



电能计量(ADExxxx)产品常见问题解答

编写	CAC(R)
时间	2013/06/07
版本	V1.0

声明

Analog Devices 公司拥有本文档及本文档中描述内容的完整知识产权 (IP)。Analog Devices 公司有权在不通知读者的情况下更改本文档中的任何描述。如果读者需要任何技术帮助, 请通过 china.support@analog.com 或免费热线电话 4006-100-006 联系亚洲技术支持中心团队。其他技术支持资料以及相关活动请访问以下技术支持中心网页 http://www.analog.com/zh/content/ADI_CIC_index/fca.html

Analog Devices, Inc.

版本历史

版本	日期	作者	描述
1.0	2013/6	CAC(R)	文档建立

目录

版本历史	II
目录	III
第 1 章 电能计量产品简介	4
1.1 产品简介	4
1.2 参考资料	5
第 2 章 电能计量的基本概念	7
2.1 ADE 系列电能计量芯片的基本工作原理	7
2.2 有关概念解释	8
第 3 章 常见应用问题解答	10
3.1 不同类型的电流传感器相比, 有何优缺点	10
3.2 选择 shunt 需要注意哪些问题	10
3.3 选择 CT 需要注意哪些问题	11
3.4 电表的校准需要哪些步骤	11
3.5 1000:1 的动态范围内精度 0.1% 是什么含义	11
3.6 启动流程	12
3.7 RMS 值计算是如何进行的, 什么是建立时间	12
3.8 怎么把 IRMS 寄存器的读数转换成安培值	12
3.9 ADE 计量芯片能否测量直流功率	13
3.10 ADE 系列产品能否进行双向功率计量, 是否能够分别计量正、负功率/电能	13
3.11 ADE 芯片寄存器的数值与实际值之间如何换算	13
3.12 何为线周期累加模式, 是如何实现的, 如何使用	14
3.13 ADE7878 (ADE7854/ADE7858/ADE7868) 如何实现相序检测, 如何实现相位差测量, 具体提供哪些测量结果	15
3.14 ADE 系列产品如何实现防窃电功能	16
3.15 ADE7953 第二个电流通道有什么作用	17
3.16 ADE7758、ADE7880 和 ADE7878 的主要区别	17
3.17 ADE7880 的 3.21 有符号格式	18
3.18 如何对 ADE71XX/ADE75XX/ADE51XX/ADE55XX SOC 电能计量产品进行编程和烧写	18
3.19 三相测量的连接结构	19
星形连接的三相四线制 (三个电压传感器), 线路的具体连接方法	19
星形连接的三相四线制 (两个电压传感器), 线路的具体连接方法	19
三角形连接的三相三线制, 线路的具体连接方法	20
三角形连接的三相四线制, 线路的具体连接方法	21

第1章 电能计量产品简介

Analog Devices, Inc. (ADI 公司) 的 ADE 电能计量 IC 针对下一代智能计量表架构挑战而设计, 是以极高精度测量有功功率(kWh)、视在功率(kVA)、无功功率(kVAR)、均方根值和电能质量的理想器件, 适合单相和多相计费表、工业仪表以及电能监控应用。这些 ADE 电能计量 IC 集成模数转换器(ADC)与固定功能数字信号处理器(DSP)用于关键测量, 不仅拥有出众的质量、可靠性和性能, 同时提供无与伦比的功能和易用性。

ADI 公司提供的电能计量解决方案远超过其它任何半导体公司, 并且在智能计量表领域具有领先优势, 采用 ADI 技术的电能表遍及全球, 已达 2.5 亿块以上。

1.1 产品简介

单相电能计量产品 (截至 2013.6)

Part# Results: 21	Measurement Parameters	Current Sensor Interface	On-Chip MCU	Anti-Tamper Support	Output Interface	Package
ADE7816	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	Current Fault	HSDC, I2C, Pulsed, Serial Port	40-Lead LFCSP
ADE7953	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	28-Lead LFCSP
ADE5566	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE5569	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	8052	Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7518	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	-	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE5166	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE5169	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7116	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7156	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7166	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7169	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	8052	Current Fault, Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7569	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	8052	Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7566	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	8052	Missing Neutral	I2C, Pulsed, SPI, UART	64-Lead LQFP
ADE7761B	Watt	Current Transformer, Shunt	-	Current Fault, Missing Neutral	Pulsed	20-Lead SSOP
ADE7757A	Watt	Current Transformer, Shunt	-	-	Pulsed	16-Lead SOIC
ADE7768	Watt	Current Transformer, Shunt	-	-	Pulsed	16-Lead SOIC
ADE7769	Watt	Current Transformer, Shunt	-	-	Pulsed	16-Lead SOIC
ADE7763	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	-	-	Pulsed, SPI	20-Lead SSOP
ADE7753	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil, Shunt	-	-	Pulsed, SPI	20-Lead SSOP
ADE7751	Watt	Current Transformer, Shunt	-	Current Fault	Pulsed	24-Lead SSOP
ADE7759	Watt	Current Transformer,	-	-	Pulsed, SPI	20-Lead

Part# Results: 21	Measurement Parameters	Current Sensor Interface	On-Chip MCU	Anti-Tamper Support	Output Interface	Package
		Rogowski Coil, Shunt				SSOP
ADE7755	Watt	Current Transformer	-	-	Pulsed	24-Lead SSOP

多相电能计量产品（截至 2013.6）

Part# Results: 10	Measurement Parameters	Current Sensor Interface	On-Chip MCU	Anti-Tamper Support	Output Interface	Package
ADE7880	VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	Current Fault	HSDC, I2C, Pulsed, SPI	40-Lead LFCSP
ADE7854	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	-	HSDC, I2C, Pulsed, SPI	40-Lead LFCSP
ADE7858	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	-	HSDC, I2C, Pulsed, SPI	40-Lead LFCSP
ADE7868	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	Current Fault	HSDC, I2C, Pulsed, SPI	40-Lead LFCSP
ADE7878	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	Current Fault	HSDC, I2C, Pulsed, SPI	40-Lead LFCSP
ADE7752B	Watt	Current Transformer	-	-	Pulsed	24-Lead SOIC
ADE7762	Watt	Current Transformer	-	-	Pulsed	24-Lead SOIC
ADE7752A	Watt	Current Transformer	-	-	Pulsed	24-Lead SOIC
ADE7758	Irms, VA, VAR, Vrms, Watt	Current Transformer, Rogowski Coil	-	-	Pulsed, SPI	24-Lead SOIC
ADE7754	Irms, VA, Vrms, Watt	Current Transformer, Shunt	-	-	Pulsed, SPI	24-Lead SOIC

1.2 参考资料

能源行业相关产品与资源

<http://energy.analog.com/zh/segment/nrg.html>

电表与电能计量解决方案

<http://energy.analog.com/zh/metering-energy-monitoring/segment/nrg.html>

电能计量 IC 产品查询（数据手册和产品选型表）

<http://www.analog.com/zh/analog-to-digital-converters/energy-measurement/products/index.html>

ADE 产品常见问题解答（应用笔记 AN-639）

http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN-639.pdf

应用笔记

[AN-559: A Low Cost Watt-Hour Energy Meter Based on the ADE7755](#)

[AN-564: A Power Meter Reference Design Based on the ADE7756](#)

[AN-679: A Low Cost Watt-Hour Energy Meter Based on the ADE7757](#)

[AN-916: A Multifunction Power Meter Reference Design Based on the ADE71xx/ADE75xx](#)

[Family](#)

[AN-641: A 3-Phase Power Meter Based on the ADE7752](#)

[AN-1118: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE7953](#)

[AN-950: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE71xx/ADE75xx Family](#)

[AN-1152: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE7816](#)

[AN-1076: Calibrating an ADE7878-Based, 3-Phase Energy Meter](#)

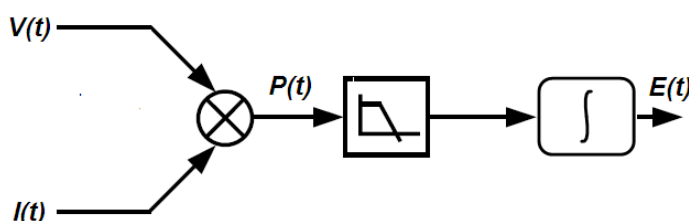
[AN-1171: Calibrating a Three-Phase Energy Meter Based on the ADE7880](#)

第2章 电能计量的基本概念

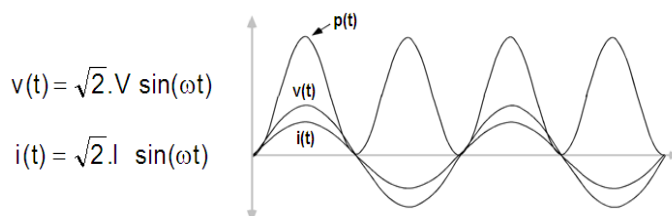
2.1 ADE 系列电能计量芯片的基本工作原理

ADE 芯片的基本功能是计量电能。电能是功率随时间的积分。而电功率由电压和电流波形的乘积表示，单位为瓦特 (W) 或者焦耳/秒 (J/s)。

下面的示意图显示出 ADE 芯片内部简化的信号路径（针对有功功率/电能的测量）。ADE IC 对电压信号和电流信号进行实时地同步采样；在内部将采样结果相乘得到实时的功率信息，将功率信息进行滤波得到功率的有效值，再进一步通过累计得到电能信息。



在典型的应用中，从电网采集到的电压和电流信号都是 50Hz/60Hz 的正弦波信号（不考虑谐波，PF=1，PF 称为功率因数，请看后续概念），设电压信号的有效值为 V ，电流信号的有效值为 I ，则电压、电流信号的瞬时表达式如下图所示。

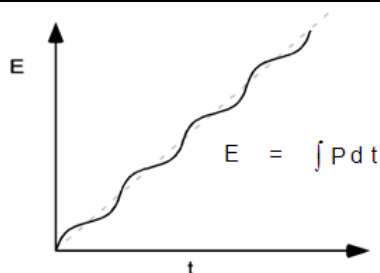


瞬时功率信号仍是一个正弦波信号。

$$\begin{aligned}
 P(t) &= \sqrt{2}V\sin(\omega t) \cdot \sqrt{2}I\sin(\omega t) \\
 &= 2VI \cdot \frac{1 - \cos(2\omega t)}{2} = VI - VI\cos(2\omega t)
 \end{aligned}$$

在足够长的时间内，正弦分量的积分值趋于 0，这意味着“等效”的功率为交流电压的有效值乘以交流电流的有效值。若负载为纯阻 R ，可知有效功率为 V^2/R 或 I^2R 。 $P=V \cdot I$ 是 PF=1 时的有功功率。

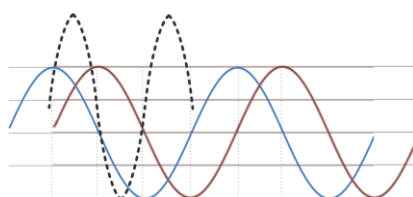
因此，在电能计量芯片简化的信号路径中，需要引入低通滤波器来得到功率的有效值。负载上实际的电能随时间的累积曲线如下图所示。



2.2 有关概念解释

有功功率、无功功率和视在功率，功率角，功率因数

设电压和电流信号之间的相位差为 θ ，用瞬时电压和电流的乘机表示瞬时功率：



$$P(t) = \sqrt{2} \cdot V \cdot \sin(\omega t) \times \sqrt{2} \cdot I \cdot \sin(\omega t + \theta)$$

$$= 2VI[\sin(\omega t)^2 \cdot \cos\theta + \sin(\omega t) \cdot \cos(\omega t) \cdot \sin\theta]$$

经过计算可得 $P(t)$ 的直流分量为 $VI \cdot \cos\theta$ 。如果对瞬时功率信号 $P(t)$ 在足够长的时间内进行积分，那么功率的有效值为 $VI \cdot \cos\theta$ 。这部分功率代表负载上实际消耗掉的部分。

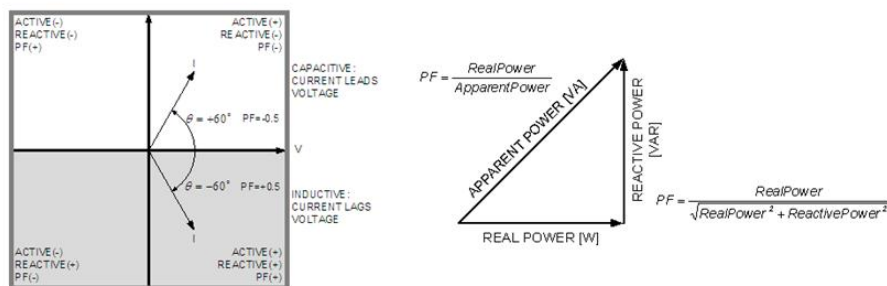
可见，在电压、电流信号间的相位差 θ 决定了实际的功率消耗， θ 数值上等于功率角。 $\cos\theta$ 数值上等于功率因数。

事实上，功率角 θ 来源于复阻抗形式的负载。即负载具有部分的感性或容性。设负载 Z 的复数形式（傅氏变换或拉氏变换）为 $Z=R+jX$ ，同理， \vec{V} 、 \vec{I} 为电压电流信号的复数形式，于是有欧姆定律表达式：

$$\vec{I} = \frac{\vec{V}}{R + jX}$$

负载向量的幅角决定了功率角与功率因数。当负载含有容性时，功率角为正值；当负载含有感性时，功率角为负值；而当负载的实部为负时，功率角将超过 90° ，意味着功率的反向流动。

功率因数（Power Factor, PF）与功率角的实际定义如下图所示：



由于 $VI \cdot \cos\theta$ 代表负载上实际消耗的功率，因此将其定义为有功功率。

功率因数不为 1（即功率角 $\neq 0$ ）的情况下，电压和电流有效值的乘积 $V \cdot I$ 将大于实际的功率消耗，将其定义为视在功率。

相应的，将 $VI \cdot \sin\theta$ 定义为无功功率（又称虚功率），至此，有功功率、无功功率和实在功率构成一个直角三角形，称为功率三角形。

对于电网运营商以及终端的供电设备，都不希望功率因数过低：

1. 供电设备的带负载能力被打折扣，即降低了带负载能力。如某设备能供出 100KVA 的视在功率，若功率因数为 0.7，则只能供出 70KW 的有功功率。
2. 输电线路由于无功电流存在，增加了输电线路损耗。例如功率因数为 0.7，要供出 70KW 的有功功率，则需要供出 100KVA 的视在功率，输电线路的电流增大，线路损耗必然增大。

电能计量产品的精度定义

请参照下面的表达式：

$$\text{百分比误差} = \frac{\text{测量值} - \text{真值}}{\text{真值}} \times 100\%$$

第3章 常见应用问题解答

下面按顺序对 FAQ 进行详细的叙述。其中标题为问题的叙述，标题以下的正文为问题的详细解答。

3.1 不同类型的电流传感器相比，有何优缺点

请参考下面的表格：

传感器类型	优点	缺点
低阻抗分流器 (Shunt)	低成本，高线性度	低电流荷载能力，直流偏移
电流互感器 (CT)	高电流荷载能力，低功耗，提供电气隔离	直流饱和和迟滞问题；窃电问题
霍尔传感器	高电流荷载能力，宽动态范围	对安装要求高，成本高；温漂和较大的失调
罗氏线圈* (Air-core CT)	低成本，无饱和和电流限制，低功耗，无直流偏移问题，宽动态范围，温漂非常低	需要积分电路，兼容性受限*；对电磁干扰较为敏感，可能需电磁屏蔽

*罗氏线圈 (Rogowski Coil) 又称作 di/dt 传感器，其输出信号正比于电流的一阶导数。使用罗氏线圈作为电流传感器，要求芯片的电流取样通道包含积分电路。

3.2 选择 shunt 需要注意哪些问题

选择 shunt 时主要考虑一下因素：

热量管理：对于大分流器（高电阻），当电阻较大时，温度将大幅升高

Shunt 品质：shunt 的自热特性可能会提高其阻值。结果可能导致输出信号发生变化，并由此影响到电能表的准确性

窃电因素：分流器电阻应尽量接近导线，以减少通过外线分流产生的影响

信号幅度：分流器应在电流工作范围内为芯片提供合理的信号幅度

功耗要求：根据 IEC61036，每个通道的功耗不能超过 2W，更大的分流器会消耗更多功率

3.3 选择 CT 需要注意哪些问题

务必谨慎选择，确保特定电流互感器的动态电流感应范围足够大，能适应具体应用的需要。在大直流或高电流下，电流互感器可能发生饱和，设计人员应选择额定值符合其需求的电流互感器。电流互感器可能产生相移，选择时应考虑设计对此误差进行补偿的能力。另外，某些 CT 在根据选择的匝数比会引进固有的刻度误差，需要注意 CT 二次侧的电流水平和预期一致。

3.4 电表的校准需要哪些步骤

校准确保每块电表在一组相同的输入下有相同的输出。校准是一个系统级的程序，可以消除芯片内部之间差异，消除外部元器件和传感器的差异。

增益校准是总是需要执行的。相位校准取决于使用的电流传感器是否引入相位误差，如果使用 CT 或罗氏线圈作为电流传感器需要进行相位校准。如果需要大动态范围的测量时，需要进行偏移校准。校准条件请参考表格。

Table 2. Calibration Conditions

Calibration Steps	Typical Requirement
Gain	$V = V_n, I = I_n, \cos \theta = 1$
Phase	$V = V_n, I = I_n, \cos \theta = 0.5$
Offset	$V = V_n, I = I_{min}, \cos \theta = 1$

需要哪些校准步骤要根据电表实际设计情况而决定。

在任何情况下，如果需要相位校准的话，那么首先进行相位校准。然后进行增益校准。如果需要偏移校准的话，最后进行偏移校准。

关于不同产品的校准，请参考：

[AN-1118: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE7953](#)

[AN-950: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE71xx/ADE75xx Family](#)

[AN-1152: Calibrating a Single-Phase Energy Meter Based on the ADE7816](#)

[AN-1076: Calibrating an ADE7878-Based, 3-Phase Energy Meter](#)

[AN-1171: Calibrating a Three-Phase Energy Meter Based on the ADE7880](#)

3.5 1000:1 的动态范围内精度 0.1% 是什么含义

1000:1 的动态范围内精度 0.1% 指电能计量 IC，在电流信号从满量程到低至满量程的 1/1000 的范围具有典型精度为 0.1%。例如，ADE7878 数据表的规格表中示出总有功功率

1000:1 的动态范围内精度为 0.1%，表示即使输入减少到 0.5 mV 时，典型地测量总有功率误差不超过 0.1%（满量程输入为 500 mV）。精度的参数是典型值，因为它是和其他一些外部测量因素的结果共同的结果。请注意，要在芯片校准后，系统级上进行精度测量。

3.6 启动流程

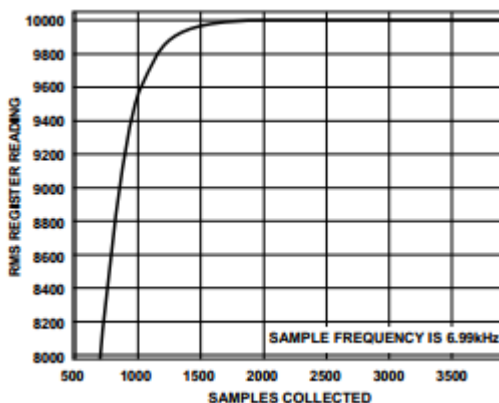
以 ADE7953 为例。通常，上电后 MCU 可以等待一段时间后再与 ADE 芯片进行通信。芯片完成就绪需要的延时大概是 66ms。所以通信开始前可以等待比如 100ms。更好的方式是通过复位中断判断。中断会通过 IRQ 引脚输出，IRQSTATA 寄存器的复位标志会置位。

请参考具体产品数据手册中的启动流程。

3.7 RMS 值计算是如何进行的，什么是建立时间

ADE 芯片的 RMS 读数是一个运动平均，不是窗测量。有一些产品，如 ADE7753, ADE7763, ADE7754, ADE7758, ADE75xx, ADE5169, ADE71xx, 和 ADE5569, 电压 RMS 测量是平均绝对值法，不是真有效值测量。新的计量芯片电压 RMS 的计算是真有效值。因为这些测量是运动平均，所以需要一段时间建立到精确值。考虑一个 ADE7953 的例子，当电流通道输入从 0 V 增至至满刻度，它需要大约 200 毫秒建立到精确值。

图中显示了建立时间和精度的权衡，如果您选择少等待些时间来读取数值。要根据应用中所需的精度选择适当的等待时间。请参考具体产品数据手册的 RMS 建立时间。



3.8 怎么把 IRMS 寄存器的读数转换成安培值

把寄存器读数转换成安培值需要校准。

一个基本流程如下：

1. 为电流通道提供一个已知的电流
2. 读取 RMS 寄存器，记录读数

3. 确定 Amps/LSB 的常数，该常数是已知电流和 RMS 寄存器读数的比值
4. 保存这个常数，使用这个常数用于把 RMS 寄存器读数转换成安培值

3.9 ADE 计量芯片能否测量直流功率

直流功率可以使用 ADE 芯片测量。进行直流测量时，需要禁用芯片的高通滤波器。但是对于直流测量的精度在 100:1 的动态范围内仅在约 1%

3.10 ADE 系列产品能否进行双向功率计量，是否能够分别计量正、负功率/电能

ADE 系列产品可以计量双向功率。内部的功率、电能存储形式为有符号数。同时，客户可以通过功能寄存器选择进行能量的有符号累加或是绝对值累加。

以 ADE7878 为例，通过 ACCMODE 寄存器可进行相应配置：

Table 48. ACCMODE Register (Address 0xE701)

Bit Location	Bit Mnemonic	Default Value	Description
1:0	WATTACC[1:0]	00	00: signed accumulation mode of the total and fundamental active powers. Fundamental active powers are available in the ADE7878. 01: reserved. When set, the device behaves like WATTACC[1:0] = 00. 10: reserved. When set, the device behaves like WATTACC[1:0] = 00. 11: absolute accumulation mode of the total and fundamental active powers.
3:2	VARACC[1:0]	00	00: signed accumulation of the total and fundamental reactive powers. Total reactive powers are available in the ADE7858, ADE7868, and ADE7878. Fundamental reactive powers are available in the ADE7878. These bits are always 00 for the ADE7854. 01: reserved. When set, the device behaves like VARACC[1:0] = 00. 10: the total and fundamental reactive powers are accumulated, depending on the sign of the total and fundamental active power: if the active power is positive, the reactive power is accumulated as is, whereas if the active power is negative, the reactive power is accumulated with reversed sign. 11: reserved. When set, the device behave like VARACC[1:0] = 00.

对于 ADE7758，由于芯片不提供功率寄存器直接读取实时功率，可以采用线周期累加模式，计量 1S 内的电能，其数值上等于 1S 内的平均功率。在这种情况下，功率信息的更新速率为 1Hz。通常这种方式可以满足一般应用的需求。

对于 ADE7878 这样的产品，直接提供功率寄存器对功率进行有符号的实时测量。功率寄存器的更新时间为 125 μ S，即以 8KHz 的速率进行刷新。

3.11 ADE 芯片寄存器的数值与实际值之间如何换算

对于电表产品，实际的功率/电能和寄存器值如何换算取决于传感器的输入-输出比例，电表芯片只是将输入信号转换为数字量。如电压、电流满幅输入（440V-10A-4400W），功

率是读数是 10000（只要知道这个对应关系），当（220V-5A-1100W）输入时功率读数是 2500，在外部按照比例换算成实际功率/电能。

可以在电表校准时确定常数，得到 Wh/LSB 值。可以通过以下公式计算

$$Wh / LSB = \frac{Load(W) \times AccumulationTime(sec)}{xWATTHR \times 3600}$$

Accumulation Time 是线周期累计时间

xWATTHR 是能量寄存器读数

3.12 何为线周期累加模式，是如何实现的，如何使用

采用线周期累加模式，电能寄存器的更新时间隔是固定的；每次更新得到的是给定时间内的电能累计值。

为了实现这种工作模式，实际上工作过程中是有两组寄存器参与的（见下图）设置好半周期数（LINECYC）后，ADE 会在一个内部寄存器里累计电能，当最后一个半周期累计完成（中断状态寄存器中 CYCEND 置位）后，会产生中断并把累计结果送到第二组寄存器（如下图中的 LAENERGY）中供用户访问，然后内部寄存器会重新开始累计电能。结果就 LAENERGY 固定时间更新一次。

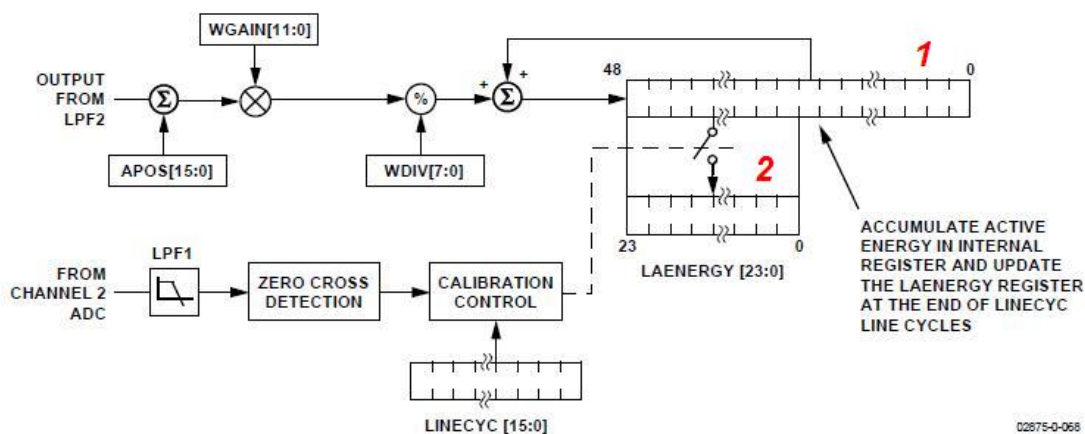


Figure 69. Energy Calculation Line Cycle Energy Accumulation Mode

02875-0-068

采用线周期累加模式的优点：

1. 可以进一步消除功率数据中的纹波成分
2. 积分时间较短，有助于提高电能计量精度
3. 有助于简化校准流程，加快校准速度

3.13 ADE7878 (ADE7854/ADE7858/ADE7868) 如何实现相序检测，如何实现相位差测量，具体提供哪些测量结果

以上测量均基于过零检测功能实现。ADE7854/ADE7858/ADE7868/ADE7878 均提供过零检测电路；除中性线电流信号外，对其它各通道的电压、电流信号都提供过零检测功能。

在过零检测电路中，采样信号通过数字低通滤波器滤除谐波后，以非常快的速率输出数据，对于 ADE7878，数据率为 256KHz，这意味着这对于 50Hz 信号，相位的分辨率为 $360^\circ \times 50 / 256000 = 0.0703^\circ$ 。在 ADE7878 中，过零信号用于触发中断；另外，过零超时 (Zero-Crossing Timeout) 功能也被用于产生中断。

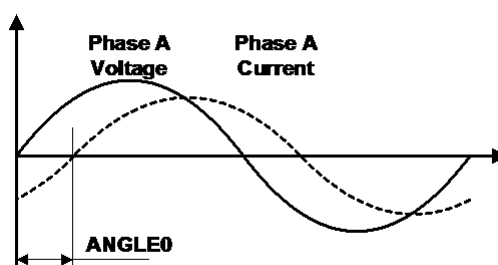
相序检测功能通过监测三相电压信号“负到正”的过零事件，判断相序是否正确；

相位测量功能同样通过监测三相电压信号“负到正”的过零事件，作为测量的起止点。对于 ADE7878，被测量通过 ANGLESEL[1:0] 进行选择。测量结果储存在 ANGLE0、ANGLE1、ANGLE2 寄存器中。ANGLE0、ANGLE1、ANGLE2 为 16 位无符号寄存器，其 1 个 LSB 代表 $3.90625 \mu\text{s}$ (1/256KHz)。

Bit Location	Bit Mnemonic	Default Value	Description
10:9	ANGLESEL[1:0]	00	00: the angles between phase voltages and phase currents are measured. 01: the angles between phase voltages are measured. 10: the angles between phase currents are measured. 11: no angles are measured.

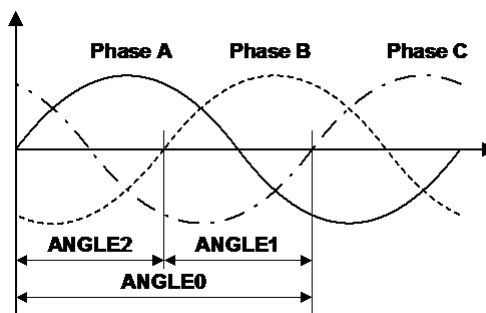
当 ANGLESEL[1:0] 取默认值时，测量各相的电压和电流信号间的相位差，即功率角。相应的功率因数计算方式为：（当测量的谐波水平较高时，通过这种方法测量 PF 的精度可能会受到影响。）

$$\cos\varphi_x = \cos \left[\text{ANGLE}_x \times \frac{360^\circ \times f_{\text{LINE}}}{256 \text{ kHz}} \right]$$



当选择测量各相电压（或电流）之间的相位差时，ANGLE0、ANGLE1、ANGLE2 分

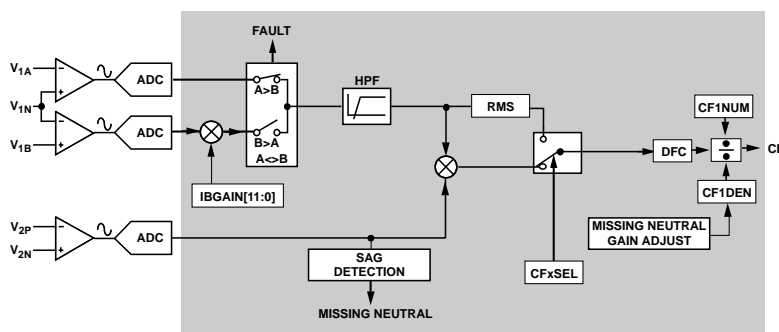
别代表的被测量如下图所示定义。



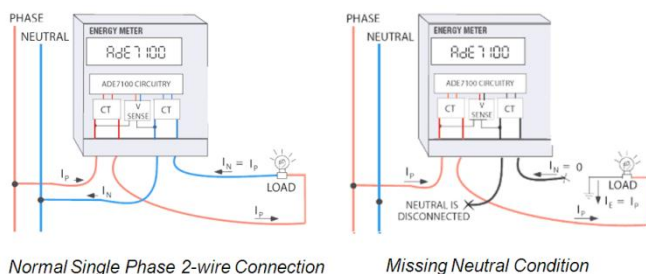
3.14 ADE 系列产品如何实现防窃电功能

窃电行为往往与零线连接丢失以及火、零线电流不匹配等现象相关联。

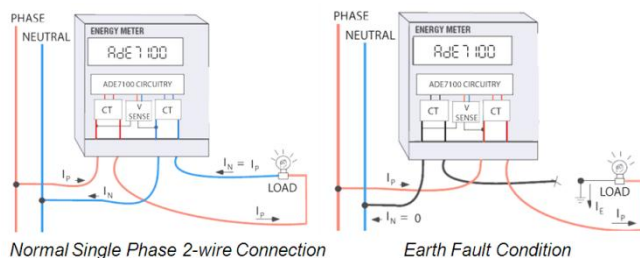
单相电能计量产品 ADE51XX、ADE71XX、ADE7953 等提供附加的电流通道，对零线电流进行持续监测。当零线电流和火线电流间的失配超出预定的阈值，则发出报警信息。



此外，当中性连接丢失时，产生相应报警信号，并采用电流 RMS 和预设电压持续产生计费信息。另外，可能需将系统的供电切换至备用电源或电池。



零线连接丢失



火、零电流不匹配

类似的，在三相电能计量产品中，如 ADE7878，会提供如下信息

1. 中性连接丢失“Missing Neutral”
2. 中性线电流不匹配“Neutral Current Mismatch”

3.15 ADE7953 第二个电流通道有什么作用

ADE7953 有两个电流通道。通道 B 可以测量零线电流，可以帮助进行窃电检测。

在需要两个独立电流测量的应用中，通道 B 可以用作类似通道 A 的另一个电流通道。不同的在于两个通道的满幅输入范围和 PGA 的设置。

3.16 ADE7758、ADE7880 和 ADE7878 的主要区别

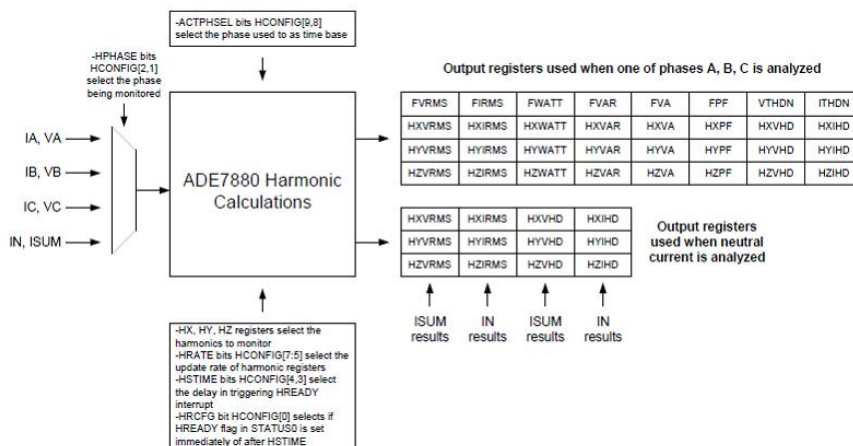
ADE7878 是多功能三相电能计量芯片，与 ADE7758 相比，直接提供实时的功率的测量结果并单独提供基波的有功、无功和视在功率/电能。此外，ADE7758 对电流 RMS 测量采用真有效值算法，但电压 RMS 的测量算法是不同的，其测量带宽和精度相对较低。ADE7878 的 RMS 测量，无论电压/电流通道，都采用了高精度的算法。

ADE7854, ADE7858, ADE7868, 和 ADE7878 是引脚兼容的三相计量芯片。各芯片的区别可以参考下面表格

Part No.	WATT	VAR	IRMS, VRMS, and VA	di/dt	Fund. WATT and VAR	Tamper Detect and Low Power Modes
ADE7878	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
ADE7868	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
ADE7858	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No
ADE7854	Yes	No	Yes	Yes	No	No

与 ADE7878 相比，ADE7880 进一步引入了全新的谐波测量引擎，可以同时给出基波以及谐波相关测量值；ADE7880 可以给出用户所选择的某三个谐波分量的相关测量值；可选的三个谐波分量通过 HX, HY, HZ 寄存器进行选择；在额定的基波频率范围内

(45~66Hz)，谐波测量最高可达 63 次（测量的 3dB 带宽为 3.3K）。



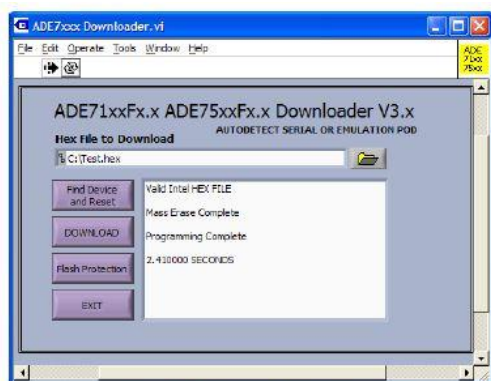
3.17 ADE7880 的 3.21 有符号格式

ADE7880 有些 24 位寄存器使用 3.21 有符号格式表示。这种格式中，前三位表示整数部分，第一位是符号位，后 21 位表示小数部分。可以表示的最大值（0x7FFFFFF）是 $3+1-1/2^{21}=+3.9999$ 。

可以通过把寄存器数值除以 2^{21} 来把读数转换成真实值

3.18 如何对 ADE71XX/ADE75XX/ADE51XX/ADE55XX SOC 电能计量产品进行编程和烧写

ADE71XX/ADE75XX/ADE51XX/ADE55XX 提供 Single-Pin 仿真器以及串口下载功能，关于仿真器和串口下载的相关配置、应用信息，可以参考评估板文档 UG-061，以及应用笔记 AN-916。



USB-TO-UART CONVERTER (ADE8052Z-DWDL1)

在 ADE71XX/ADE75XX, ADE51XX/ADE55XX 系列评估板套件中, 提供 ADE8052Z-DWDL1 USB-TO-UART 线缆, 可以用于程序的串口下载。

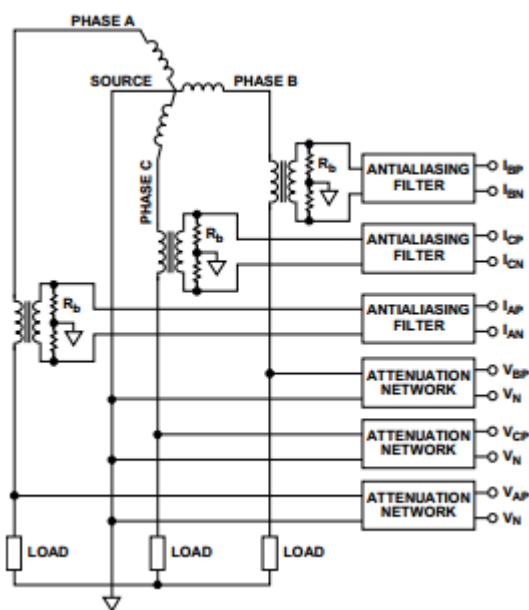
线缆实际上包含 USB 连接线和一块子板, 子板上装有 USB-to-UART 桥接芯片 (如 FT232BQ)。

在评估套件中, ADI 提供用于编译环境的库文件 (用于 Keil 或 IAR 编译环境)。

3.19 三相测量的连接结构

星形连接的三相四线制 (三个电压传感器), 线路的具体连接方法

请参考下图:



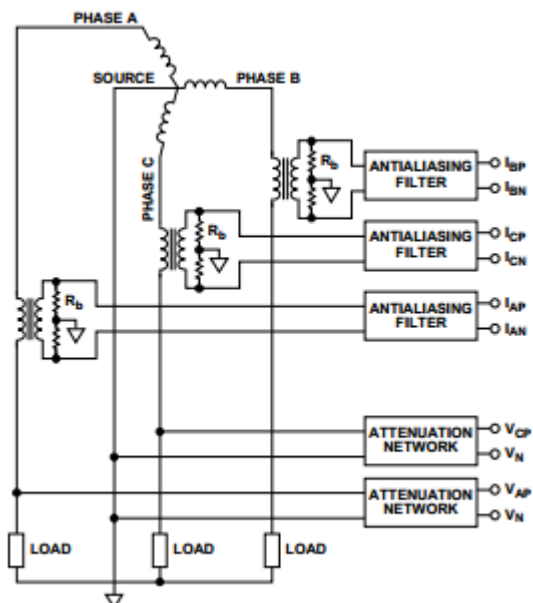
在这个结构中使用了三个电压传感器, 每相一个。三相的电流和电压都被测量。这是所有 ADE 三相芯片默认的配置。

$$\begin{aligned} \text{Active Power} &= V_A \times I_A + V_B \times I_B + V_C \times I_C \\ &= (V_{AP} - V_N) \times (I_{AP} - I_{AN}) + (V_{BP} - V_N) \times \\ &\quad (I_{BP} - I_{BN}) + (V_{CP} - V_N) \times (I_{CP} - I_{CN}) \end{aligned}$$

无功功率和视在功率的计算也可以使用相同的推理

星形连接的三相四线制 (两个电压传感器), 线路的具体连接方法

请参考下图:



这个结构不同于前面，因为并没有测量每一相的电压。图中结构，B 相的电压没有测量。其他相的电压可以获得，所有功率计算依然可以进行。请根据产品数据手册确定寄存器的适当配置。

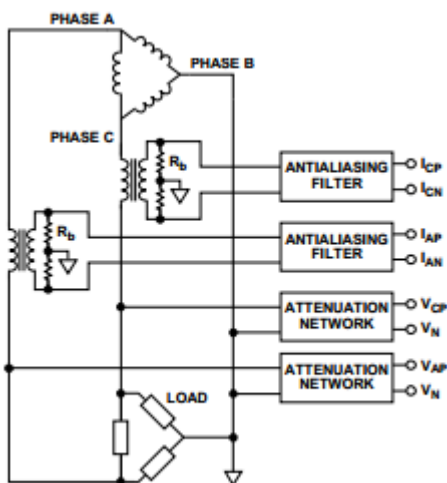
理想情况下， $V_A + V_B + V_C = 0$ 。所有，假设 $V_B = -V_A - V_C$

$$\begin{aligned}
 \text{Active Power} &= V_A \times I_A + V_B \times I_B + V_C \times I_C \\
 &= V_A \times I_A + (-V_A - V_C) \times I_B + V_C \times I_C \\
 &= V_A \times (I_A - I_B) + V_C \times (I_C - I_B) \\
 &= (V_{AP} - V_N) \times ((I_{AP} - I_{AN}) - (I_{BP} - I_{BN})) + \\
 &\quad (V_{CP} - V_N) \times ((I_{CP} - I_{CN}) - (I_{BP} - I_{BN}))
 \end{aligned}$$

根据相同的推导，可以证明无功功率计算是正确的。有些产品，B 相电压如前面描述通过 A 相和 C 相电压计算得到，来计算视在功率。但是，这是假设系统是对称和平衡的。

三角形连接的三相三线制，线路的具体连接方法

请参考下图：



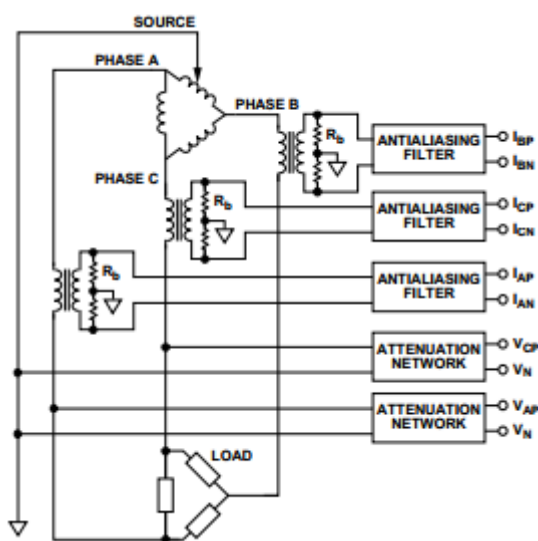
三角形型结构使用一相作为参考，其它相根据根据参考相进行测量。大多数较新的计量芯片，强制使用 B 相作为参考。请根据产品数据手册确定寄存器的适当配置。

因为闭合环路， $I_A + I_B + I_C = 0$ ，所以假设 $I_B = -I_A - I_C$ 。

$$\begin{aligned} \text{Active Power} &= V_A \times I_A + V_B \times I_B + V_C \times I_C \\ &= V_A \times I_A + V_B \times (-I_A - I_C) + V_C \times I_C \\ &= (V_A - V_B) \times I_A + (V_C - V_B) \times I_C \end{aligned}$$

三角形连接的三相四线制，线路的具体连接方法

请参考下图：



这种三角形结构对所有三相进行了电流测量。结构中有独立的中性端。B 相电压没有测量，B 相电压被认为和 A 相电压幅值相等符号相反，因为中性点在 A 相和 B 相之间。请根据产品数据手册确定寄存器的适当配置。

假设， $V_B = -V_A$

$$\begin{aligned} \text{Active Power} &= V_A \times I_A + V_B \times I_B + V_C \times I_C \\ &= V_A \times I_A - V_A \times I_B + V_C \times I_C \\ &= V_A \times (I_A - I_B) + V_C \times I_C \\ &= (V_{AP} - V_N) \times ((I_{AP} - I_{AN}) - (I_{BP} - I_{BN})) + \\ &\quad (V_{CP} - V_N) \times (I_{CP} - I_{CN}) \end{aligned}$$

如果要将电表的一种结构改变成另一种结构，需要对 ADE 芯片重新进行校准以获得准确结果。