用两种不同的寄存器长度进行访问。24位寄存器选项可提高通信速度，但当用长格式编码时，32位寄存器选项更为简单。访问32位寄存器时，只有较低的24位包含有效数据(高8位是符号扩展位)。对24位寄存器的写操作会改变对应32位寄存器的值，反之亦然。因此，可以将每个24/32位寄存器视为一个存储器位置，但可以通过两种不同途径进行访问。

表13. 8位寄存器

地址	寄存器名称	R/W	默认值	类型	寄存器描述
0x000	SAGCYC	R/W	0x00	无符号	骤降线周期
0x001	DISNOLOAD	R/W	0x00	无符号	空载检测禁用
0x004	LCYCMODE	R/W	0x40	无符号	线周期累计模式配置
0x007	PGA_V	R/W	0x00	无符号	电压通道增益配置(位[2:0])
0x008	PGA_IA	R/W	0x00	无符号	电流通道A增益配置(位[2:0])
0x009	PGA_IB	R/W	0x00	无符号	电流通道B增益配置(位[2:0])
0x040	WRITE_PROTECT	R/W	0x00	无符号	写保护位(位[2:0])
0x0FD	LAST_OP	R	0x00	无符号	包含上一次成功通信的类型(读或写) (0x35 = 读, 0xCA = 写)
0x0FF	LAST_RWDATA	R	0x00	无符号	包含上一次8位寄存器成功通信的数据
0x702	版本	R	N/A	无符号	包含芯片版本号
0x800	EX_REF	R/W	0x00	无符号	基准电压输入配置: 置0表示内部; 置1表示外部。

表14. 16位寄存器

地址	寄存器名称	R/W	默认值	类型	寄存器描述
0x100	ZXTOUT	R/W	0xFFFF	无符号	过零超时
0x101	LINECYC	R/W	0x0000	无符号	线周期电能累计模式的半波周期数
0x102	CONFIG	R/W	0x8004	无符号	配置寄存器
0x103	CF1DEN	R/W	0x003F	无符号	CF1分频器分母
0x104	CF2DEN	R/W	0x003F	无符号	CF2分频器分母
0x107	CFMODE	R/W	0x0300	无符号	CF输出选择
0x108	PHCALA	R/W	0x0000	带符号	相位校准寄存器(电流通道A)。 此寄存器为符号幅度格式。
0x109	PHCALB	R/W	0x0000	带符号	相位校准寄存器(电流通道B)。 此寄存器为符号幅度格式。
0x10A	PFA	R	0x0000	带符号	功率因数(电流通道A)
0x10B	PFB	R	0x0000	带符号	功率因数(电流通道B)
0x10C	ANGLE_A	R	0x0000	带符号	电压输入与电流通道A输入之间的角度
0x10D	ANGLE_B	R	0x0000	带符号	电压输入与电流通道B输入之间的角度
0x10E	周期	R	0x0000	无符号	周期寄存器
0x110	ALT_OUTPUT	R/W	0x0000	无符号	替代输出功能
0x1FE	LAST_ADD	R	0x0000	无符号	包含上一次成功通信的地址
0x1FF	LAST_RWDATA	R	0x0000	无符号	包含上一次16位寄存器成功通信的数据

表15. 24/32位寄存器

地址		寄存器名称	R/W	默认值	类型	寄存器描述
24位	32位					
0x200	0x300	SAGLVL	R/W	0x000000	无符号	骤降电平
0x201	0x301	ACCMODE	R/W	0x000000	无符号	累计模式
0x203	0x303	AP_NOLOAD	R/W	0x00E419	无符号	有功功率空载水平
0x204	0x304	VAR_NOLOAD	R/W	0x00E419	无符号	无功功率空载水平
0x205	0x305	VA_NOLOAD	R/W	0x000000	无符号	视在功率空载水平
0x210	0x310	AVA	R	0x000000	带符号	瞬时视在功率(电流通道A)
0x211	0x311	BVA	R	0x000000	带符号	瞬时视在功率(电流通道B)
0x212	0x312	AWATT	R	0x000000	带符号	瞬时有功功率(电流通道A)
0x213	0x313	BWATT	R	0x000000	带符号	瞬时有功功率(电流通道B)
0x214	0x314	AVAR	R	0x000000	带符号	瞬时无功功率(电流通道A)
0x215	0x315	BVAR	R	0x000000	带符号	瞬时无功功率(电流通道B)
0x216	0x316	IA	R	0x000000	带符号	瞬时电流(电流通道A)
0x217	0x317	IB	R	0x000000	带符号	瞬时电流(电流通道B)
0x218	0x318	V	R	0x000000	带符号	瞬时电压(电压通道)
0x21A	0x31A	IRMSA	R	0x000000	无符号	IRMS寄存器(电流通道A)
0x21B	0x31B	IRMSB	R	0x000000	无符号	IRMS寄存器(电流通道B)
0x21C	0x31C	VRMS	R	0x000000	无符号	VRMS寄存器
0x21E	0x31E	AENERGYA	R	0x000000	带符号	有功电能(电流通道A)
0x21F	0x31F	AENERGYB	R	0x000000	带符号	有功电能(电流通道B)
0x220	0x320	RENERGYA	R	0x000000	带符号	无功电能(电流通道A)
0x221	0x321	RENERGYB	R	0x000000	带符号	无功电能(电流通道B)
0x222	0x322	APENERGYA	R	0x000000	带符号	视在电能(电流通道A)
0x223	0x323	APENERGYB	R	0x000000	带符号	视在电能(电流通道B)
0x224	0x324	OVLVL	R/W	0xFFFFF	无符号	过压水平
0x225	0x325	OILVL	R/W	0xFFFFF	无符号	过流水平
0x226	0x326	VPEAK	R	0x000000	无符号	电压通道峰值
0x227	0x327	RSTVPEAK	R	0x000000	无符号	读取电压峰值后复位
0x228	0x328	IAPEAK	R	0x000000	无符号	电流通道A峰值
0x229	0x329	RSTIAPEAK	R	0x000000	无符号	读取电流通道A峰值后复位
0x22A	0x32A	IBPEAK	R	0x000000	无符号	电流通道B峰值
0x22B	0x32B	RSTIBPEAK	R	0x000000	无符号	读取电流通道B峰值后复位
0x22C	0x32C	IRQENA	R/W	0x100000	无符号	中断使能(电流通道A)
0x22D	0x32D	IRQSTATA	R	0x000000	无符号	中断状态(电流通道A)
0x22E	0x32E	RSTIRQSTATA	R	0x000000	无符号	复位中断状态(电流通道A)
0x22F	0x32F	IRQENB	R/W	0x000000	无符号	中断使能(电流通道B)
0x230	0x330	IRQSTATB	R	0x000000	无符号	中断状态(电流通道B)
0x231	0x331	RSTIRQSTATB	R	0x000000	无符号	复位中断状态(电流通道B)
N/A	0x37F	CRC	R	0xFFFFFFFF	无符号	校验和
0x280	0x380	AIGAIN	R/W	0x400000	无符号	电流通道增益(电流通道A)
0x281	0x381	VGAIN	R/W	0x400000	无符号	电压通道增益
0x282	0x382	AWGAIN	R/W	0x400000	无符号	有功功率增益(电流通道A)
0x283	0x383	AVARGAIN	R/W	0x400000	无符号	无功功率增益(电流通道A)
0x284	0x384	AVAGAIN	R/W	0x400000	无符号	视在功率增益(电流通道A)
0x285	0x385	AIOS	R/W	0x000000	带符号	电流通道失调(电流通道A)
0x286	0x386	AIRMSOS	R/W	0x000000	带符号	IRMS失调(电流通道A)
0x287	0x387	VOS	R/W	0x000000	带符号	电压通道失调
0x288	0x388	VRMSOS	R/W	0x000000	带符号	VRMS失调
0x289	0x389	AWATTOS	R/W	0x000000	带符号	有功功率失调校正(电流通道A)
0x28A	0x38A	AVAROS	R/W	0x000000	带符号	无功功率失调校正(电流通道A)
0x28B	0x38B	AVAOS	R/W	0x000000	带符号	视在功率失调校正(电流通道A)

ADE7953

地址		寄存器名称	R/W	默认值	类型	寄存器描述
24位	32位					
0x28C	0x38C	BIGAIN	R/W	0x400000	无符号	电流通道增益(电流通道B)
0x28E	0x38E	BWGAIN	R/W	0x400000	无符号	有功功率增益(电流通道B)
0x28F	0x38F	BVARGAIN	R/W	0x400000	无符号	无功功率增益(电流通道B)
0x290	0x390	BVAGAIN	R/W	0x400000	无符号	视在功率增益(电流通道B)
0x291	0x391	BIOS	R/W	0x000000	带符号	电流通道失调(电流通道B)
0x292	0x392	BIRMSOS	R/W	0x000000	带符号	IRMS失调(电流通道B)
0x295	0x395	BWATTOS	R/W	0x000000	带符号	有功功率失调校正(电流通道B)
0x296	0x396	BVAROS	R/W	0x000000	带符号	无功功率失调校正(电流通道B)
0x297	0x397	BVAOS	R/W	0x000000	带符号	视在功率失调校正(电流通道B)
0x2FF	0x3FF	LAST_RWDATA	R	0x000000	无符号	包含上一次24/32位寄存器成功通信的数据

ADE7953寄存器描述

表16. DISNOLOAD寄存器(地址0x001)

位	位名称	默认值	描述
0	DIS_APNLOAD	0	1 = 禁用电流通道A和电流通道B的有功功率空载特性
1	DIS_VARNLOAD	0	1 = 禁用电流通道A和电流通道B的无功功率空载特性
2	DIS_VANLOAD	0	1 = 禁用电流通道A和电流通道B的视在功率空载特性

表17. LCYCMODE寄存器(地址0x004)

位	位名称	默认值	描述
0	ALWATT	0	0 = 禁用电流通道A的有功电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道A的有功电能线周期累计模式
1	BLWATT	0	0 = 禁用电流通道B的有功电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道B的有功电能线周期累计模式
2	ALVAR	0	0 = 禁用电流通道A的无功电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道A的无功电能线周期累计模式
3	BLVAR	0	0 = 禁用电流通道B的无功电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道B的无功电能线周期累计模式
4	ALVA	0	0 = 禁用电流通道A的视在电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道A的视在电能线周期累计模式
5	BLVA	0	0 = 禁用电流通道B的视在电能线周期累计模式 1 = 使能电流通道B的视在电能线周期累计模式
6	RSTREAD	1	0 = 禁用所有寄存器的读取后复位特性 1 = 使能所有寄存器的读取后复位特性

表18. CONFIG寄存器(地址0x102)

位	位名称	默认值	描述
0	INTENA	0	1 = 积分器使能(电流通道A)
1	INTENB	0	1 = 积分器使能(电流通道B)
2	HPFEN	1	1 = HPF使能(所有通道)
3	PFMODE	0	0 = 功率因数基于瞬时功率 1 = 功率因数基于线周期累计模式电能
4	REVP_CF	0	0 = REVP 在CF1上更新 1 = REVP 在CF2上更新
5	REVP_PULSE	0	0 = REVP 在反向极性为真时处于高电平, 在反向极性为假时处于低电平 1 = REVP 在反向极性为真时输出1 Hz脉冲, 在反向极性为假时处于低电平
6	ZXLPF	0	0 = ZX LPF使能 1 = ZX LPF禁用
7	SWRST	0	此位置1将使能软件复位

位	位名称	默认值	描述										
8	CRC_ENABLE	0	0 = CRC禁用 1 = CRC使能										
[10:9]	PWR_LPF_SEL	00	低通滤波器选项										
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>设置</th> <th>滤波</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00</td> <td>~250 ms</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>~500 ms</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>~1 sec</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>~2 sec</td> </tr> </tbody> </table>	设置	滤波	00	~250 ms	01	~500 ms	10	~1 sec	11	~2 sec
设置	滤波												
00	~250 ms												
01	~500 ms												
10	~1 sec												
11	~2 sec												
11	ZX_I	0	0 = ZX_I基于电流通道A 1 = ZX_I基于电流通道B										
[13:12]	ZX_EDGE	00	过零中断边沿选择										
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>设置</th> <th>边沿选择</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>00</td> <td>在趋正和趋负过零时均发出中断</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>在趋负过零时发出中断</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>在趋正过零时发出中断</td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>在趋正和趋负过零时均发出中断</td> </tr> </tbody> </table>	设置	边沿选择	00	在趋正和趋负过零时均发出中断	01	在趋负过零时发出中断	10	在趋正过零时发出中断	11	在趋正和趋负过零时均发出中断
设置	边沿选择												
00	在趋正和趋负过零时均发出中断												
01	在趋负过零时发出中断												
10	在趋正过零时发出中断												
11	在趋正和趋负过零时均发出中断												
14	保留	0	保留										
15	COMM_LOCK	1	0 = 通信锁定特性使能 1 = 通信锁定特性禁用										

表19. CFMODE寄存器(地址0x107)

位	位名称	默认值	描述																						
[3:0]	CF1SEL	0000	CF1引脚上的输出信号配置																						
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>设置</th> <th>CF1输出信号配置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0000</td> <td>CF1与有功功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>CF1与无功功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0010</td> <td>CF1与视在功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0011</td> <td>CF1与IRMS(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0100</td> <td>CF1与有功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0101</td> <td>CF1与无功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0110</td> <td>CF1与视在功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0111</td> <td>CF1与IRMS(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>CF1与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>1001</td> <td>CF1与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> </tbody> </table>	设置	CF1输出信号配置	0000	CF1与有功功率(电流通道A)成比例	0001	CF1与无功功率(电流通道A)成比例	0010	CF1与视在功率(电流通道A)成比例	0011	CF1与IRMS(电流通道A)成比例	0100	CF1与有功功率(电流通道B)成比例	0101	CF1与无功功率(电流通道B)成比例	0110	CF1与视在功率(电流通道B)成比例	0111	CF1与IRMS(电流通道B)成比例	1000	CF1与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例	1001	CF1与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例
设置	CF1输出信号配置																								
0000	CF1与有功功率(电流通道A)成比例																								
0001	CF1与无功功率(电流通道A)成比例																								
0010	CF1与视在功率(电流通道A)成比例																								
0011	CF1与IRMS(电流通道A)成比例																								
0100	CF1与有功功率(电流通道B)成比例																								
0101	CF1与无功功率(电流通道B)成比例																								
0110	CF1与视在功率(电流通道B)成比例																								
0111	CF1与IRMS(电流通道B)成比例																								
1000	CF1与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例																								
1001	CF1与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例																								
[7:4]	CF2SEL	0000	CF2引脚上的输出信号配置																						
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>设置</th> <th>CF2输出信号配置</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0000</td> <td>CF2与有功功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0001</td> <td>CF2与无功功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0010</td> <td>CF2与视在功率(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0011</td> <td>CF2与IRMS(电流通道A)成比例</td> </tr> <tr> <td>0100</td> <td>CF2与有功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0101</td> <td>CF2与无功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0110</td> <td>CF2与视在功率(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>0111</td> <td>CF2与IRMS(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>1000</td> <td>CF2与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例</td> </tr> <tr> <td>1001</td> <td>CF2与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例</td> </tr> </tbody> </table>	设置	CF2输出信号配置	0000	CF2与有功功率(电流通道A)成比例	0001	CF2与无功功率(电流通道A)成比例	0010	CF2与视在功率(电流通道A)成比例	0011	CF2与IRMS(电流通道A)成比例	0100	CF2与有功功率(电流通道B)成比例	0101	CF2与无功功率(电流通道B)成比例	0110	CF2与视在功率(电流通道B)成比例	0111	CF2与IRMS(电流通道B)成比例	1000	CF2与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例	1001	CF2与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例
设置	CF2输出信号配置																								
0000	CF2与有功功率(电流通道A)成比例																								
0001	CF2与无功功率(电流通道A)成比例																								
0010	CF2与视在功率(电流通道A)成比例																								
0011	CF2与IRMS(电流通道A)成比例																								
0100	CF2与有功功率(电流通道B)成比例																								
0101	CF2与无功功率(电流通道B)成比例																								
0110	CF2与视在功率(电流通道B)成比例																								
0111	CF2与IRMS(电流通道B)成比例																								
1000	CF2与IRMS(电流通道A)+ IRMS(电流通道B)成比例																								
1001	CF2与有功功率(电流通道A)+ 有功功率(电流通道B)成比例																								
8	CF1DIS	1	0 = CF1输出使能 1 = CF1输出禁用																						
9	CF2DIS	1	0 = CF2输出使能 1 = CF2输出禁用																						

ADE7953

表20. ALT_OUTPUT寄存器(地址0x110)

位	位名称	默认值	描述	
[3:0]	ZX_ALT	0000	ZX引脚(引脚1)的配置	
			设置	ZX引脚配置
			0000	ZX检测通过引脚1输出(默认)
			0001	骤减检测通过引脚1输出
			0010	保留
			0011	保留
			0100	保留
			0101	有功功率空载检测(电流通道A)通过引脚1输出
			0110	有功功率空载检测(电流通道B)通过引脚1输出
			0111	无功功率空载检测(电流通道A)通过引脚1输出
			1000	无功功率空载检测(电流通道B)通过引脚1输出
			1001	未锁存波形采样信号通过引脚1输出
			1010	$\overline{\text{IRQ}}$ 信号通过引脚1输出
			1011	ZX_I检测通过引脚1输出
			1100	$\overline{\text{REVP}}$ 检测通过引脚1输出
1101	保留(设为默认值)			
111x	保留(设为默认值)			
[7:4]	ZXI_ALT	0000	ZX_I引脚(引脚21)的配置	
			设置	ZX_I引脚配置
			0000	ZX_I检测通过引脚21输出(默认)
			0001	骤减检测通过引脚21输出
			0010	保留
			0011	保留
			0100	保留
			0101	有功功率空载检测(电流通道A)通过引脚21输出
			0110	有功功率空载检测(电流通道B)通过引脚21输出
			0111	无功功率空载检测(电流通道A)通过引脚21输出
			1000	无功功率空载检测(电流通道B)通过引脚21输出
			1001	未锁存波形采样信号通过引脚21输出
			1010	$\overline{\text{IRQ}}$ 信号通过引脚21输出
			1011	ZX检测通过引脚21输出
			1100	$\overline{\text{REVP}}$ 检测通过引脚21输出
1101	保留(设为默认值)			
111x	保留(设为默认值)			
[11:8]	REVP_ALT	0000	REVP引脚的配置(引脚20)	
			设置	REVP引脚配置
			0000	$\overline{\text{REVP}}$ 检测通过引脚20输出(默认)
			0001	骤减检测通过引脚20输出
			0010	保留
			0011	保留
			0100	保留
			0101	有功功率空载检测(电流通道A)通过引脚20输出
			0110	有功功率空载检测(电流通道B)通过引脚20输出
			0111	无功功率空载检测(电流通道A)通过引脚20输出
			1000	无功功率空载检测(电流通道B)通过引脚20输出
			1001	未锁存波形采样信号通过引脚20输出
			1010	$\overline{\text{IRQ}}$ 信号通过引脚20输出
			1011	ZX检测通过引脚20输出
			1100	ZX_I检测通过引脚20输出
1101	保留(设为默认值)			
111x	保留(设为默认值)			

表21. ACCMODE寄存器(地址0x201和地址0x301)

位	位名称	默认值	描述	
[1:0]	AWATTACC	00	电流通道A有功电能累计模式	
			设置	有功电能累计模式(电流通道A)
			00	正常模式
			01	仅正值累计模式
			10	绝对值累计模式
			11	保留
[3:2]	BWATTACC	00	电流通道B有功电能累计模式	
			设置	有功电能累计模式(电流通道B)
			00	正常模式
			01	仅正值累计模式
			10	绝对值累计模式
			11	保留
[5:4]	AVARACC	00	电流通道A无功电能累计模式	
			设置	无功电能累计模式(电流通道A)
			00	正常模式
			01	防窃电累计模式
			10	绝对值累计模式
			11	保留
[7:6]	BVARACC	00	电流通道B无功电能累计模式	
			设置	无功电能累计模式(电流通道B)
			00	正常模式
			01	防窃电累计模式
			10	绝对值累计模式
			11	保留
8	AVAACC	0	0 = 电流通道A视在电能累计处于正常模式 1 = 电流通道A视在电能累计基于IRMSA	
9	BVAACC	0	0 = 电流通道B视在电能累计处于正常模式 1 = 电流通道B视在电能累计基于IRMSB	
10	APSIGN_A	0	0 = 电流通道A有功功率为正 1 = 电流通道A有功功率为负	
11	APSIGN_B	0	0 = 电流通道B有功功率为正 1 = 电流通道B有功功率为负	
12	VARSIGN_A	0	0 = 电流通道A无功功率为正 1 = 电流通道A无功功率为负	
13	VARSIGN_B	0	0 = 电流通道B无功功率为正 1 = 电流通道B无功功率为负	
[15:14]	保留	00	保留	
16	ACTNLOAD_A	0	0 = 电流通道A有功电能脱离空载状态 1 = 电流通道A有功电能处于空载状态	
17	VANLOAD_A	0	0 = 电流通道A视在电能脱离空载状态 1 = 电流通道A视在电能处于空载状态	
18	VARNLOAD_A	0	0 = 电流通道A无功电能脱离空载状态 1 = 电流通道A无功电能处于空载状态	
19	ACTNLOAD_B	0	0 = 电流通道B有功电能脱离空载状态 1 = 电流通道B有功电能处于空载状态	
20	VANLOAD_B	0	0 = 电流通道B视在电能脱离空载状态 1 = 电流通道B视在电能处于空载状态	
21	VARNLOAD_B	0	0 = 电流通道B无功电能脱离空载状态 1 = 电流通道B无功电能处于空载状态	

ADE7953

Interrupt Enable和Interrupt Status寄存器

Current Channel A和Voltage Channel寄存器

表22. IRQENA寄存器(地址0x22C和地址0x32C)、IRQSTATA寄存器(地址0x22D和地址0x32D)和RSTIRQSTATA寄存器(地址0x22E和地址0x32E)

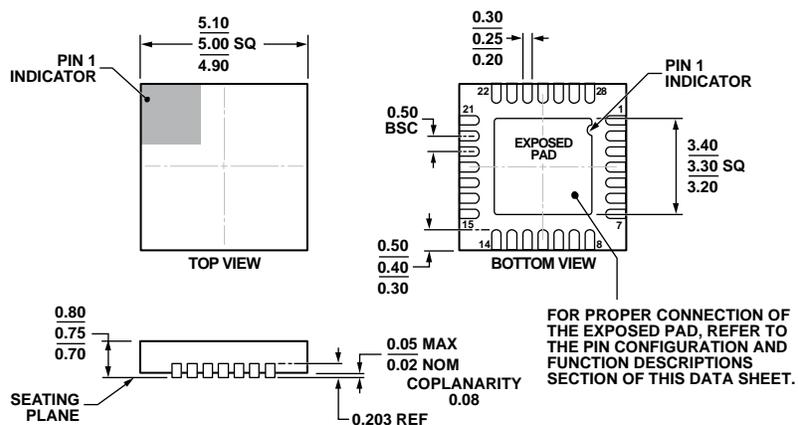
位	位名称	描述
0	AEHFA	有功电能半满(电流通道A)
1	VAREHFA	无功电能半满(电流通道A)
2	VAEHFA	视在电能半满(电流通道A)
3	AEOFA	有功电能上溢或下溢(电流通道A)
4	VAREOFA	无功电能上溢或下溢(电流通道A)
5	VAEOFA	视在电能上溢或下溢(电流通道A)
6	AP_NOLOADA	电流通道A有功功率空载检测
7	VAR_NOLOADA	电流通道A无功功率空载检测
8	VA_NOLOADA	电流通道A视在功率空载检测
9	APSIGN_A	有功电能符号已改变(电流通道A)
10	VARSIGN_A	无功电能符号已改变(电流通道A)
11	ZXTO_IA	表示在ZXTOOUT寄存器指定的时间内, 电流通道A上没有发生过零事件
12	ZXIA	电流通道A过零
13	OIA	电流通道A峰值已超过OILVL寄存器中设置的过流阈值
14	ZXTO	表示在ZXTOOUT寄存器指定的时间内, 电压通道上没有发生过零事件
15	ZXV	电压通道过零
16	OV	电压峰值已超过OVLVL寄存器中设置的过压阈值
17	WSMP	采集到新波形数据
18	CYCEND	线周期累计时间结束
19	Sag	发生骤降事件
20	Reset	软件或硬件复位结束
21	CRC	校验和已改变

Current Channel B寄存器

表23. IRQENB寄存器(地址0x22F和地址0x32F)、IRQSTATB寄存器(地址0x230和地址0x330)和RSTIRQSTATB寄存器(地址0x231和地址0x331)

位	位名称	描述
0	AEHFB	有功电能半满(电流通道B)
1	VAREHFB	无功电能半满(电流通道B)
2	VAEHFB	视在电能半满(电流通道B)
3	AEOFB	有功电能上溢或下溢(电流通道B)
4	VAREOFB	无功电能上溢或下溢(电流通道B)
5	VAEOFB	视在电能上溢或下溢(电流通道B)
6	AP_NOLOADB	电流通道B有功功率空载检测
7	VAR_NOLOADB	电流通道B无功功率空载检测
8	VA_NOLOADB	电流通道B视在功率空载检测
9	APSIGN_B	有功电能符号已改变(电流通道B)
10	VARSIGN_B	无功电能符号已改变(电流通道B)
11	ZXTO_IB	表示在ZXTOOUT寄存器指定的时间内, 电流通道B上没有发生过零事件
12	ZXIB	电流通道B过零
13	OIB	电流通道B峰值已超过OILVL寄存器中设置的过流阈值

外形尺寸



COMPLIANT TO JEDEC STANDARDS MO-220-WHHD-3.

图75. 28引脚LFCSP_WQ封装
5 mm x 5 mm超薄体
(CP-28-6)
尺寸单位: mm

120909-A

订购指南

型号 ¹	温度	封装描述	封装选项
ADE7953ACPZ	-40°C至+85°	28引脚 LFCSP_WQ	CP-28-6
ADE7953ACPZ-RL	-40°C至+85°	28引脚 LFCSP_WQ, 13"卷带和卷盘	CP-28-6
EVAL-ADE7953EBZ		评估板	

¹ Z = 符合RoHS标准的器件。

注释

注释

注释

I²C refers to a communications protocol originally developed by Philips Semiconductors (now NXP Semiconductors).